

УДК 686.12.056

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТНИХ МОМЕНТІВ ПРИ ОБРОБЦІ КОРИНЦІВ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ ДИСКОВИМИ НОЖАМИ

О. Б. Книш

Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

*Висвітлено проектування та виготовлення експериментального стенда, вказано його основні характеристики та регулювання. Розглянуто питання експериментального вимірювання крутних моментів під час обробки корінців книжкових блоків дисковими ножами, що нахилені під кутом до них. За результатами експериментальних досліджень здійснено кількісну оцінку крутних моментів залежно від швидкості переміщення книжкових блоків, частоти обертання дискових ножів, виду паперу.*

**Ключові слова:** *крутний момент, дослідження, корінець, книжковий блок, обробка, дисковий ніж, швидкість, частота обертання.*

**Постановка проблеми.** У процесі вдосконалення способів і засобів обробки корінців при незшивному клейовому скріпленні книжкових блоків постає кілька завдань: збільшення міцності та довговічності скріплення, зменшення виділення паперового пилу і рівня шуму, мінімізація енерго- та металомісткості процесу. Тому питання експериментальної перевірки дієвості способу обробки корінців дисковими ножами, що нахилені під кутом до корінця [1], а також кількісної оцінки крутних моментів, які виникають при цьому на приводному валу, є важливими з огляду на подальші дослідження цього способу та пристрою для його реалізації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідженню крутних моментів під час виконання технологічних операцій зрізування корінцевих фальців, вирізування контурів картонних розгорток, обрізування книжкових блоків з трьох сторін присвячені наукові праці [2–6]. Однак усі вони відрізняються від розглянутої у цій статті теми особливостями виконання технологічної операції, а саме — обробки корінців книжкових блоків дисковими ножами, для якої характерні специфічні технологічні навантаження та, відповідно, максимальні значення крутних моментів на приводному валу.

**Мета статті** — обґрунтування практичної реалізації способу обробки корінця дисковими ножами, що нахилені під кутом до корінця на машині незшивного скріплення (МНС) Trendbinder (фірма «Muller-Martini», Швейцарія); кількісна оцінка впливу кінематичних параметрів (швидкості переміщення книжкових блоків та частоти обертання ножів) обробки корінців на крутні моменти на приводному валу планшайби з дисковими ножами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Програма експериментальних досліджень передбачала виконання таких завдань:

- проектування та виготовлення експериментального стенда;
- практична реалізація на машині незшивного скріплення способу обробки корінців дисковими ножами, нахиленими під кутом до корінців;
- кількісна оцінка крутних моментів на приводному валу планшайби з дисковими ножами залежно від кінематичних параметрів процесу та видів паперу.

На етапі проектування та виготовлення експериментального стенда враховано всі технологічні й технічні особливості (регулювання) процесу обробки корінців книжкових блоків, виготовлено тензометричний вузол, який приєднаний до вимірювальної апаратури для дослідження крутних моментів.

Експериментальний пристрій 1 (див. рис. 1) змонтовано на станині МНС Trendbinder. Попереднє зрізування корінцевих фальців книжкових блоків здійснювали торцевою фрезою у відповідній секції МНС (на рисунку не показано). Після обробки корінців оригінальною фрезою 2 з дисковими ножами книжкові блоки 3 транспортувалися до клеєвого апарата 4 для нанесення на корінці клею. Крутні моменти вимірювали завдяки тензометричному вузлу 5, аналого-цифровому перетворювачу USB3000 6 та ПК 7.

