

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ВЗУТТЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

*В даній статті проводиться експериментальне дослідження процесу різання взуттєвих матеріалів в статичному та динамічному режимах.*

*Ключові слова: легка промисловість, швейні та взуттєві матеріали, різання, швидкість різання, чистота зрізу.*

O.S. POLISHCHUK

Khmelnitskyi National University

### EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROCESS OF CUTTING SHOE MATERIALS

*Interaction of an edge with visco-elastic material, in the course of its cutting, is characterized extremely difficult, mainly physical, by the phenomena. These phenomena are not subject to a clear analytical description. Only a combination of theoretical foundations with experimental studies will give an understanding of the true physical nature of this process. It will make important, in the applied relation, conclusions. Research on cutting materials in the footwear and clothing industry was conducted in a static mode by many scientists. At present, there is practically no study of cutting materials in a dynamic mode. To date, thanks to the development of measuring techniques, the opportunity to more accurately determine the parameters of the cutting process of materials. Using digital microscopes and high-speed video recording, you can record the process of immersing a working body into a material. Experimental installations were developed to investigate the operation of cutting footwear and sewing materials in static and dynamic regimes. For the experiment, samples of shoe materials with different physical and mechanical properties were selected. A study was carried out on the process of cutting shoe and sewing materials in different modes. The obtained results of experimental studies made it possible to draw the following conclusions. It was experimentally established dependence of the general work of cutting and preliminary compression of material on cutting speed in the range of various speeds. Dynamic cutting compared to static, can be characterized by the appearance of additional factors: an increase in the difference between the speed of applying the load from the side of the blade and the rate of distribution of deformations in the material; reduction of dry frictional force; increase of "inertia support" layers of material; a significant reduction in the cutting angle and so on. The growth rate of the useful work of the cutter blade has been experimentally determined and, accordingly, the reduction of the cutting force and the overall cutting performance with increasing cutting speed. Most footwear and sewing fibrous materials are anisotropic materials with different mechanical properties in different directions. One way to reduce anisotropic properties is to seal the material during the cutting operation. To assess the process of destruction and, in particular, cutting of visco-elastic materials, especially fibrous, the essential indicator is the cleanliness of the cut. In the course of experimental studies, the relationship between the cutting speed and the cutoff is established. As the cutting speed increases, the cut cleanliness improves.*

*Key words: light industry, shoe material, cutting, cutting speed, cutting cleanliness.*

### Вступ

Взаємодія леза з в'язко-пружним матеріалом, в процесі його різання, характеризується надзвичайно складними, головним чином фізичними, явищами, які не піддаються чіткому аналітичному опису. Тільки поєднання теоретичних основ з експериментальними дослідженнями дасть розуміння справжньої фізичної сутності цього процесу та дозволить зробити важливі, в прикладному відношенні, висновки. В багатьох випадках, задача теоретичного дослідження спрощується прийняттями припущенням для того щоб визначити основні величини, якими описується технологічний процес. Експериментальні дослідження, які проводяться для підтвердження адекватності теоретичних тверджень, показують, наскільки значуща похибка отриманих результатів, обумовлена прийнятим припущенням, і відповідно, в якому напрямку повинна бути скоректована теоретичні дослідження.

### Постановка проблеми

Експериментальні дослідження процесу різання матеріалу проводяться для виявлення закономірностей, що представляють інтерес з точки зору існуючих теоретичних досліджень та їх прикладного використання.

Існують різні експериментальні методи та пристрої, що використовуються в сучасній експериментальній практиці для дослідження процесу різання матеріалів в різних галузях, зокрема: металів – в машинобудуванні; різних порід дерева – в деревообробній промисловості, стебел рослин – в сільському господарстві; овочів – в харчовій промисловості тощо. Дослідження різання матеріалів у взуттєвій та швейній промисловості проводилися в статичному режимі багатьма вченими. Наразі, практично відсутні дослідження різання матеріалів в динамічному режимі.

На сьогоднішній день, завдяки розвитку вимірювальної техніки, з'явилася можливість більш точно визначати параметри процесу різання матеріалу. За допомогою цифрових мікроскопів та надшвидкісної відеозйомки можна записати процес занурення робочого органу в матеріал.

**Метою статті** є експериментальне дослідження процесу різання взуттєвих матеріалів в статичному та динамічному режимах.

### Виклад основного матеріалу

Роботу попереднього стискання шару можна виразити залежністю [1]:

$$A_{cm} = E_{cm} \cdot \frac{t_{cm}}{t}, \quad (1)$$

де  $E_{cm}$  – модуль стискання матеріалу лезом, що має розмірність роботи (за В.П. Горячкіним);  $t_{cm}$  – величина стискання матеріалу;  $t$  – товщина матеріалу.

Робота  $A_{cm}$  може бути визначена як площа першої дільниці діаграми різання (рис. 3). З незначною похибкою вона дорівнює площі трикутника  $\Delta ABF$  з основою  $t_{cm}$  і висотою  $F_{kp}$ . Величина сили стискання, при якій закінчується стискання матеріалу лезом і починається його занурення в матеріал, називається критичною стискаючою силою леза  $F_{kp}$ . Таким чином:

$$A_{cm} = \frac{F_{kp}}{2} \cdot t_{cm}. \quad (2)$$

Прирівнявши вирази (1) і (2), можна визначити значення критичної стискаючої сили  $F_{kp}$ , за якої починається різання:

$$F_{kp} = \frac{2 \cdot E_{cm}}{t}, \quad (3)$$

і значення модуля стискання матеріалу лезом:

$$E_{cm} = t \cdot \frac{F_{kp}}{2}. \quad (4)$$

Відповідно формули (4) і рис. 3 модуль стискання рівний площі трикутника  $\Delta ABF$ , основою якого є товщина матеріалу  $t$ , а висотою – критична сила стискання  $F_{kp}$ . Вираз (4) дозволяє експериментально визначити модуль стискання матеріалу лезом робочого інструменту.

Відношення критичної сили  $F_{kp}$  до величини стискання  $t_{cm}$  представляє собою тангенс кута  $\theta$  нахилу гіпотенузи трикутника  $\Delta ABF$  на діаграмі стискання:

$$\eta_{on} = tg\theta = \frac{F_{kp}}{t_{cm}}. \quad (5)$$

Величину  $\eta_{on}$  можна назвати коефіцієнтом опору шару стискання лезом до початку різання.

