

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-369-15>

УДК 685.34.05

МАКАТЬОРА АЛЬОНА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9373-5169>

e-mail: alona.makatora@gmail.com

МАКАТЬОРА ДМИТРО

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-1909-900X>

e-mail: makatora_d@ukr.net

ЗЕНКІН МИКОЛА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-8840-0572>

e-mail: nikolay.zenkin@ukr.net

КАРПЕШКО АНДРІЙ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0009-0008-8265-0053>

e-mail: andrewkarpeshko@gmail.com

КОНСТРУКТИВНИЙ ВПЛИВ НОЖА З ДУГОПОДІБНОЮ ФОРМОЮ НА ПРОЦЕС ПОВЗДОВЖНЬОГО РІЗАННЯ МОНОЛІТНОЇ ГУМИ

Зменшення енергетичних витрат на технологічні процеси наразі є ключовою умовою сучасного підприємства, що на пряму впливає на конкурентоспроможність продукції. На підприємствах де в технологічних процесах використовують механічну обробку матеріалу значна частка припадає процес різання, тому виникає питання використання енергозберігаючих технологій. В машинах де використовують процес розрізання матеріалів актуальною задачею є пошук нових конструктивних рішень для модернізації існуючих машин та розробки рекомендацій для проєктування нових. Одним із шляхів рішення даної задачі є розробка та порівняння різних типів конструкцій ножів. Предметом дослідження даної роботи є ніж з дугоподібною формою поперечного перерізу. Метою даного дослідження є визначення конструктивного впливу ножа дугоподібною форми поперечного перерізу на процес різання монолітної гуми, визначення оптимальних параметрів величини зазору між твірними транспортуючих валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання транспортуючих валиків до кромки леза ножа дугоподібною форми поперечного перерізу на погонне зусилля різання монолітної гуми, шляхом використання рівнянь регресії. Дослідження проведені на експериментальній установці з використанням ножа дугоподібною форми поперечного перерізу, а в якості матеріалу обрана монолітна гума. При проведенні експерименту був використаний ротатбельний план Бокса, що дозволив ефективно вирішити поставлені завдання оцінки впливу досліджуваних факторів, визначити сумарну величину втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величину втрат на тертя матеріалу о ножа, отримати рівняння регресії, порівняти різні типи конструкцій ножів, та сформулювати рекомендації для модернізації існуючих машин та розробки нових.

Ключові слова: процес різання, сумарна величина втрат, втрати на тертя матеріалу, транспортуючі валики, ніж.

MAKATORA ALONA, MAKATORA DMYTRO, ZENKIN MYKOLA, KARPESHKO ANDRII

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

FUNCTIONAL AND CONSTRUCTIVE INFLUENCE OF A KNIFE WITH RIBBONS ON THE PROCESS OF LONGITUDINAL CUTTING OF MONOLITHIC RUBBER

Reducing energy costs for technological processes is currently a key condition for a modern enterprise, which directly affects the competitiveness of products. At enterprises where mechanical processing of material is used in technological processes, a significant share of the cutting process occurs, so the question arises of using energy-saving technologies. In machines where the process of cutting materials is used, an urgent task is to find new design solutions for the modernization of existing machines and develop recommendations for the design of new ones. One of the ways to solve this problem is to develop and compare different types of knife designs. The subject of this work is a knife with an arcuate cross-sectional shape. The purpose of this study is to determine the constructive effect of an arcuate knife of cross-section on the process of cutting monolithic rubber, to determine the optimal parameters of the size of the gap between the creative conveying rollers and the distance from the vertical axis of rotation of the conveying rollers to the edge of the blade of an arcuate knife of cross-section on the linear force of cutting monolithic rubber, using regression equations. The research was carried out on an experimental installation using an arcuate knife of cross-section, and monolithic rubber was chosen as the material. During the experiment, the rotating Box plan was used, which made it possible to effectively solve the tasks of assessing the influence of the factors under study, determine the total value of losses during longitudinal cutting of the material and the amount of friction losses of the material on the knife, obtain a regression equation, compare different types of knife designs, and formulate recommendations for the modernization of existing machines and the development of new ones.

