УДК 685.34.05 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.19

А. В. МАКАТЬОРА
аспірантка кафедри машин та агрегатів поліграфічного виробництва
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0001-9373-5169

Д. А. МАКАТЬОРА
кандидат технічних наук,
доцент кафедри машин та агрегатів поліграфічного виробництва
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-1909-900X

М. А. ЗЕНКІН
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри машин та агрегатів поліграфічного виробництва
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-8840-0572

В. О. КОХАНОВСЬКИЙ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри машин та агрегатів поліграфічного виробництва
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0002-4804-884X

А. І. КАРПЕШКО
аспірант кафедри машин та агрегатів поліграфічного виробництва
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0008-8265-0053

ФУНКЦІОНАЛЬНО-КОНСТРУКТИВНИЙ ВПЛИВ НОЖА З РИФЛЯМИ НА ПРОЦЕС ПОВЗДОВЖНЬОГО РІЗАННЯ МОНОЛІТНОЇ ГУМИ

Сучасні умови розвитку спонукають підприємства до яких висуваються головна вимога – зменшення енергетичних витрат. Існуючі машини для повздовжнього різання матеріалів в якості робочого органу здебільшого використовують леза ножів з різними геометричними параметрами, які не в повній мірі задовільнять цим вимогам, тому постає питання дослідження впливу нових конструкцій ножів при розрізанні різних типів матеріалу (мікропориста та монолітні гуми, повсть, шкіра тощо). Метою даного дослідження є визначення функціонально-конструктивного впливу ножа з нанесеними на його поверхню рифлів на процес повздовжнього різання монолітної гуми, розробка ефективного методу впливу величини зазору між твірними транспортуючих валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання транспортуючих валиків до кромки леза ножа з рифлями на погонне зусилля різання монолітної гуми, шляхом використання рівнянь регресії. Дослідження проведені на експериментальній установці повздовжнього різання при використанні ножа з нанесеними на його поверхню рифлів. При проведенні експерименту був використаний рототабельний план другого порядку, що дозволив ефективно вирішити поставлені завдання оцінки впливу досліджуваних факторів на сумарну величину втрат при поздовжньому різані матеріалу та величину втрат на тертя матеріалу о грані нерухомого ножа з нанесеними на його поверхню рифлів (отриманні рівняння регресії та побудовані залежності), їх порівняння при використання різних типів ножів, а саме – геометричних форм: дугоподібною, одно- та двосторонньою заточками (з нанесенням на їх поверхню рифлів та без них); дозволяє сформулювати при проєктуванні машин даного типу наступні рекомендації, а саме вибору леза ножа (його геометричну форму), технологічні параметри конструкції машини, що дозволить покращити роботу машини та знизити енергетичні витрати на технологічний процес.

Ключові слова: *сумарна величина втрат, втрати на тертя матеріалу, транспортуючи валики, ніж.*

A. V. MAKATORA
Postgraduate Student at the Department of Printing Machines
and Automated Complexes
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0001-9373-5169

D. A. MAKATORA
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor at the Department of Printing Machines
and Automated Complexes
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-1909-900X

M. A. ZENKIN
Doctor of Sciences in Engineering, Professor,
Professor at the Department of Printing Machines and Automated Complexes
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-8840-0572

V. O. KOKHANOVSKYI
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Printing Machines
and Automated Complexes
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0009-0002-4804-884X

A. I. KARPESHKO
Postgraduate Student at the Department of Printing Machines
and Automated Complexes
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0009-0008-8265-0053

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

Modern development conditions encourage enterprises to meet the main requirement – reducing energy costs. Existing machines for longitudinal cutting of materials as a working body mostly use knife blades with different geometric parameters that will not fully satisfy these requirements, so the question arises of studying the impact of new knife designs when cutting different types of material (microporous and monolithic rubbers, felt, leather, etc.). The purpose of this study is to determine the functional and constructive effect of a knife with grooves applied to its surface on the process of longitudinal cutting of monolithic rubber, to develop an effective method for influencing the size of the gap between the forming conveying rollers and the distance from the vertical axis of rotation of the conveying rollers to the edge of the blade of the knife with grooves on the linear effort of cutting monolithic rubber, using regression equations. The studies were carried out on an experimental installation of longitudinal cutting using a knife with grooves applied to its surface. During the experiment, a second-order rotatable plan was used, which made it possible to effectively solve the tasks of assessing the influence of the studied factors on the total value of losses during longitudinal cutting of the material and the amount of friction losses of the material on the face of a fixed knife with grooves applied to its surface (obtaining the regression equation and constructed dependencies), their comparison when using different types of knives, namely – geometric shapes: arcuate, one- and double-sided sharpening (with and without the application of grooves on their surface); allows you to formulate the following recommendations when designing machines of this type, namely the choice of a knife blade (its geometric shape), technological parameters of the machine design, which will improve the operation of the machine and reduce energy costs for the technological process.