Відношення корисної роботи різання  $A_{piz}$  до всієї роботи  $A$ , що затрачається при різанні, є коефіцієнтом корисної роботи леза  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{A_{piz}}{A_{piz} + A_{cm}}. \quad (6)$$

Роботу  $A_{piz}$  з несуттєвою похибкою можна визначити із діаграми різання (рис. 3) як площу прямокутника CDEF з основою  $t - t_{cm}$  і висотою  $F_{piz,сер.}$ , що представляє собою середнє значення зусилля на дільниці різання:

$$A_{piz} = F_{piz}(t - t_{cm}). \quad (7)$$

Підставляючи значення  $A_{cm}$  із формули (4) і  $A_{piz}$  із формули (7) у вираз (6) отримаємо:

$$\lambda = \frac{F_{piz}(t - t_{cm})}{\frac{F_{kp}}{2} t_{cm} + F_{piz}(t - t_{cm})}. \quad (8)$$

Так як при різанні матеріалів легкої промисловості завжди має місце його попереднє стискання лезом, то коефіцієнт  $\lambda$  буде менше одиниці. Збільшення цього коефіцієнту характеризує поліпшення процесу різання, так як загальна робота  $A$ , що затрачається на процес попереднього стискання і різання, на основі виразу (6) буде визначена:

$$A = A_{cm} + A_{piz} = \frac{A_{piz}}{\lambda}. \quad (9)$$

Аналіз формули показує, що робота  $A$  зі збільшенням  $\lambda$  зменшується.

В якості енергетичної оцінки процесу різання, що характеризує його енергоємність, був вибраний найбільш важливий і такий, що легко співставляється для різних умов експерименту показник – питома робота різання  $A_{num}$ , яку можна визначити за формулою:

$$A_{num} = \frac{A}{F_{zp}} = \frac{A}{b_{zp} \cdot t}, \quad (10)$$

де  $F_{zp}$  – площа перерізу зразка матеріалу, що розрізається лезом різача;  $b_{zp}$  – ширина зразка матеріалу.

У формулі (8) зазначено дві величини сили різання –  $F_{piz}$  і  $F_{kp}$ . Залежно від різання конкретних взуттєвих матеріалів в експериментах можуть бути висунуті такі умови:

$$F_{krum} > F_{piz}; \quad F_{krum} = F_{piz}; \quad F_{krum} < F_{piz}. \quad (10)$$

Тому з незначною похибкою, і тим більше, якщо процес різання відбувається в динамічному режимі, можна прийняти, що:

$$F_{\text{крит}} = F_{\text{різ}} = F_{\text{різ.сер.}} \quad (11)$$

Тоді загальна робота  $A$  різання матеріалу у відповідності з виразами (2), (7) і (9) може бути представлена у вигляді:

$$A = A_{\text{см}} + A_{\text{різ}} = F_{\text{різ.сер.}} \cdot \frac{t_{\text{см}}}{2} + F_{\text{різ.сер.}} \cdot (t - t_{\text{см}}) = F_{\text{різ.сер.}} \cdot \left( t - \frac{t_{\text{см}}}{2} \right). \quad (12)$$

Таким чином, знаючи товщину матеріалу  $t$ , визначивши експериментальним шляхом величини  $t_{\text{см}}$ ,  $F_{\text{різ.сер.}}$  та  $A$  можна знайти коефіцієнт корисної роботи леза  $\lambda$  на основі формул (7) та (9):

$$\lambda = \frac{F_{\text{різ.сер.}} \cdot (t - t_{\text{см}})}{A}. \quad (13)$$

### Результат роботи

Для дослідження операції вирубування взуттєвих та швейних матеріалів у статичному режимі, було розроблено експериментальну установку (рис. 1). До складу експериментальної установки входить: пристрій для виконання операції вирубування 1; блок вимірювальної апаратури 2; цифровий мікроскоп 3; комп'ютер 4. Пристрій для виконання операції вирубування складається з: рами 1, гвинтової пари для створення навантаження 2, різачка 3, матеріалу 4 (рис. 2).

Блок вимірювальної апаратури складається з: тензометричної балки 5 для визначення зусилля вирубування, тензометричної балки 6 для визначення величини занурення різачка в матеріал, підсилювача, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) та комп'ютера.



Рис. 1. Установка для дослідження операції вирубування взуттєвих матеріалів в статичному режимі

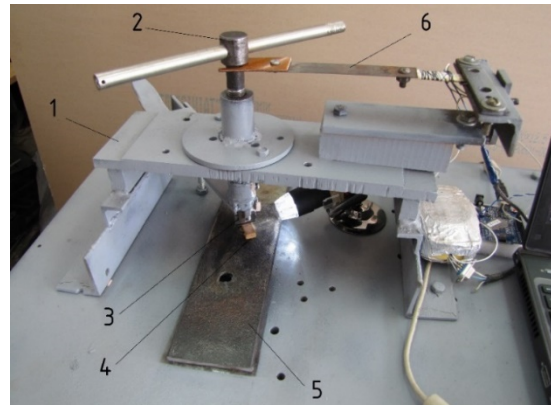


Рис. 2. Пристрій для виконання операції вирубування в статичному режимі

Для запису процесу занурення різачка в матеріал використовується USB цифровий мікроскоп 2 (рис. 1).

Установка для дослідження операції вирубування взуттєвих матеріалів, в статичному режимі, працює наступним чином. Взуттєвий матеріал, визначених параметрів, встановлюється на тензометричну балку 5 (рис. 2). За допомогою гвинтової пари 2 створюється необхідне зусилля різання матеріалу 4. Ніж 3, занурюючись у матеріал 4, прорізає його. Аналогові сигнали, що виникають в тензометричних балках 5 і 6, підсилюються за допомогою підсилювача, перетворюються в цифрові за допомогою АЦП та поступають на комп'ютер. За допомогою розробленого програмного забезпечення, встановленого на комп'ютері, отримується залежність технологічного зусилля вирубування від величини занурення різачка у матеріал. За отриманими залежностями в подальшому можна визначати параметри процесу вирубування матеріалу. Одночасно, за допомогою USB цифрового мікроскопа записувався у файл процес занурення різачка в матеріал.

Для проведення експерименту було вибрано зразки взуттєвих матеріалів з різними фізико-механічними властивостями: натуральну шкіру низу; натуральну шкіру верху; замшу; взуттєвий картон і гуму для підшав монолітну. У всіх проведених дослідях ширина матеріалів, що піддавалися процесу різання була однаковою і складала 15 мм.