Keywords: cutting process, total loss, friction loss of material, conveying rollers, knife.

Стаття надійшла до редакції / Received 30.07.2026

Прийнята до друку / Accepted 24.09.2026

Опубліковано / Published 15.10.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Макатьора Альона, Макатьора Дмитро, Зенкін Микола, Карпешко Андрій

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Застосування машин для розрізання матеріалів з різними фізико-механічними властивостями в різних галузях підтверджено їх ефективністю. Одне з передових місць займають машини повздовжнього різання, які використовують для отримання бажаної товщини матеріалу по всій його поверхні.

Конкурентоспроможність продукції залежить від вартості енерговитрат на технологічні процеси, в тому числі і на механічну обробку матеріалу. Значна частка енерговитрат на механічну обробку матеріалу у загальному виготовленні продукції може досягати до 30 %, тому постає питання у використанні енергозберігаючих технологій. Особливої ваги використання енергозберігаючих технологій машини для розрізання матеріалів де виникає актуальна задача пошуку нових конструктивних рішень для модернізації існуючих машин для розрізання матеріалів. Одним із шляхів рішення даної задачі є використання різних типів конструкцій ножів. Предметом дослідження даної роботи є ніж з дугоподібною формою поперечного перерізу.

Аналіз досліджень та публікацій

Метою роботи є обґрунтування режимів та параметрів різання монолітної гуми з використанням ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу. В основі покладено взаємодію робочих органів машини із оброблюваним матеріалом. Дане питання було частково досліджено в роботах [1-9], зокрема були отримані рівняння регресії сумарних величин витрат на технологічний процес, що дали змогу прослідкувати залежність використання різних типів ножів при різанні певних матеріалів.

Формулювання цілей статті

Залишається питання щодо визначення оптимальних параметрів взаємодії робочого органу з механізмом транспортування (парою транспортуючих валиків) в процесі виконання технологічної операції при обробці монолітної гуми ножом з дугоподібною формою поперечного перерізу. Актуальним залишається питання визначення погонного зусилля для монолітної гуми при використанні леза ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу та порівняння його із значеннями при використанні інших типів конструкцій ножів [1-9].

Виклад основного матеріалу

Перевірка на адекватність фізичних моделей завжди супроводжується експериментальними дослідженнями, та є завершальною стадією проектування.

На енергетичні витрати в машинах для розрізання матеріалів впливає геометрія леза ножа та певні технологічні параметри, тому потрібно провести експериментальні дослідження, щодо визначення погонного зусилля різання матеріалів та порівняння витрат, що витрачається на процес [2-3, 6-11].

Для вирішення даної задачі був проведений двох факторний експеримент описаний в роботі [10]: $y = F(x_1, x_2)$

де y – критерій оптимізації, що визначає погонне зусилля q_p ; x_1 – керований параметр (фактор) що характеризують: величину зазору між твірними транспортуючих валиків h в механізмі транспортування; x_2 – керований параметр (фактор), що характеризують: величину відстані від вертикальної осі обертання механізму транспортування (транспортуючих валиків) до кромки леза ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу a .

При визначенні погонного зусилля q_p , проводимо двократну обробку матеріалу, що складається з двох етапів описаних в роботах [10]: розрізання матеріалу визначається сумарна величина витрат на технологічний процес P тобто розрізання монолітної гуми; пропускання розрізаної монолітної гуми в складеному вигляді площиною з'єднання через ніж для визначення величини витрат на тертя F .