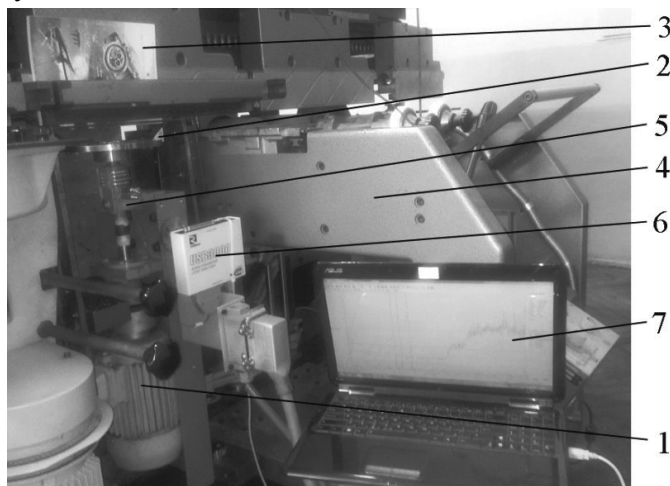


Рис. 1. Фото експериментального стенда

Частоту обертання планшайби з ножами регулювали зміною кількості обертів вала двигуна (тип K2IR90L2, потужність  $P = 2,2$  кВт) за допомогою частотного перетворювача LENZE 4046.0076, що забезпечував безступінчасте регулювання частоти в межах від 15 до 90 Гц. Зміна швидкості переміщення книжкових блоків забезпечувалася засобами керування машини.

Для вимірювання крутних моментів на приводному валу експериментального стенда застосовано метод, який полягає у перетворенні лінійних деформацій активних елементів (датчиків) у електричний сигнал. Як датчики використано дрові тензорезистори з петлевою формою чутливості, наклеєні на валу за мостовою

вимірювальною схемою, у якій на одну діагональ подається напруга (вхід), а з іншої — знімається (вихід). Напруга, що знімається, подається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) USB3000.

Аналого-цифровий перетворювач USB3000 фірми «Analog Device» забезпечує вимірювання вихідної напруги шляхом прямого підключення до тензOMETричного моста без інтерфейсних ланцюгів. Простеження результатів дослідів і тарування крутних моментів, які виникають під час обробки корінців книжкових блоків, проводили за допомогою програмного забезпечення Power Graph, безпосередньо під'єднавши АЦП USB3000 до паралельного порту ПК.

У процесі експериментальних досліджень було використано п'ять видів паперу: газетний (35 г/м<sup>2</sup>), друкарський (55 г/м<sup>2</sup>), офсетний (70 г/м<sup>2</sup>), офсетний (75 г/м<sup>2</sup>), крейдований (85 г/м<sup>2</sup>).

Для дослідження впливу швидкості переміщення книжкових блоків на величину крутних моментів  $M_{кр}$  використано блоки завтовшки  $B = 20$  мм, а швидкість вважали рівною:  $V_B = 0,3; 0,6; 0,9; 1,2$  м/с. Решта параметрів були постійними і дорівнювали: частота обертання планшайби з дисковими ножами  $n = 1800$  об/хв; кут нахилу ножа відносно корінця  $\gamma = 30^\circ$ ; радіус обертання дискового ножа  $R = 95$  мм; відстань між віссю обертання планшайби та центром симетрії книжкового блоку  $a = 45$  мм; глибина канавок —  $h = 1,2$  мм, а кут загострення ножа становив  $\alpha_3 = 25^\circ$ . Дослідження проводили при зустрічному (ЗРН) та попутному (ПРН) русі ножа відносно напрямку переміщення книжкових блоків [7].

Результати експериментальних досліджень залежності крутних моментів на приводному валу планшайби від швидкості переміщення блоків при ПРН у вигляді графіків відображені на рис. 2а. Як видно з отриманих залежностей, збільшення швидкості переміщення блоків спричиняє зростання крутних моментів, причому ця тенденція простежується для всіх досліджуваних видів паперу. Так, наприклад, збільшення швидкості переміщення блоків у 4 рази з 0,3 м/с до 1,2 м/с спричиняє зростання крутних моментів у 5,5–6,4 рази, залежно від виду паперу. При значеннях швидкості книжкових блоків 0,3–0,6 м/с крутні моменти збільшуються плавно в 1,4–1,7 рази, а при подальшому зростанні швидкості з 0,6 до 1,2 м/с крутні моменти різко зростають у 3,2–4 рази. Найбільші значення крутних моментів зафіксовано для крейдованого (85 г/м<sup>2</sup>) паперу і зі збільшенням швидкості з 0,3 м/с до 1,2 м/с вони зростають з  $M_{кр} = 6,3$  Н·м до  $M_{кр} = 35$  Н·м.

