

УДК 686.12.056

*Е. М. Гуліда, Я. О. Шахбазов, В. А. Сторошук*

*Українська академія друкарства*

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ  
ВИСІКАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ  
РОЗГОРТОК КАРТОННИХ ВИРОБІВ**

*Пропонується математична модель визначення зносостійкості висікальних інструментів для виготовлення картонних виробів пакувального виробництва.*

*Математична модель, зношування, висікальний інструмент, розгортка, картонний виріб*

Основним інструментом більшості висікальних штампів для штанцювання розгорток картонних паковань є сталеві висікальні лінійки. Вони застосовуються в плоских і ротаційних штампах. Об'єм роботи висікального інструмента виражається його наробкою або ресурсом, які характеризуються кількістю оброблених заготовок — тиражем (може складати до 1 млн. висікань). В умовах нормальної роботи (відповідність вимогам висікальної секції, паралельність штанцформи і плити-основи, точне приладження) стійкість лінійок визначається величиною спрацювання їх леза, оскільки навантаження, що виникають при штанцюванні, сприймаються насамперед робочою частиною висікального інструмента.

Проведений літературний та патентно-ліцензійний пошук показав, що на даний час немає достатньої інформації про зносостійкість штампових форм, виготовлених з висікальних лінійок. Більш детально вивчений процес зношування паперорізальних ножів [2, 4], багатолезового різального інструмента для обрізування книжкових блоків [6] та прорізного інструмента для виготовлення розгорток картонних паковань [3].

У результаті досліджень встановлено зусилля і роботу, необхідні для стиску, зсуву і різання паперу, навантаження, що діють при різанні паперу та картону, отримано дані, які дають можливість детальніше вивчати процес різання.

Робота висікальних машин (висікальних штампів) суттєво відрізняється від роботи паперорізальних (паперорізальних ножів), тому слід зазначити, що результатів відомих досліджень з вивчення механізму висікання м'яких листових матеріалів недостатньо, щоб описати процес зношування інструмента. Опис і моделювання процесу ускладнюється малими площею контакту (лезо висікальної лінійки) та об'ємом матеріалу (аркуш картону). У відомих дослідженнях відсутні явища самого механізму розділення листа картону на частини при висіканні на марзані, тобто на опорній металічній або неметалічній плиті.

Відомо також, що контакт з опорною плитою і виникаючі при цьому тиски є основною причиною зносу висікального інструмента. Багаторазова циклічна взаємодія в даних умовах призводить до швидкого зносу та затуплення різальної крайки [1].

Практика експлуатації технологічного обладнання для виготовлення розгортки картонних пакувань показує, що якість висікання в основному досягається за рахунок удосконалення кінематичної побудови різних технологічних ланок. Однак у технічних характеристиках машин і літературних джерелах відсутні дані щодо підвищення якості процесу висікання з точки зору контролю зносу висікального інструмента, що, в свою чергу, сприяє скороченню часу простою на переналагодження машини і зниженню собівартості продукції. Тому розробка системи контролю якості (величини зношування) висікального інструмента в процесі роботи значно скоротила б час на налагодження і переналагодження машини в процесі висікання.

Мета нашої роботи — розроблення механіки контактної взаємодії інструмента при висіканні тонколистового м'якого матеріалу (картону, паперу), на основі якої можна визначити умови, у котрих працює інструмент при висіканні, і параметри зносостійкості.

Закономірності процесу зношування матеріалів визначають в аналітичній формі залежністю лінійного зносу або швидкості зношування від силових і кінематичних параметрів і передусім від тиску на поверхні тертя і швидкості відносного ковзання; від параметрів, які характеризують склад, структуру, механічні властивості матеріалів; від властивостей поверхневого шару (шорсткості, напруженого стану і т. д.); від зовнішніх умов, що впливають на процес зношування тощо.

Інтенсивність зношування висікального інструмента може бути визначена за зміною його розмірів за формулою [5]

$$I_h = \frac{h}{L}, \quad (1)$$

де  $I_h$  — інтенсивність зношування;  $h$  — величина зношення леза інструмента, мм;  $L$  — загальний шлях тертя леза ножа з картоном за період роботи, мм.

Залежність частоти подвійних ходів від швидкості визначається як

$$n = \frac{V}{L(k+1)}, \quad (2)$$

де  $V$  — швидкість робочого ходу тигля, мм/хв;  $L$  — довжина ходу тигля, мм;  $k$  — відношення швидкості робочого ходу до швидкості холостого ходу.

Звідси

$$L = \frac{V}{n(k+1)}. \quad (3)$$

У нашому випадку  $L$  дорівнює товщині розрізуваного картону  $\delta$ , тоді

$$I_h = \frac{h}{\delta}. \quad (4)$$

Виразимо величину зношення леза інструмента через площу контакту  $a$  різальної кромки з картоном. З геометричних міркувань площадка контакту різального леза з картоном  $a = \sqrt{2rh}$ , звідси

$$h = \frac{a^2}{2r}, \quad (5)$$

де  $r$  — радіус заокруглення крайки, мм.