Відповідно різниця значень сумарної величини витрат P та величини витрат на тертя F , віднесена до величини ширини матеріалу, що обробляється дасть дійсну величину погонного зусилля різання монолітної гуми [1-10]:

$$q_p = \frac{P-F}{B}. \quad (1)$$

Планування експерименту проводилося з використанням ротатбельного плану Бокса, загальна кількість дослідів [1-9]:

$$N_{1,2} = 2^2 + 2 \cdot 2 + 5 = 13.$$

Іменування значення факторів, кодування, інтервали їх варіювання наведені в табл. 1, значення визначалися за співвідношеннями [1-3, 5-7, 9]:

$$x_1 = \frac{x_i - 4,35}{1}; x_2 = \frac{x_j - 5}{0,5}. \quad (2)$$

Таблиця 1

Таблиця варіювання діючих факторів, які підлягають дослідженню

Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання фактору
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
h, мм. (x_1)	2,95	3,35	4,35	5,35	5,75	1
a, мм. (x_2)	4,3	4,5	5	5,5	5,7	0,5

Обробка даних експерименту з визначення сумарної величини витрат на технологічний процес, представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування визначення сумарної величини втрат на технологічний процес

№	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
	x1	x2	h	a	yu	yu	(yu-yu)2
1	1	1	5,35	5,5	520	518,54	2,1266
2	-1	1	3,35	5,5	660	658,57	2,0543
3	1	-1	5,35	4,5	752	750,52	2,1854
4	-1	-1	3,35	4,5	824	822,55	2,1121
5	-1,414	0	2,95	5	772	771,00	1,0038
6	1,414	0	5,75	5	622	621,08	0,8487
7	0	-1,414	4,35	4,3	820	819,02	0,9593
8	0	1,414	4,35	5,7	540	539,08	0,8523
9	0	0	4,35	5	686	685,37	0,4015
10	0	0	4,35	5	686	685,37	0,4015
11	0	0	4,35	5	684	685,37	1,8669
12	0	0	4,35	5	686	685,37	0,4015
13	0	0	4,35	5	684	685,37	1,8669
						$\Sigma_1^{13} = 8936$	$\Sigma_1^{13}(y_u - \bar{y}_u)^2 = 17,08$

Загальне рівняння [1-9]:

$$y_u = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (3)$$

Знайдемо значення коефіцієнтів регресії для рівняння (3):

$$b_0 = 685,37; b_1 = -53,0; b_2 = -99,0; b_{12} = -17,0; b_{11} = 5,3; b_{22} = -3,16.$$

Після підстановки рівняння (3) прийме вид:

$$y_u = 685,37 - 53 \cdot x_1 - 99 \cdot x_2 - 17 \cdot x_1 \cdot x_2 + 5,3 \cdot x_1^2 - 3,16 \cdot x_2^2. \quad (4)$$

Адекватність рівняння (4) перевіряємо в наступній послідовності.

$$\text{Дисперсія адекватності: } S_{ад}^2 = \frac{17,08-4,94}{3} = 4,05.$$

$$\text{Дисперсія відтворюваності: } S_{\{y\}}^2 = \frac{4,94}{4} = 1,24.$$

$$\text{Розрахункове значення критерію Фішера: } F_{расч(P)} = \frac{4,05}{1,24} = 3,27.$$

Рівняння (4) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$.

Значимість коефіцієнтів регресії рівняння (4) перевіряємо згідно методики описаної в роботах [1-9].

$$\text{Знайдемо середні квадратичні похибки в визначенні коефіцієнтів } \Delta b_0; \Delta b_i; \Delta b_{ii}; \Delta b_{ij}: S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 1,24 = 0,25 \text{ і } S_{\{b_0\}} = 0,5; S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 1,24 = 0,155 \text{ і } S_{\{b_i\}} = 0,4; S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 1,24 = 0,18 \text{ і } S_{\{b_{ii}\}} = 0,42; S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 1,24 = 0,31 \text{ і } S_{\{b_{ij}\}} = 0,56.$$

Тоді значимість коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,50 = \pm 1,0; \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,4 = \pm 0,8; \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,42 = \pm 0,84; \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,56 = \pm 1,12.$$

Порівнюючи абсолютні величини коефіцієнтів рівняння (4) та їх відповідні похибки, можна зробити наступні висновки, що всі коефіцієнти рівняння (4) з ймовірністю 95 % є значимими, а саме рівняння описує сумарну величину втрат при виконанні технологічної операції.