Для вирубування використовувався прямолінійний різак з кутом загострення  $25^\circ$ , без притуплення.

Для кожного із матеріалів проводилося по п'ять дослідів. Отримані результати дослідження наведені в табл. 1. Зразки матеріалів в табл. 1 розміщені під номерами: 1 – натуральна шкіра низу; 2 – натуральна шкіра верху; 3 – замша; 4 – взуттєвий картон; 5 – гума для підшав монолітна. Приклад діаграми різання натуральної шкіри низу взуття представлено на рис. 3.

Отриману діаграму різання можна розділити на дві характерних ділянки, що відповідають різним стадіям процесу: стискання шару матеріалу лезом до тиску достатнього для проникнення леза в товщину (попереднє стискання); рух леза крізь матеріал (різання).

Робота, що витрачається на кожну із вказаних стадій з невеликою похибкою, характеризується відповідною площею  $A_{\text{см}}$  ( $\Delta A B F$ ) і  $A_{\text{різ}}$  ( $\alpha C D E F$ ) (рис. 3) діаграми різання. З точки зору потрібного ефекту корисною слід вважати тільки ту роботу, яка витрачається безпосередньо на різання  $A_{\text{різ}}$ , і не корисною, хоч і

невідворотною, – роботу попереднього стискання матеріалу  $A_{cm}$ .

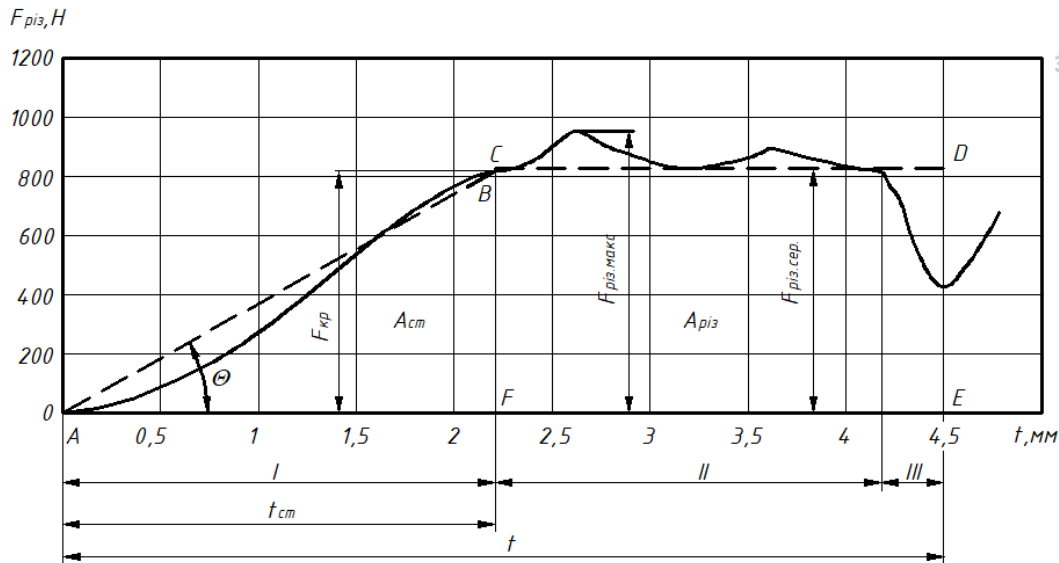


Рис. 3. Діаграма різання натуральної шкіри низу взуття в статичному режимі

Таблиця 1

Експериментальні та розрахункові дані різання взуттєвих матеріалів в статичному режимі

№ з/п	Показник	Матеріал				
		1	2	3	4	5
1	Товщина матеріалу $t$ , мм	4,5	1,5	1,54	2,0	2,0
2	Величина стискання $t_{cm}$ , мм	2,2	1,22	1,05	1,65	1,8
3	Критична сила $F_{kp}$ , Н	810	1325	1400	1390	300
4	Робота, Н·м					
	– стискання $A_{cm}$	0,89	0,64	0,97	0,65	0,12
	– різання $A_{piz}$	1,96	0,37	0,7	0,49	0,06
	– загальна $A$	2,85	1,01	1,67	1,14	0,18
5	Коефіцієнт $\lambda$ корисної роботи різання	0,68	0,58	0,42	0,43	0,33
6	Модуль стискання $E_{cm}$	1,82	1,04	1,85	0,2	0,07
7	Площа $S_{zp}$ перерізу матеріалу, $cm^2$	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
8	Питома робота, Н·м/ $cm^2$					
	– загальна $A_{num}$	4,19	1,49	2,46	1,68	0,265
	– різання $A_{piz.num}$	2,89	0,54	1,03	0,72	0,088
	– стискання $A_{cm.num}$	1,30	0,95	1,43	0,96	0,177

Аналіз діаграми різання натуральної шкіри низу взуття в статичному режимі показав, що процес різання відбувається у три етапи: *I* – вдавлювання робочого інструменту (різака) в матеріал, тобто етап стискання матеріалу; *II* – занурення різачка в матеріал; *III* – розсовування матеріалу після розриву. Для деяких матеріалів, особливо однорідних за структурою, даний етап може бути відсутнім. Етап розсовування матеріалу можна віднести до етапу різання матеріалу, в зв'язку з тим, що на даному етапі відбувається ще дорізування не зруйнованих волокон, і сам процес розсовування теж потребує певних витрат енергії.

На рис. 4 представлено характерні діаграми різання для інших вибраних матеріалів різної товщини ( $t=1,5 - 2$  мм).

Штрихова лінія на рис. 4 показує кінець етапу стискання матеріалу і початок його різання різачком. З отриманих діаграм видно, що для різних матеріалів площа дільниці стискання різна. На величину площі мають вплив фізико-механічні властивості матеріалу.

На діаграмах різання (рис. 3, 4) ординати на дільниці попереднього стискання виражають величину тиску ножа на матеріал, на дільниці різання – величину сили різання. Відсутність плавності кривої на першій дільниці вказує на нерівномірність деформації матеріалу. На дільниці різання нерівномірність сили різання, особливо для неоднорідних матеріалів обумовлена анізотропними властивостями матеріалу. Особливо це видно по руйнуванню натуральної шкіри низу взуття (рис. 3). Точка В абсциси характеризує момент закінчення стискання і початку різання матеріалу. Вона розділяє абсцису на дві частини:  $t_{cm}$ , що представляє собою величину практично лінійного стискання шару першочергової товщини матеріалу  $t$  і  $t - t_{cm}$ , що представляє собою товщину шару матеріалу, що ущільнений лезом в момент початку різання.