Keywords: *total loss, friction losses of the material transporting rollers, knife.*

Вступ

Широке застосування машин для різання матеріалів в різних галузях промисловості обумовлено їх ефективністю виконання фінішних операцій, різних технологічних процесів. Особливе місце належить машинам повздовжнього різання матеріалів під час виконання їх обробки, а саме монолітної гуми для отримання бажаної товщини по всій поверхні. В сучасних умовах розвитку підприємств одним з актуальним питанням постає процес повздовжнього різання матеріалів до якого висуваються наступні вимоги: зменшення енергетичних витрат, собівартості робочого інструменту – леза ножа. Існуючі машини для різання матеріалів в якості робочого органу здебільшого використовують леза ножів з різними геометричними параметрами, які не в повній мірі задовільнять цим вимогам [2–11]. Виходячи з наступного виникає актуальна задача пошуку нових конструктивних рішень параметрів конструкцій ножів для машин повздовжнього різання, та їх перевірки стосовно енергетичних витратах. Одним із шляхів рішення даної задачі є використання леза ножа, що має односторонню заточку з нанесеними на його поверхню зубців, обґрунтування режимів та параметрів є предметом дослідження даної роботи.

Постановка проблеми

Метою роботи є обґрунтування режимів та параметрів робочого органу при різанні монолітної гуми, на основі врахування взаємодії робочих органів машини із оброблюваним матеріалом. Визначену проблематику було певною мірою досліджено в роботах [2–3, 6–11], зокрема були отримані рівняння регресії сумарних величин втрат на технологічний процес, що дали змогу прослідкувати залежність використання різних типів ножів при різанні певних матеріалів.

Формулювання мети дослідження

Залишається питання щодо визначення оптимальних параметрів взаємодії робочого органу (ножа з нанесеними на його поверхню рифлів) з механізмом транспортування в процесі виконання технологічної операції при обробці монолітної гуми. Також досі є актуальним питання визначення погонного зусилля для монолітної гуми при використанні леза ножа з рифлями та порівняння його із значеннями при використанні інших типів конструкцій ножів, а саме одно- та двосторонньою формою поперечного перерізу леза ножа.

Викладення основного матеріалу дослідження

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

На енергетичні витрати в машинах поздовжнього різання впливає геометрія леза ножа та певні технологічні параметри (розташування кромки леза ножа відносно осей транспортуючого механізму, ступеню деформації матеріалу тощо), тому потрібно провести експериментальні дослідження, щодо визначення погонного зусилля різання матеріалів та порівняння витрат, що витрачається на процес.

Для вирішення даної задачі був проведений двох факторний експеримент [1, 12]:

$$y = F(x_1, x_2),$$

де y – критерій оптимізації, що визначає погоне зусилля q_p; x_1 і x_2 – керовані параметри (фактори), що характеризують: величину зазору між твірними транспортуючих валиків h в механізмі транспортування, та величину відстані від вертикальної осі обертання транспортуючих валиків механізму транспортування до кромки леза ножа з нанесеними на його поверхню рифлів a.

При визначені погонного зусилля q_p, необхідно провести двократну обробку матеріалу, що складається з двох етапів:

– розрізання матеріалу (монолітної гуми) визначається сумарна величина витрат на технологічний процес P тобто розрізання матеріалу;

– пропускання розрізаного матеріалу (монолітної гуми) в складеному вигляді площиною з'єднання через ніж для визначення величини витрат на тертя F (між матеріалом (монолітною гумую) та площиною леза ножа з нанесеними на його поверхню рифлів).