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величинах:

$$y_u = 685,37 - 53(h - 4,35) - 198(a - 5) - 34(h - 4,35)(a - 5) + 5,3(h - 4,35)^2 - 12,64(a - 5)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$P = 950,71 + 5,3 \cdot h^2 - 12,64 \cdot a^2 + 70,89 \cdot h + 76,3 \cdot a - 34 \cdot a \cdot h \quad (5)$$

Отриманий вираз (5) – математичне рівняння величини сумарних втрат при виконанні поздовжнього різання.

Обробка даних експерименту з визначення величини втрат на тертя матеріалу о поверхню ножа, представлена в табл. 3.

Матриця планування визначення величини втрат на тертя матеріалу о грані ножа

№	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
	x1	x2	h	a	yu	yu	(yu-yu)2
1	1	1	5,35	5,5	426	425,05	0,9083
2	-1	1	3,35	5,5	540	538,67	1,7583
3	1	-1	5,35	4,5	614	613,85	0,0219
4	-1	-1	3,35	4,5	674	673,48	0,2715
5	-1,414	0	2,95	5	632	631,00	0,9930
6	1,414	0	5,75	5	510	508,51	2,2115
7	0	-1,414	4,35	4,3	672	670,16	3,3754
8	0	1,414	4,35	5,7	442	441,37	0,3963
9	0	0	4,35	5	562	560,94	1,1315
10	0	0	4,35	5	562	560,94	1,1315
11	0	0	4,35	5	560	560,94	0,8766
12	0	0	4,35	5	560	560,94	0,8766
13	0	0	4,35	5	560	560,94	0,8766
$\Sigma_1^{13} = 7314,0$ $\Sigma_1^{13}(y_u - \bar{y}_u)^2 = 14,83$							

Знайдемо значення коефіцієнтів регресії для рівняння (3):

$$b_0 = 560,94; b_1 = -43,3; b_2 = -80,9; b_{12} = -13,5; b_{11} = 4,4; b_{22} = -2,6.$$

Після підстановки рівняння (3) прийме вид:

$$y_u = 560,94 - 43,3 \cdot x_1 - 80,9 \cdot x_2 - 13,5 \cdot x_1 \cdot x_2 + 4,4 \cdot x_1^2 - 2,6 \cdot x_2^2. \quad (6)$$

Адекватність рівняння (6) перевіряємо в наступній послідовності.

$$\text{Дисперсія адекватності: } S_{ад}^2 = \frac{14,82-4,9}{3} = 3,3.$$

$$\text{Дисперсія відтворюваності: } S_{\{y\}}^2 = \frac{4,9}{4} = 1,22.$$

$$\text{Розрахункове значення критерію Фішера: } F_{расч(P)} = \frac{3,3}{1,22} = 2,7.$$

Рівняння (6) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$.

Значимість коефіцієнтів регресії рівняння (6) перевіряємо згідно методики описаної в роботах [1-9].

Знайдемо середні квадратичні похибки в визначенні коефіцієнтів $\Delta b_0; \Delta b_i; \Delta b_{ii}; \Delta b_{ij}$: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 1,22 = 0,244$ і $S_{\{b_0\}} = 0,06$; $S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 1,22 = 0,1525$ і $S_{\{b_i\}} = 0,023$; $S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 1,22 = 0,1754$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,03$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 1,22 = 0,305$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 0,09$.

Тоді значимість коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,244 = \pm 0,488; \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,1525 = \pm 0,305; \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,1754 = \pm 0,35; \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,09 = \pm 0,18.$$

Порівнюючи абсолютні величини коефіцієнтів рівняння (6) та їх відповідні похибки, можна зробити наступні висновки, що всі коефіцієнти рівняння (6) з ймовірністю 95 % є значимими, а саме рівняння описує величину втрат на тертя матеріалу о грані ножа.