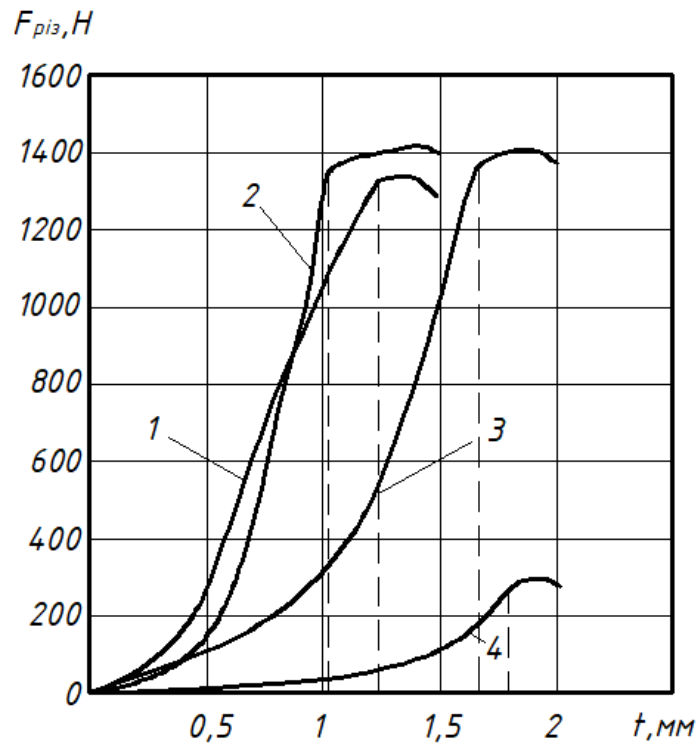


Рис. 4. Діаграми різання матеріалів в статичному режимі: 1 – натуральна шкіра верху; 2 – замша; 3 – взуттєвий картон; 4 – гума для підшов

З отриманих діаграм різання взуттєвих матеріалів було визначено величину стиснення матеріалу  $t_{cm}$ , критичну силу  $F_{kp}$  та силу різання  $F_{piz}$ , роботу стиснення  $A_{cm}$ , роботу різання  $A_{piz}$ . Загальна робота  $A$ , коефіцієнт корисної дії леза робочого інструменту  $\lambda$ , модуль стиснення  $E_{cm}$ , загальна питома робота  $A_{num}$ , питома робота стиснення  $A_{cm,num}$  та питома робота різання  $A_{piz,num}$  визначалися на основі вище приведених формул. Отримані результати приведені в табл. 1.

На рис. 5 проілюстровані відзняті кадри поетапного занурення різачка в матеріал в статичному режимі в натуральну шкіру низу взуття і взуттєвий картон.

Аналіз відзнятих кадрів занурення різачка у використані в експерименті матеріали, підтвердив, що етап стиснення матеріалу робочим інструментом є суттєвим та в деяких випадках, наприклад для гуми складає до 85%. Також було підтверджено наявність етапу розсовування матеріалу після розриву в результаті якого отримується не якісний зріз матеріалу.

Для дослідження операції різання взуттєвих матеріалів у динамічному режимі, було розроблено експериментальну установку. До складу експериментальної установки входить: пристрій для виконання операції різання; блок вимірювальної апаратури; високошвидкісна камера; комп'ютер.

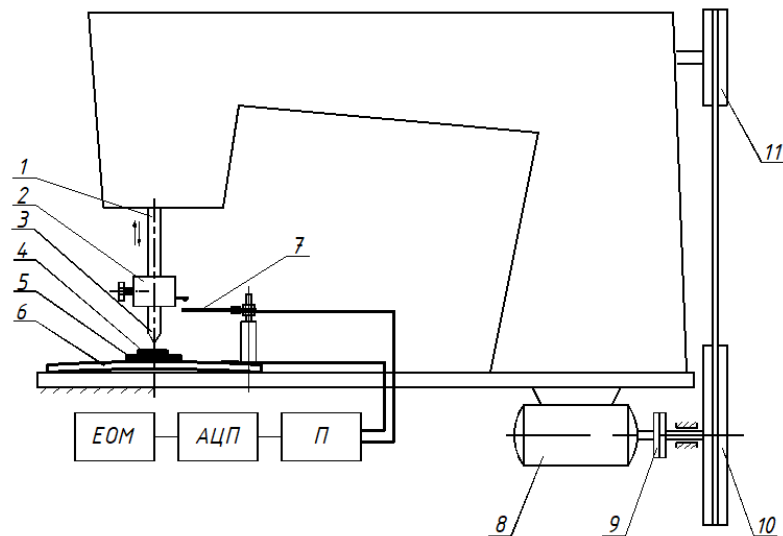


Рис. 6. Експериментальна установка для визначення сили різання в динамічному режимі: 1 – голководій; 2 – тримач; 3 – різак; 4 – матеріал; 5 – вирубна плита; 6 – тензометрична балка для вимірювання сили різання; 7 – тензометрична балка для вимірювання величини занурення різачка в матеріал; 8 – електричний двигун; 9 – муфта; 10 – пасова передача; 11 – махове колесо



Пристрій для виконання операції різання складається із головки швейної машини з електромеханічним приводом (рис. 6). Для підвищення ефективності процесу різання в машині були відключені механізми переміщення матеріалу та човника, а також знято притискний ролик. До голководія 1 було прикріплено тримач 2 в якому закріплено різак 3 для різання матеріалу. Матеріал 4, який використовується для вирубвання, вкладається на вирубну плиту 5.

Блок вимірювальної апаратури складається з: тензометричної балки для визначення зусилля вирубвання 6, тензометричної балки для визначення величини занурення різачка в матеріал 7, підсилювача, аналогово-цифрового перетворювача та комп'ютера.