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 [1–3, 6–12]:

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

Планування експерименту проводилося з використанням ротатабельного плану Бокса, загальна кількість дослідів [3, 6–12]:

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

Іменування значення факторів, кодування, інтервали їх варіювання наведені в табл. 1, значення визначалися за співвідношеннями [3, 6–12]:

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

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 втрат на технологічний процес поздовжнього різання монолітної гуми ножом з нанесеними на його поверхню рифлів, представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування визначення сумарної величини втрат на технологічний процес

№	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
№	x_1	x_2	h	a	y_u	y_u	$(y_u - y_u)^2$
1	1	1	5,35	5,5	470	468,97	1,0596
2	–1	1	3,35	5,5	602	601,55	0,2055
3	1	–1	5,35	4,5	688	686,26	3,0288
4	–1	–1	3,35	4,5	746	744,84	1,3557
5	–1,414	0	2,95	5	704	702,47	2,3443
6	1,414	0	5,75	5	568	567,32	0,4564
7	0	–1,414	4,35	4,3	744	743,37	0,3938
8	0	1,414	4,35	5,7	490	488,44	2,4217
9	0	0	4,35	5	624	622,95	1,0996
10	0	0	4,35	5	622	622,95	0,9051
11	0	0	4,35	5	624	622,95	1,0996
12	0	0	4,35	5	622	622,95	0,9051
13	0	0	4,35	5	622	622,95	0,9051
						$\sum_1^{13} = 8126$	$\sum_1^{13}(y_u - \overline{y}_u)^2 = 16,18$

Для кожного досліду проводилося п’ять повторних вимірювань на нульовому рівні, після їх розшифровки визначалося середнє значення повторних вимірювань по кожному досліду, дані наведенні в табл. 2.

Знайдемо значення коефіцієнтів регресії для рівняння [12]:

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

Згідно [10]: $b_0 = 623,0$; $b_1 = –47,8$; $b_2 = –90,14$; $b_{12} = –18,5$; $b_{11} = 6,0$; $b_{22} = –3,5$.

Тоді рівняння (3) прийме вид:

$$y_u = 623,0 - 47,8x_1 - 90,14x_2 - 18,5x_1x_2 + 6,0x_1^2 - 3,5x_2^2. \quad (4)$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (4) перевіряється в наступній послідовності.

Дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{16,18 - 4,9}{3} = 3,76.$$

Дисперсія відтворюваності:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{4,9}{4} = 1,23.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{расч(P)} = \frac{3,76}{1,23} = 3,06.$$

Рівняння (4) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$, так як дотримується умова: $F_{табл} \geq F_{расч(P)}$, де $F_{табл} = 6,59$ [12].

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (4) перевіряємо згідно методиці описаній роботі [12].

Знайдемо середні квадратичні похибки в визначенні коефіцієнтів Δb_0; Δb_i; Δb_{ii}; Δb_{ij}: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 4,9 = 0,98$ і $S_{\{b_0\}} = 0,99$; $S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 4,9 = 0,6125$ і $S_{\{b_i\}} = 0,78$; $S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 4,9 = 0,7$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,84$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 4,9 = 1,225$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 1,11$.

Тоді значимість коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0{,}99 = \pm 1{,}98; \quad \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0{,}78 = \pm 1{,}56; \quad \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0{,}84 = \pm 1{,}68; \quad \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 1{,}11 = \pm 2{,}22.$$

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:

$$y_u = 623{,}0 - 47{,}8(h - 4{,}35) - 90{,}14(a - 5) - 18{,}5(h - 4{,}35)(a - 5) + 6{,}0(h - 4{,}35)^2 - 3{,}5(a - 5)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$P = 905{,}29 - 3{,}5a^2 + 6h^2 - 7{,}5h - (25{,}34 - 18{,}5h)a. \tag{5}$$

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

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

Таблиця 3

Матриця планування визначення величини втрат на тертя матеріалу о грані ножа

№	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
№	x_1	x_2	h	a	y_u	y_u	$(y_u - y_u)^2$
1	1	1	5,35	5,5	386	385,50	0,2525
2	–1	1	3,35	5,5	494	493,18	0,6798
3	1	–1	5,35	4,5	564	563,53	0,2251
4	–1	–1	3,35	4,5	610	609,20	0,6344
5	–1,414	0	2,95	5	576	575,06	0,8896
6	1,414	0	5,75	5	468	466,63	1,8656
7	0	–1,414	4,35	4,3	610	608,80	1,4306
8	0	1,414	4,35	5,7	402	400,91	1,1961
9	0	0	4,35	5	512	512,12	0,0154
10	0	0	4,35	5	510	512,12	4,5122
11	0	0	4,35	5	512	512,12	0,0154
12	0	0	4,35	5	514	512,12	3,5187
13	0	0	4,35	5	512	512,12	0,0154
						$\sum_1^{13} = 6670{,}0$	$\sum_1^{13}(y_u - \bar{y}_u)^2 = 15{,}25$

Для кожного досліду проводилося п’ять повторних вимірювань на нульовому рівні, після їх розшифровки визначалося середнє значення повторних вимірювань по кожному досліду, дані наведенні в табл. 3.