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величинах:

$$y_u = 560,94 - 43,3(h - 4,35) - 161,8(a - 5) - 27,0(h - 4,35)(a - 5) + 4,4(h - 4,35)^2 - 10,4(a - 5)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$F = 794,3 + 4,4 \cdot h^2 - 10,4 \cdot a^2 + 59,65 \cdot a - 27 \cdot a \cdot h + 53,42 \cdot h \quad (7)$$

Отриманий вираз (7) – математичне рівняння величини втрат на тертя матеріалу о грані ножа при виконанні поздовжнього різання.

Отримані математичні рівняння, а саме визначення сумарної величини втрат (5) та величини втрат на тертя матеріалу (7) дозволяють визначати погоне зусилля різання монолітної гуми (1) при використанні ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу. Підставляючи значення в рівняння (1) отримаємо середнє значення погонного зусилля монолітної гуми:

$$q_p = 3,125 \frac{H}{\text{мм}}.$$

Відхилення від отриманих раніше значень робіт [3], [8] та [9] знаходяться в межах 5 % та відповідно складають $\Delta = 1,3$ %, $\Delta = 1,4$ % та $\Delta = 2,9$ %, отже розрахунки відповідають дійсності.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Порівнюючи сумарні величини втрат при виконанні технологічної операції поздовжнього різання монолітної гуми ножом з дугоподібною формою поперечного перерізу з іншими типами конструкцій ножів:

при використанні ножа з односторонньою формою поперечного перерізу з нанесення на його поверхню рифлів та ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, отриманих в роботі [3], будемо мати:

$$\Delta P = \frac{622,95 - 685,37}{685,37} \cdot 100\% = -9,1\% ;$$

при використанні ножа з двосторонньою формою поперечного перерізу без нанесення на його поверхню рифлів та ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, отриманих в роботі [8], будемо мати:

$$\Delta P = \frac{991,04 - 685,37}{991,04} \cdot 100\% = 30,84\% ;$$

при використанні ножа з односторонньою формою поперечного перерізу без нанесення на його поверхню рифлів та ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, отриманих в роботі [9], будемо мати:

$$\Delta P = \frac{759,38 - 685,37}{759,38} \cdot 100\% = 9,7\% ;$$

Визначені відхилення свідчать, що при проектування машин повздовжнього різання доцільно використовувати лезо ножа з односторонньою заточкою з нанесеними на його поверхню рифлями, що дозволить знизити сумарні величини втрат на технологічний процес, в порівнянні з ножами з дугоподібною формою поперечного перерізу, одно- та двосторонньою заточками, що знизить енергетичні витрати на технологічний процес. Слід зазначити, що ніж з дугоподібною формою поперечного перерізу має перевагу над ножами з одно- та двосторонньою заточками, тому є сенс нанести на його поверхню рифлі.