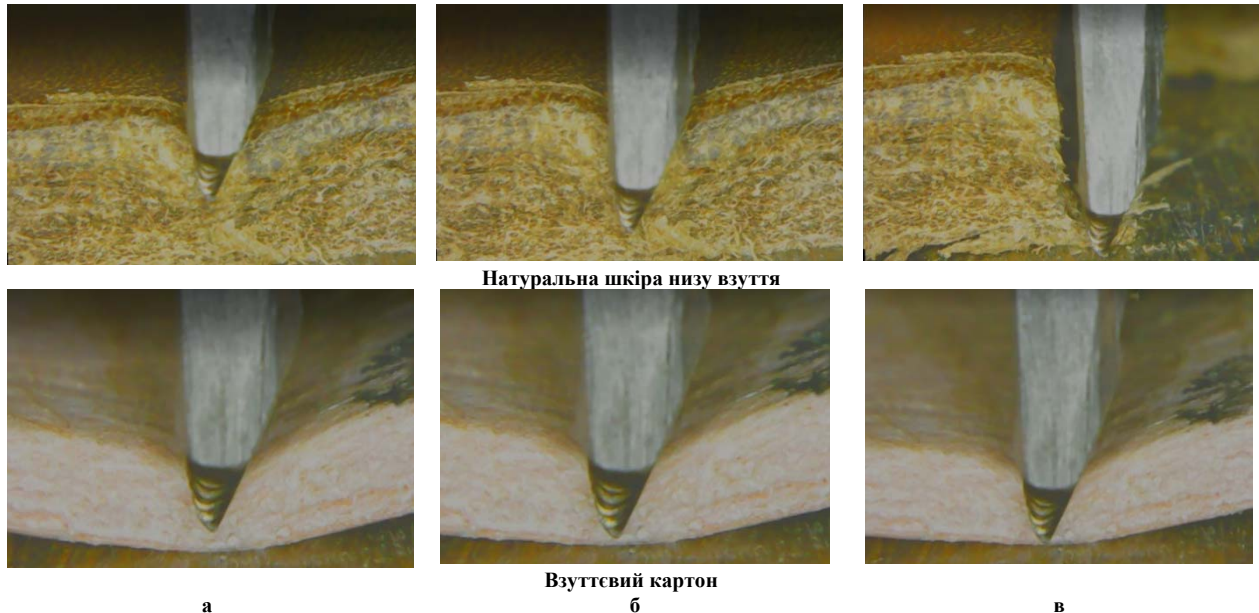


Рис. 5 Етапи занурення різачка в матеріал: а – стискання; б – різання; в – розсовування нижнього шару

Дана експериментальна установка дозволяє провести виконання операції різання матеріалу в динамічному режимі на швидкостях від 1 до 4 м/с. Для запису процесу занурення різачка в матеріал на зазначених швидкостях використовується камера, що дозволяє здійснювати надшвидкісну відеозйомку. За допомогою наявної в камері функції «супер уповільнений рух» є можливість переглядати відзняте відео покадрово та зберігати необхідні кадри.

При проведенні експериментальних досліджень відеозйомка здійснювалася в площині, перпендикулярній до кромки леза і співпадаючої з торцем матеріалу. Це дозволило досить точно прослідкувати за процесом занурення леза різачка в матеріал і знайти момент закінчення стикання шару і початку його руйнування під кромкою леза.

Установка для дослідження операції вирубання взуттєвих матеріалів, в динамічному режимі, працює наступним чином. Взуттєвий матеріал 4, визначених параметрів, встановлюється на вирубну плиту, яка в свою чергу розміщується на тензометричній балці 6. За допомогою електричного двигуна 8, через фрикційну муфту 9, пасову передачу 10 та махове колесо 11, приводиться в рух головний вал швейної машини. Він, в свою чергу через кривошипно-повзунний механізм приводить в дію голководій із закріпленим різачком. Таким чином, за рахунок крутного моменту електричного двигуна 8 створюється необхідне зусилля різання  $F_{різ}$  зразка матеріалу. Передударна швидкість різання матеріалу різачком розраховується теоретичним шляхом, виходячи із частоти обертання головного валу швейної машини. Взуттєвий матеріал 4, що досліджується, встановлюється на тензометричну балку 6. Далі різак 3, занурюючись у матеріал 4, прорізує його. Аналогові сигнали, що виникають в тензометричних балках 6 і 7, підсилюються за допомогою підсилювача, перетворюються в цифрові за допомогою АЦП та надходять на комп'ютер. За отриманими експериментальними даними, за допомогою розробленого програмного забезпечення, встановленого на комп'ютері, в подальшому будується графік залежності сили різання  $F_{різ}$  від величини занурення різачка в матеріал  $t$ .

Одночасно, за допомогою камери у файл записується процес занурення різачка в матеріал. Покадровий перегляд відзнятого процесу та його збільшення за допомогою наявної в камері функції наближення, дозволяє також визначити момент закінчення етапу стискання та початок етапу різання матеріалу та визначити, за допомогою вимірювальних приладів, величину стискання матеріалу  $t_{cm}$ . Це дало змогу перевірити правильність даних отриманих із діаграми різання.

В зв'язку зі складністю проведення даного експерименту в динамічному режимі для матеріалів, що мають малу товщину, дослідженню піддавалася натуральна шкіра низу взуття, товщина якої була 4,5 мм. При проведенні даного експерименту використовувався той самий різак з тим ж параметрами, що і при проведенні експерименту в статичному режимі. Для даного матеріалу проводилося 15 дослідів. Така велика

кількість дослідів дала змогу відтворити реальну картину швидкісного різання матеріалу різаком.

В подальшому, змінюючи частоту обертання головного валу швейної машини, змінювали передударну швидкість робочого інструменту та повторювали експеримент для того ж самого матеріалу. Отримані дані різання натуральної шкіри низу взуття в динамічному режимі приведені в табл. 2.

Отриману діаграму різання натуральної шкіри низу взуття також, як і при статичному режимі, можна розділити на дві характерних ділянки, що відповідають різним стадіям процесу. Робота, що витрачається на кожну із двох стадій, характеризується відповідними площами  $A_{cm}$  ( $\Delta ABF$ ) і  $A_{piz}$  ( $\alpha BDEF$ ) (рис. 7) діаграми різання. Як показує дана діаграма, при динамічному різанні матеріалів відсутній етап розсовування нижнього шару матеріалу. Тобто процес різання відбувається до самого кінця. Ретельний аналіз, отриманих за допомогою відеозйомки кадрів занурення леза різачка в матеріал при швидкостях 1–4 м/с, показав наявність в кінці різання зони матеріалу, який практично не деформується. Це і пояснює те, що при швидкісному різанні відсутній етап розсовування матеріалу і матеріал ріжеться без розриву до кінця.