Знайдемо значення коефіцієнтів регресії для рівняння (3):

Згідно [10]: $b_0 = 512{,}12$; $b_1 = -38{,}34$; $b_2 = -73{,}51$; $b_{12} = -15{,}5$; $b_{11} = 4{,}36$; $b_{22} = -3{,}64$.

Тоді рівняння (3) прийме вид:

$$y_u = 512{,}12 - 38{,}34x_1 - 38{,}34x_2 - 15{,}5x_1x_2 + 4{,}36x_1^2 - 3{,}64x_2^2. \tag{6}$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (6) перевіряється в наступній послідовності.

Дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{15{,}25 - 8{,}1}{3} = 2{,}38.$$

Дисперсія відтворюваності:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{8{,}1}{4} = 2{,}02.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{расч(P)} = \frac{2{,}38}{2{,}02} = 1{,}18.$$

Рівняння (6) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0{,}95$, так як дотримується умова: $F_{табл} \geq F_{расч(P)}$ [12].

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (6) перевіряємо у вище викладеної методиці.

Знайдемо середні квадратичні похибки в визначенні коефіцієнтів Δb_0; Δb_i; Δb_{ii}; Δb_{ij}: $S^2_{\{b_0\}} = 0,2 \cdot 2,02 = 0,404$ і $S_{\{b_0\}} = 0,64$; $S^2_{\{b_i\}} = 0,125 \cdot 2,02 = 0,2525$ і $S_{\{b_i\}} = 0,5$; $S^2_{\{b_{ii}\}} = 0,1438 \cdot 2,02 = 0,29$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,54$; $S^2_{\{b_{ij}\}} = 0,25 \cdot 2,02 = 0,505$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 0,71$.

Тоді значимість коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,64 = \pm 1,28; \quad \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,5 = \pm 1,0; \quad \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,54 = \pm 1,08; \quad \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,71 = \pm 1,42.$$

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:

$$y_u = 512,12 - 38,34(h - 4,35) - 38,34(x_j - 5) - 15,5(h - 4,35)(x_j - 5) + 4,36(h - 4,35)^2 - 3,64(x_j - 5)^2.$$

Після спрощення рівняння прийме вид:

$$F = 524,98 + 1,23h + 65,5a - 15,5ah - 3,64a^2 + 4,36h^2. \quad (7)$$

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 нанесеними на його поверхню рифлів. Підставляючи значення в рівняння (1) отримаємо середнє значення погонного зусилля монолітної гуми:

$$q_p = 3,167 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

Відхилення від отриманих раніше значень робот [10] та [11] відповідно складають Δ = 0,1 % та Δ = 1,67 %, отже розрахунки відповідають дійсності.

Висновки

Порівнюючи сумарні величини втрат при виконанні технологічної операції поздовжнього різання монолітної гуми ножом з нанесеними на його поверхню рифлів з іншими типами ножів:

при використанні ножа з односторонньою формою поперечного перерізу з нанесення на його поверхню рифлів та ножа з двосторонньою формою поперечного перерізу, отриманих в роботі [10], будемо мати:

$$\Delta P = \frac{991,04 - 622,95}{991,04} \cdot 100\,\% = 37,14\,\%,$$

при використанні ножа з односторонньою формою поперечного перерізу з нанесення на його поверхню рифлів та ножа з односторонньою формою поперечного перерізу без нанесення на його поверхню рифлів, отриманих в роботі [10], будемо мати:

$$\Delta P = \frac{759,38 - 622,95}{759,38} \cdot 100\,\% = 17,97\,\%.$$

Визначені відхилення свідчать, що при проєктування 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 одно- та двосторонньою заточками, що знизить енергетичні витрати на технологічний процес.

Список використаної літератури

1. Патент № 70012 Україна, МПК B 23 B 1/00, G 01 L 3/00. Спосіб визначення потужності, що витрачається на повздовжнє різання матеріалу / Д. А. Макатьора, В. І. Князєв ; заявник та патентовласник Київський державний університет технологій та дизайну. № u20031212100 ; заявл. 23.12.2003 ; опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9.

2. 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

3. 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

4. Макатьора Д. А., Князєв В. І. Аналіз впливу ножа з рифлями на силу просування матеріалу в процесі повздовжнього різання. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. 2004. № 3. С. 46–51.

5. Макатьора Д. А., Князєв В. І. Аналіз раціонального положення ножа та форми його поперечного перерізу в машинах типу «ДН». Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. 2004. № 1. С. 159–163.

6. Макатьора Д. А. Визначення погонного зусилля різання мікропористої гуми ножем з двосторонньою заточкою. Вісник ЧДТУ. 2013. № 2(65). С. 92–97.