Література

1. Makatora D. A., Makatora A. V., Zenkin M. A. Mathematical study of the influence of knife geometry with arc-like cross-sectional shape on the process of longitudinal felt cutting. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes. 2022. № 1 (47). P. 20–29. DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.1.4>.
2. Makatora D., Makatora A., Zenkin M. Mathematical modeling of a linear load of felt. Global Research Review. 2021. Vol. 1, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6421785>
3. Мака́тора А.В., Мака́тора Д.А., Зенкін М.А., Кохановський В.О., Карпешко А.І. (2025). Функціонально-конструктивний вплив ножа з рифлями на процес повздовжнього різання монолітної гуми. Вісник Херсонського національного технічного університету № 2(93), Ч. 1, 142-148. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.19>
4. Мака́тора Д. А. Визначення погонного зусилля різання мікропористої гуми ножом з двосторонньою заточкою. Вісник ЧДТУ. 2013. № 2 (65). С. 92–97.
5. Мака́тора Д. А. Експериментальне дослідження з визначення погонного зусилля різання повсті, ножом з односторонньою заточкою. Вісник КНУТД. 2014. № 2 (76). С. 113–123.
6. Мака́тора Д. А. Експериментальне дослідження зусилля різання ножом з дугоподібною формою поперечного перерізу. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. № 2 (283). С. 229–234.
7. Мака́тора Д. А. Математичне моделювання втрат при поздовжньому різанні матеріалу рифленим ножом з односторонньою формою поперечного перерізу. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. № 4 (287). С. 100–106.
8. Мака́тора Д. А., Панасюк І. В. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножом з двосторонньою заточкою. Вісник Хмельницького національного університету. 2014. № 1 (209). С. 31–35.
9. Мака́тора Д. А., Панасюк І. В. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножом з односторонньою заточкою. Вісник ЧДТУ. 2014. № 1 (71). С. 36–42.
10. Патент № 70012 Україна, МПК В 23 В 1/00, G 01 L 3/00. Спосіб визначення потужності, що витрачається на повздовжнє різання матеріалу / Д. А. Мака́тора, В. І. Князєв ; заявник та патентовласник Київський державний університет технологій та дизайну. № u20031212100 ; заявл. 23.12.2003 ; опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9.

References

1. Makatora D. A., Makatora A. V., Zenkin M. A. Mathematical study of the influence of knife geometry with arc-like cross-sectional shape on the process of longitudinal felt cutting. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes. 2022. № 1 (47). P. 20–29. DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.1.4>.
2. Makatora D., Makatora A., Zenkin M. Mathematical modeling of a linear load of felt. Global Research Review. 2021. Vol. 1, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6421785>
3. Makatora A.V., Makatora D.A., Zenkin M.A., Kokhanovskiy V.O., Karpeshko A.I. (2025). Funktsionalno-konstruktyvnyi vplyv nozha z ryfliamy na protses povzdovzhnoho rizannia monolitnoi humy. Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu № 2(93), Ch. 1, 142-148. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.19>
4. Makatora D. A. Vyznachennia pohonnogo zusyillia rizannia mikroporystoi humy nozhem z dvostoronnoi zatochkoii. Visnyk ChDTU. 2013. № 2 (65). S. 92–97.
5. Makatora D. A. Eksperymentalne doslidzhennia z vyznachennia pohonnogo zusyillia rizannia povsti, nozhem z odnostoronnoi

zatochkoiu. Visnyk KNUTD. 2014. № 2 (76). S. 113–123.

6. Makatora D. A. Eksperymentalne doslidzhennia zussyllia rizannia nozhem z duhopodibnoi formoiu poperechnoho pererizu. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2020. № 2 (283). S. 229–234.

7. Makatora D. A. Matematychni modeliuvannia vtrat pry pozdovzhnomu rizanni materialu ryflenym nozhem z odносторонnoi formoiu poperechnoho pererizu. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2020. № 4 (287). S. 100–106.

8. Makatora D. A., Panasiuk I. V. Vyznachennia pohonnoho zussyllia rizannia monolitnoi humy nozhem z dvосторонnoi zatochkoiu. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2014. № 1 (209). S. 31–35.

9. Makatora D. A., Panasiuk I. V. Vyznachennia pohonnoho zussyllia rizannia monolitnoi humy nozhem z odносторонnoi zatochkoiu. Visnyk ChDTU. 2014. № 1 (71). S. 36–42.

10. Patent № 70012 Ukraina, MPK B 23 B 1/00, G 01 L 3/00. Sposib vyznachennia potuzhnosti, shcho vytrachaietsia na povzdovzhnie rizannia materialu / D. A. Makatora, V. I. Kniaziev ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskyi derzhavnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu. № u20031212100 ; zaiavl. 23.12.2003 ; opubl. 15.09.2004, Biul. № 9.