З отриманих діаграм різання взуттєвих матеріалів в динамічному режимі було визначено величину стискання матеріалу  $t_{cm}$ , силу різання  $F_{piz,сep.}$ , роботу стискання  $A_{cm}$ , роботу різання  $A_{piz}$ . Загальна робота  $A$ , коефіцієнт корисної дії леза робочого інструменту  $\lambda$ , загальна питома робота  $A_{num}$ , питома робота стискання  $A_{cm,num}$  та питома робота різання  $A_{piz,num}$  визначалися за відповідними формулами.

Таблиця 2

**Експериментальні та розрахункові дані різання натуральної шкіри низу взуття в динамічному режимі**

№ з/п	Показник	Швидкість різання, м/с							
		0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
1	Величина стискання $t_{cm}$ , мм	1,39	1,3	1,2	1,12	1,08	1,04	0,95	0,9
2	Сила різання, $F_{piz,сep.}$ , Н	494	500	518	533	540	561	577	610
3	Робота, Н·м								
	– стискання $A_{cm}$	0,7	0,5	0,4	0,32	0,3	0,25	0,21	0,2
	– різання $A_{piz}$	1,9	1,87	1,86	1,83	1,82	1,815	1,81	1,8
	– загальна $A$	2,6	2,37	2,26	2,15	2,12	2,06	2,02	2,0
4	Коефіцієнт корисної роботи різання $\lambda$	0,73	0,78	0,82	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
5	Площа перерізу матеріалу $S_{зр}$ , см <sup>2</sup>								
		0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
	Питома робота, Н·м/см <sup>2</sup>								
	– загальна $A_{num}$	3,82	3,48	3,32	3,16	3,12	3,03	2,97	2,94
	– різання $A_{piz,num}$	2,79	2,75	2,74	2,69	2,68	2,67	2,66	2,65
	– стискання $A_{cm,num}$	1,03	0,73	0,58	0,47	0,44	0,36	0,31	0,29

Приклад діаграми різання натуральної шкіри низу взуття в динамічному режимі при швидкості 3 м/с наведено на рис. 7.

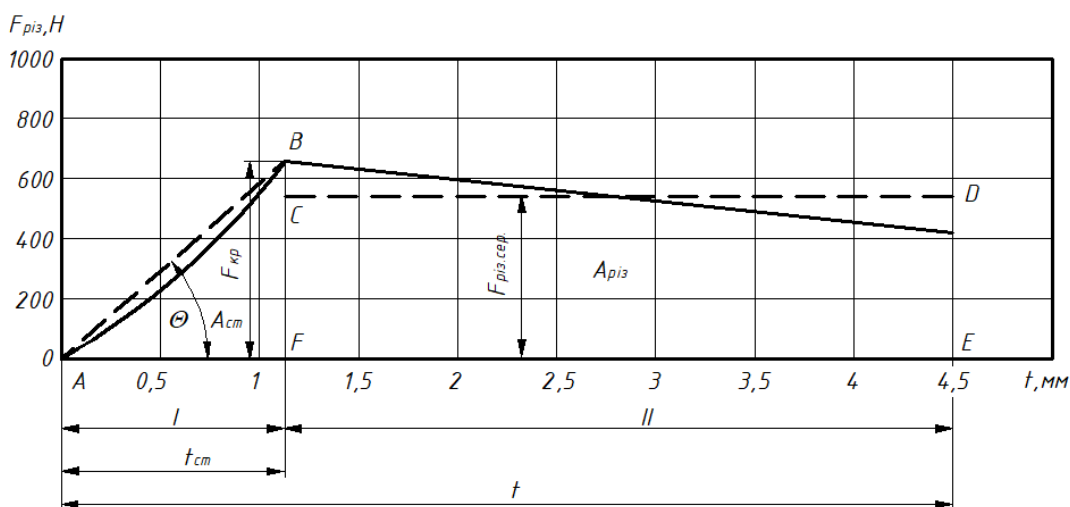


Рис. 7. Діаграма різання натуральної шкіри низу взуття в динамічному режимі

На основі отриманих експериментальних та розрахункових даних були побудовані графіки

залежності середнього зусилля різання  $F_{різ.сер.}$ , загальної роботи  $A$ , роботи різання  $A_{різ}$ , роботи стискання  $A_{см}$ , коефіцієнту корисної роботи  $\lambda$  і величини стискання матеріалу  $t_{см}$  від швидкості різання  $V_{різ}$  натуральної шкіри низу взуття (рис. 8).

На рис. 9 наведені відзняті кадри етапів занурення різачка у матеріал в динамічному режимі.

Далі було проведено дослідження по знаходженню технологічних особливостей швидкісного різання зразків взуттєвих матеріалів, а саме чистоти торцевої поверхні зразка. Якість лінії різку визначається декількома показниками, а саме: надійністю розділення матеріалу, шириною лінії різку, виглядом різку і величиною зони деструкції [2]. Зразки поверхні деталі взуття з натуральної шкіри низу (чепрака) отриманні при різанні в статичному і динамічному режимах приведені на рис. 10. Як видно з них при швидкісному різанні різак прорізає матеріал на всю його товщину (рис 10, а). Торцева поверхня отримується рівною і гладкою. При різанні в статичному режимі (рис. 10, б) спостерігається випереджаючий розрив матеріалу перед різачком в результаті якого поверхня розриву отримується шорсткою.