7. Макатьора Д. А. Експериментальне дослідження з визначення погонного зусилля різання повсті, ножем з односторонньою заточкою. Вісник КНУТД. 2014. № 2(76). С. 113–123.

8. Макатьора Д. А. Експериментальне дослідження зусилля різання ножем з дугоподібною формою поперечного перерізу. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. № 2(283). С. 229–234.

9. Макатьора Д. А. Математичне моделювання втрат при поздовжньому різанні матеріалу рифленим ножем з односторонньою формою поперечного перерізу. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. № 4(287). С. 100–106.

10. Макатьора Д. А., Панасюк І. В. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножем з двосторонньою заточкою. Вісник Хмельницького національного університету. 2014. № 1(209). С. 31–35.

11. Макатьора Д. А., Панасюк І. В. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножем з односторонньою заточкою. Вісник ЧДТУ. 2014. № 1(71). С. 36–42.

12. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. 262 с.

References

1. Patent № 70012 Ukraina, MPK B 23 B 1/00, G 01 L 3/00. Sposib vyznachennia potuzhnosti, shcho vytrachaietsia na povzdovzhnie rizannia materialu [Method for determining the power consumed for longitudinal cutting of material]. D. A. Makatora, V. I. Kniaziev ; applicant and patent owner Kyiv State University of Technologies and Design. No. u20031212100; appl. 23.12.2003; publ. 15.09.2004, Biul. № 9.

2. Makatora, D. A., Makatora, A. V., Zenkin, M. A. (2022). 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, № 1 (47), P. 20–29. DOI: https://doi.org/10.32845/msnau.2022.1.4.

3. Makatora, D., Makatora, A., Zenkin, M. (2021). Mathematical modeling of a linear load of felt. Global Research Review, Vol. 1, No. 4. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.6421785

4. Makatora, D. A., Kniaziev, V. I. (2004). Analiz vplyvu nozha z ryfliamy na sylu prosuvannia materialu v protsesi povzdovzhnoho rizannia [Analysis of the influence of a fluted knife on the force of material advancement during longitudinal cutting]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu, № 3, P. 46–51.

5. Makatora, D. A., Kniaziev, V. I. (2004). Analiz ratsionalnoho polozhennia nozha ta formy yoho poperechnoho pererizu v mashynakh typu “DN” [Analysis of the rational position of the knife and the shape of its cross-section in machines of the “DN” type]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu, № 1, P. 159–163.

6. Makatora, D. A. (2013). Vyznachennia pohonnoho zusyllia rizannia mikroporystoi humy nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu [Determination of the linear force of cutting microporous rubber with a knife with double-sided sharpening]. Visnyk ChDTU, № 2(65), P. 92–97.

7. Makatora, D. A. (2014). Eksperymentalne doslidzhennia z vyznachennia pohonnoho zusyllia rizannia povsti, nozhem z odnostoronnoiu zatochkoiu [Experimental study on determining the linear force of cutting felt with a knife with one-sided sharpening]. Visnyk KNUTD, № 2(76), P. 113–123.

8. Makatora, D. A. (2020). Eksperymentalne doslidzhennia zusyllia rizannia nozhem z duhopodibnoiu formoiu poperechnoho pererizu [Experimental study of cutting force with a knife with an arcuate cross-sectional shape]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, № 2(283), P. 229–234.

9. Makatora, D. A. (2020). Matematychne modeliuvannia vtrat pry pozdovzhnomu rizanni materialu ryflenym nozhem z odnostoronnoiu formoiu poperechnoho pererizu [Mathematical modeling of losses during longitudinal cutting of material with a fluted knife with a one-sided cross-sectional shape]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, № 4(287), P. 100–106.

10. Makatora, D. A., Panasiuk, I. V. (2014). Vyznachennia pohonnoho zusyllia rizannia monolitnoi humy nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu [Determination of the linear force of cutting monolithic rubber with a knife with double-sided sharpening]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, № 1(209), P. 31–35.

11. Makatora, D. A., Panasiuk, I. V. (2014). Vyznachennia pohonnoho zusyllia rizannia monolitnoi humy nozhem z odnostoronnoiu zatochkoiu [Determination of the linear force of cutting monolithic rubber with a knife with one-sided sharpening]. Visnyk ChDTU, № 1(71), P. 36–42.

12. Tihomirov, V. B. (1974). Planirovanie i analiz jeksperimenta [Planning and analysis of the experiment]. Moscow : Legkaja industrija. 262 p.