Беручи до уваги, що напівширина площі контакту за формулою Герца

$$a = 1,07 \sqrt{\frac{P\theta}{l}}, \quad (6)$$

де  $P$  — погонне зусилля висікання, Н/мм;  $\theta = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}$  — зведений модуль пружності, мм<sup>2</sup>/Н;  $l$  — довжина контакту леза ножа з аркушем картону, мм.

Підставивши значення (6) і (5) у (4) та провівши певні перетворення, отримаємо

$$I_h = \frac{0,57 P (E_1 + E_2)}{r \delta l E_1 E_2}. \quad (7)$$

Оскільки механічні властивості ножа та картону різні, то згідно з [4] слід скоригувати інтенсивність зношування на коефіцієнт  $\alpha$ , який визначається як

$$\alpha = (1 + c)^{-t/2(1+\beta)}, \quad (8)$$

де  $c = \Theta_2/\Theta_1$ ,  $\Theta_1$  і  $\Theta_2$  — пружні постійні Кірхгофа ножа та картону і

визначаються як  $\Theta_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1}$ ;  $\Theta_2 = \frac{1-\mu_2^2}{E_2}$ ,  $t$  — коефіцієнт фрикційної втоми сталі;  $\beta$  — коефіцієнт зміцнення молекулярного зв'язку.

Тоді

$$I_h \alpha = \frac{0,57 P (E_1 + E_2)}{r \delta l E_1 E_2}. \quad (9)$$

Звідси зусилля висікання

$$P = \frac{1,75 E_1 E_2 \delta r l I_h \alpha}{E_1 + E_2}. \quad (10)$$

У результаті проведених досліджень отримано теоретичні залежності зміни зусилля висікання від товщини картону, радіуса заокруглення висікальної кромки, модуля пружності (рис. 1, 2, 3, 4).

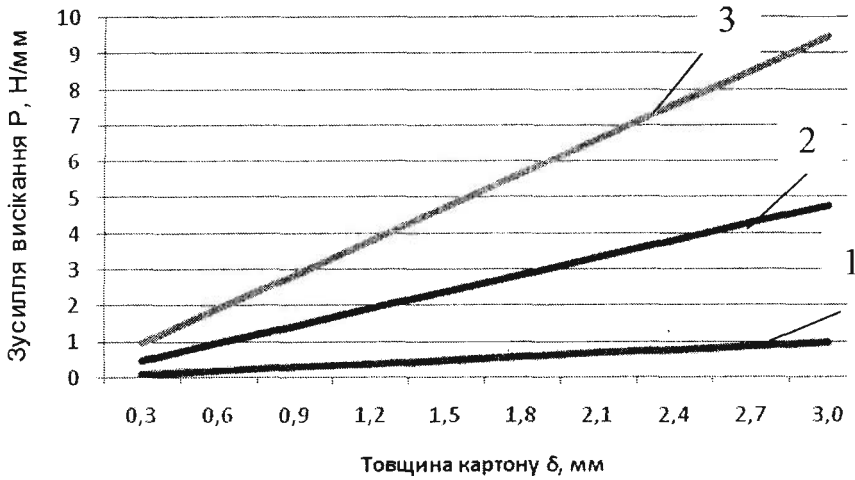


Рис. 1. Залежність зусилля висікання від товщини картону при довжині висікальних лінійок в штампі:  
1 — мінімальній (до 1 м); 2 — середній (до 5 м); 3 — максимальній (до 10 м)



Рис. 2. Залежність зусилля висікання від радіуса заокруглення кромки при товщині картону:  
1 — мінімальній (0,3 мм); 2 — середній (1,5 мм); 3 — максимальній (3,0 мм)

Отримані залежності дозволяють прогнозувати лінійний знос висікальних інструментів для виготовлення розгортки картонних виробів від силових і кінематичних параметрів, а також від параметрів, які характеризують склад, структуру, механічні властивості матеріалів.

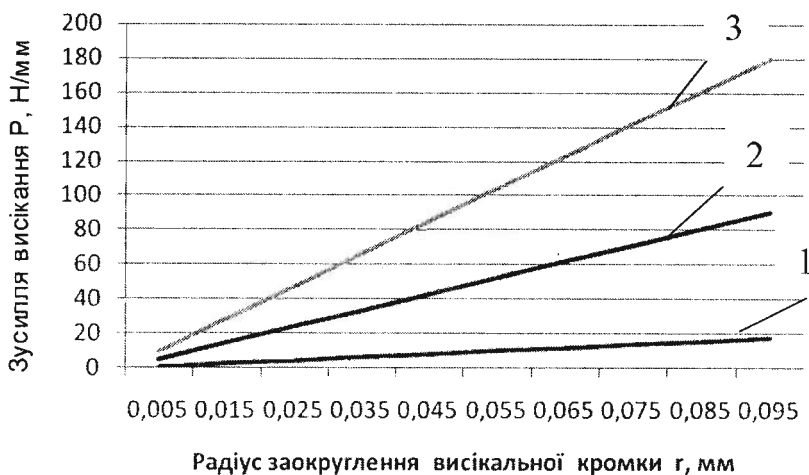


Рис. 3. Залежність зусилля висікання від радіуса заокруглення кромки при довжині висікальних лінійок в штампі:

1 — мінімальній (до 1 м); 2 — середній (до 5 м); 3 — максимальній (до 10 м)

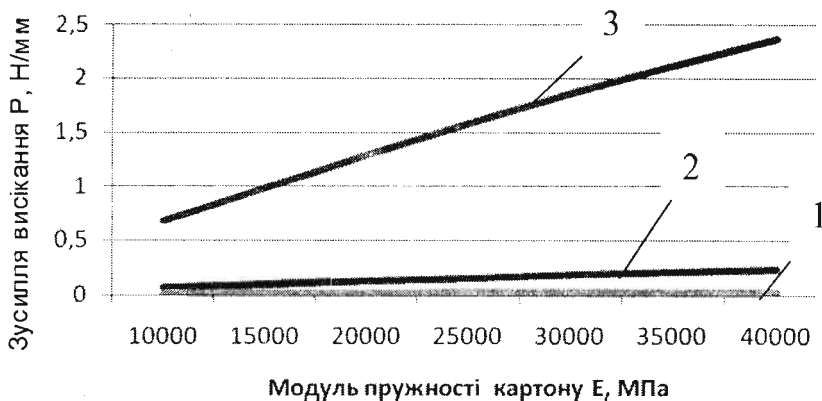


Рис. 4. Залежність зусилля висікання від модуля пружності картону при інтенсивності ножа:

1 — мінімальній ( $I_h = 10^{-7}$ ); 2 — середній ( $I_h = 10^{-6}$ ); 3 — максимальній ( $I_h = 10^{-5}$ )

Наступний етап — експериментальне дослідження динаміки процесу висікання з урахуванням зношування інструмента та розроблення системи автоматизованого керування висікальним вузлом машини за критерієм зносостійкості.

1. Банах Ю. О. Теоретичне дослідження напруженого стану штанцювального преса / Ю. О. Банах // Поліграфія і видавнича справа. — 1999. — № 35. — С. 113–126. 2. Германиес Э. Справочная книга технолога–полиграфиста / Э. Германиес. — М.: Книга, 1982. — 336 с. 3. Експериментальні дослідження стійкості прорізного інструмента для вирізування картонних розгортки / І. І. Рєгей, О. В. Манько, Я. М. Угрин // Поліграфія і видавнича справа. — 2002. — № 38. — С. 3–8. 4. Киселев С. С. Стойкость бумагорезательных ножей / С. С. Киселев. — М.: Лесн.

пром-сть, 1971. 5. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. — М., Машиностроение, 1977. 6. Топольницький П. В. Дослідження різального інструмента на зносостійкість / П. В. Топольницький // Поліграфія і видавнича справа. — 1998. — № 34. — С. 84–87.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ ВЫСЕКАТЕЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАСКЛАДОК КАРТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Предлагается математическая модель определения износостойкости высекательных инструментов для изготовления картонных изделий упаковочного производства.*

## **MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF WEAR OF CUTTING INSTRUMENTS IS FOR MAKING OF INVOLUTES OF CARDBOARD WARES**

*The mathematical model of determination of wearproofness of cutting instrument is offered for making of cardboard wares of packing production.*

*Стаття надійшла 15.04.09*

УДК 655.59:686.12

*В. М. Сеньківський, Р. І. Федішин, С. В. Терницький*

*Українська академія друкарства*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРІВ ШТАНЦЮВАННЯ КАРТОННИХ РОЗГОРТОК НА ПЛОСКОЦИЛІНДРОВИХ ПРЕСАХ**

*Досліджено та розв'язано задачу моделювання зв'язків між параметрами, які впливають на якість роботи штанцювальних форм для виготовлення картонних розгортки. Синтезовано ієрархічну графічну модель пріоритетності впливу вибраних параметрів на якість обрізування. Модель оптимізовано за головним власним значенням вектора пріоритетів.*

*Модель параметрів, штанцювання, картонна розгортка, плоскоциліндровий прес, оптимізація*

Важливою проблемою пакувальної індустрії є виготовлення якісної та конкурентоздатної тари для продуктів і виробів різного призначення. Оскільки для продукування картонних пакувань використовується в основному імпортне обладнання, актуальними є дослідження щодо встановлення чинників впливу на якість виготовлення картонних розгортки. У цьому напрямі досліджено та науково обгрунтовано раціональні параметри технологічного процесу ножичного різання матеріалу картону [3, 8]. Однак відсутні роботи, що стосуються системного аналізу чинників, які впливають на ефективність процесу штанцювання розгортки, розроблення моделей зв'язків між ними та адекватного відтворення пріоритетності дії через дотримання достовірної інформації на основі опрацювання експертних даних.