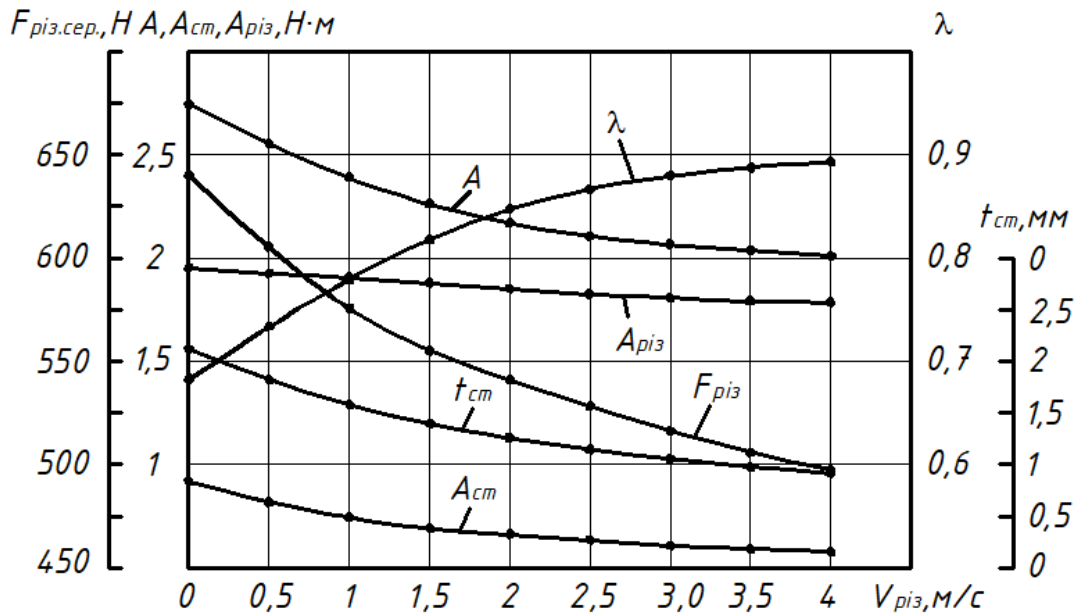


Рис. 8. Графіки залежності середнього зусилля різання  $F_{різ.сер.}$ , загальної роботи  $A$ , роботи різання  $A_{різ}$ , роботи стискання  $A_{см}$ , коефіцієнту корисної роботи  $\lambda$  і величини стискання матеріалу  $t_{см}$  від швидкості різання  $V_{різ}$  натуральної шкіри низу взуття

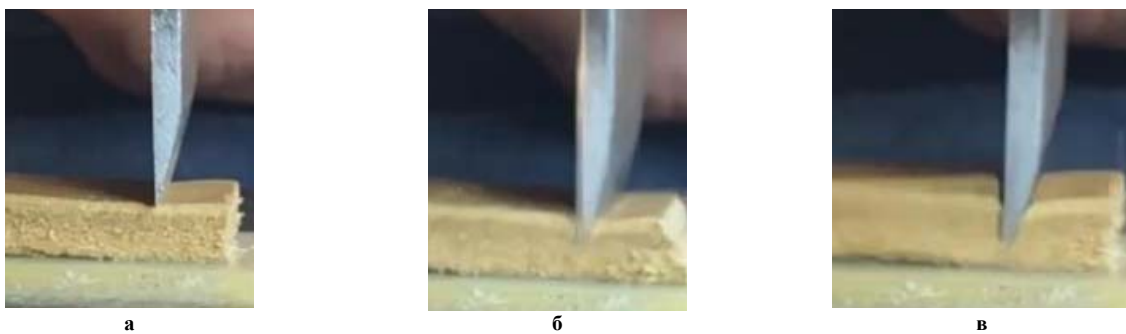


Рис. 9. Етапи занурення різачка в натуральну шкіру низу взуття: а – стискання; б – різання; в – зона недеформованого матеріалу

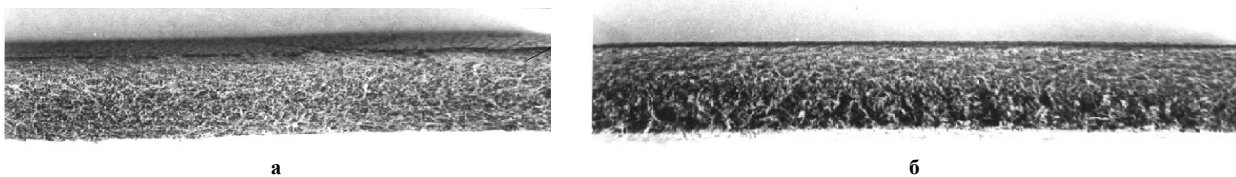


Рис. 10. Зразки поверхонь торців зразка з натуральної шкіри низу взуття при різанні: а – в статичному режимі; б – в динамічному режимі

### Висновки

1. Експериментально було встановлено залежність загальної роботи  $A$  і попереднього стискання матеріалу  $t_{см}$  від швидкості різання  $V_{різ}$  в діапазоні швидкостей 1–4 м/с. При динамічній дії леза на матеріал



різання настає раніше, зменшується величина роботи стискання  $A_{cm}$ , що і підтвердив експеримент.

Також результати експериментальних досліджень показали, що при різанні взуттєвого матеріалу має місце залежність  $F_{pi3}=f(V_{pi3})$ , тобто робота різання зі збільшенням швидкості різання зменшується. Це можна пояснити збільшенням коефіцієнту корисної роботи леза  $\lambda$ . При більшій величині  $\lambda$  різання стає більш вигідним з точки зору енерговитрат.

При різанні матеріалу на малих швидкостях енергія витрачається нерационально, збільшується доля її витрат на попереднє стискання шару матеріалу, тобто на тертя та деформацію всередині нього.

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що питома робота різання  $A_{num}$  зі збільшенням швидкості зменшується. При динамічному різанні на зменшення питомої роботи  $A_{num}$  зі збільшенням швидкості також впливає робота  $A_{cm}$ , що витрачається на попереднє стискання шару матеріалу. Як показав експеримент, зі збільшенням швидкості робота на стикання матеріалу зменшується. Це можна пояснити тим, що при динамічній дії леза на шар матеріалу різання настає раніше, ніж шар буде мати щільність, необхідну для статичного різання. Тому, коефіцієнт корисної роботи леза, як вже відмічалось, зі збільшенням швидкості різання зростає.

2. Динамічне різання порівняно зі статичним, можна охарактеризувати появою додаткових факторів: збільшення різниці між швидкістю прикладання навантаження зі сторони леза і швидкістю розподілення деформацій в матеріалі; зниження сили сухого тертя; збільшення «інерційного підпору» шарами матеріалу; значного зменшення кута різання тощо.

3. Експериментально встановлено зростання коефіцієнту корисної роботи леза  $\lambda$  і відповідно зменшення сили різання  $F_{pi3}$  і загальної роботи різання  $A$  зі збільшенням швидкості різання  $V_{pi3}$ . Це можна пояснити зміною співвідношення швидкостей розповсюдження напружень і деформацій в матеріалі. Напруження, що виникають в місці контакту леза із шаром матеріалу, передаються з певною швидкістю в матеріал. Швидкість розповсюдження напружень відповідає і швидкості розповсюдження деформацій. Пружні напруження розповсюджуються в матеріалі зі швидкістю звуку, в той час як залишкові – доволі повільно. У в'язко-пружному матеріалі швидкість розповсюдження напружень незначна, тому удар леза передається в шар повільно і, відповідно, при більшій швидкості нанесення такого удару, напруження, що виникають від нього, будуть сконцентрованими (локалізованими) біля леза. Таким чином можна пояснити те, що місцеві руйнування матеріалу під лезом різача відбуваються з меншими витратами енергії.

4. Для локалізації впливу леза при значній швидкості його занурення у шар матеріалу, мають значення і прискорення, що виникають у прошарках шару матеріалу від прагнення леза вивести їх зі стану спокою та миттєво надати їм значну швидкість. Величина цих прискорень, не дивлячись на незначну масу прошарків, досягається за рахунок швидкості значних величин, що обумовлюють виникнення інерційних сил. Величина сил є достатньою для локалізації деформацій і створення «інерційного підпору».

Наявність такого явища підтверджується зменшенням величини попереднього стискання матеріалу  $t_{cm}$  зі збільшенням швидкості різання  $V_{pi3}$ . Особливо це було актуально для різання взуттєвих матеріалів з анізотропними властивостями. Як видно з діаграми різання натуральної шкіри низу взуття в статичному режимі (рис. 3) на етапі різання наявність рихлого стану в матеріалі приводить до зміни величини сили різання  $F_{pi3}$ . Для рихлого шару в матеріалі «інерційний підпір» набуває великого значення. При динамічному різанні даного матеріалу (рис. 7) виникнення «інерційного підпору» приводить до зменшення величини попереднього стискання  $t_{cm}$  і відповідно зростання коефіцієнту корисної роботи леза.

Для певних матеріалів при деяких величинах швидкості різання «інерційний підпір» може набувати такого значення при якому попереднє стискання матеріалу може бути взагалі відсутнім, тобто  $t_{cm}=0$ . Тоді робота стискання  $A_{cm}=0$ , а загальна робота різання  $A$  стає рівною роботі  $A_{pi3}$ . При цьому коефіцієнт корисної роботи відповідно до виразу (13)  $\lambda=1$ . Це означає, що вся робота леза буде витрачатися безпосередньо на різання і некорисна робота на попереднє стискання матеріалу лезом буде усунена завдяки вибору відповідного режиму різання.

5. Більшість взуттєвих і швейних волокнистих матеріалів є анізотропними матеріалами з неоднаковими механічними властивостями по різних напрямках. Одним із шляхів зниження анізотропних властивостей є ущільнення матеріалу під час виконання технологічної операції різання. Наприклад, штучне стискання матеріалу вакуумом при виконанні операції різання матеріалів на автоматизованих розкрійних комплексах, приводить до зменшення його анізотропності.

Отримані результати експериментальних досліджень підтвердили, що на зниження  $F_{pi3}$  і  $A$  зі збільшенням  $V_{pi3}$  суттєвий вплив буде мати ущільнення матеріалу. Чи більше ущільнений матеріал, тим меншою є робота попереднього стискання матеріалу  $A_{cm}$  лезом, а відповідно і загальна робота різання  $A$ .

6. Для оцінювання процесу руйнування і, зокрема, різання в'язко-пружних матеріалів, особливо волокнистих, істотним показником є чистота зрізу. В ході проведення експериментальних досліджень встановлено взаємозв'язок між швидкістю різання і чистотою зрізу. Під останньою розуміється макрошорсткість поверхні зрізу, тобто поверхні, по якій матеріал під дією леза розділяється на частини. Зі збільшенням швидкості різання  $V_{pi3}$  чистота зрізу покращується. Враховуючи сумарну площу поверхні зрізу, можна констатувати, що ця площа поверхні при малих швидкостях більша, чим при великих за рахунок макроступів і макрощербин, що виникають на поверхні зрізу.

Поліпшення чистоти зрізу при динамічному різанні матеріалу можна пояснити наступним. Передбачається, що в'язко-пружний матеріал внаслідок своєї анізотропності, і, як правило волокнистої

будови, на різній глибині шару має слабкі перерізи, що не співпадають із площиною розрізання. При незначних швидкостях різання руйнування матеріалу проходить саме по цих слабких перерізах, що не співпадають з площиною розрізання, і тому зріз отримується не чистий. Чим більша швидкість різання відносно швидкості розповсюдження деформації в матеріалі, тим повільніше хвиля напружень доходить до менш віддалених від розрізу слабких перетинів у шарі та їх руйнування відбувається ближче до перетину розрізу. Цим і пояснюється більш чистий зріз. При значних швидкостях різання, руйнування шару буде проходити тільки по поверхні розрізу на якій сконцентровано (локалізовано) напруження.

Чистота торцевої поверхні деталі найбільш актуальна для виконання операції перфорування деталей взуття.

7. Аналіз отриманих діаграм різання взуттєвих матеріалів в статичному та динамічному режимах різання показав наступне. При статичному режимі різання матеріалу проходить у три етапи: стискання матеріалу лезом робочого інструменту; різання матеріалу та розсовування нижнього шару. Наявність етапу розсовування негативно впливає на якість зрізу матеріалу. При динамічному різанні відсутній етап розсовування матеріалу після розриву. Натомість, з'являється в кінці виконання операції різання зона матеріалу, що практично не деформується. На утворення такої зони впливає більшість факторів, розглянутих вище. Наявність такої зони приводить до повного різання матеріалу різакон без утворення випереджаючої тріщини та підвищення якості зрізу матеріалу.

### Література

1. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов / Резник Н.Е. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.
2. Базюк Г.П. Резание и режущий инструмент в швейном производстве / Базюк Г.П. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 192 с.

### References

1. Reznik N.E. Teorija rezanija lezviem i osnovy raschjota rezhushhijh apparatov / Reznik N.E. – M. : Mashinostroenie, 1975. – 311 s.
2. Bazjuk G.P. Rezanie i rezhushhij instrument v shvejnom proizvodstve / Bazjuk G.P. – M. : Legkaja industrija, 1980. – 192 s.

Рецензія/Peer review : 12.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 15.2.2019 р.  
Рецензент: к.т.н., проф. Драпак Г.М.