Результати експериментальних досліджень залежності крутних моментів від швидкості переміщення блоків при ЗРН відображені на рис. 2б. Для цих графіків характерна аналогічна тенденція зміни крутних моментів, як і для випадку ПРН, а саме — зі збільшенням швидкості переміщення блоків спостерігається зростання крутних моментів на приводному валу планшайби з дисковими ножами. Як і в попередньому випадку, зміна швидкості у 4 рази (з 0,3 до 1,2 м/с) призводить до зростання крутних моментів у 5,5–5,9 рази залежно від виду досліджуваного паперу, причому найстрімкіше ця тенденція спостерігається після значення швидкості 0,6 м/с. Максимальні значення крутних моментів для цієї серії експериментів становили  $M_{кр} = 49$  Н·м для крейдованого паперу.

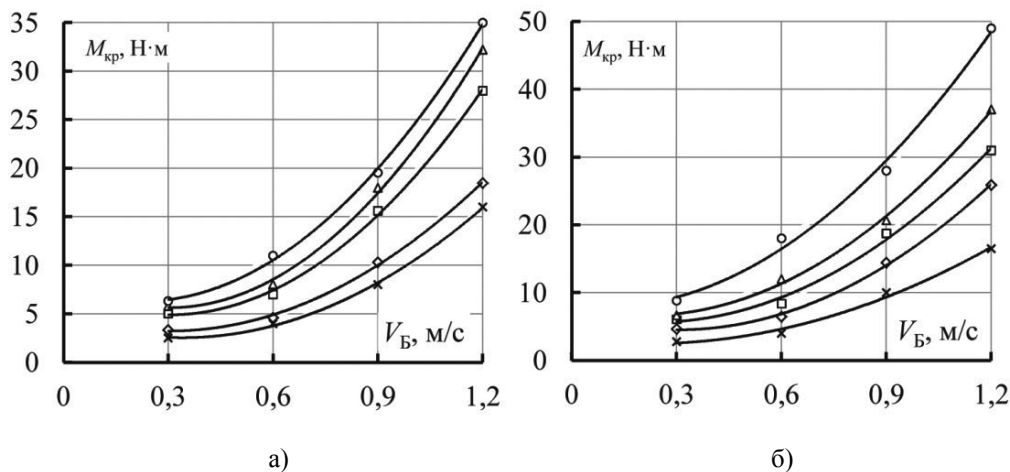


Рис. 2. Графік залежності крутних моментів від швидкості переміщення блоків при попутному (а) та при зустрічному (б) русі ножа для:  
 × — газетного (35 г/м<sup>2</sup>), ◇ — друкарського (55 г/м<sup>2</sup>), □ — офсетного (70 г/м<sup>2</sup>),  
 Δ — офсетного (75 г/м<sup>2</sup>), ○ — крейдованого (85 г/м<sup>2</sup>) паперів

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень впливу швидкості переміщення книжкових блоків на крутні моменти на приводному валу планшайби з дисковими ножами можна стверджувати, що незалежно від напрямку обертання ножів спостерігається кількаратне (5,5–6,4 разу) зростання навантаження на вал при 4-кратному збільшенні швидкості переміщення блоків. Серед усіх досліджуваних видів паперу максимальні значення крутних моментів  $M_{кр} = 49$  Н·м відзначали під час обробки крейдованого паперу (85 г/м<sup>2</sup>), а мінімальні —  $M_{кр} = 2,5$  Н·м — газетного (35 г/м<sup>2</sup>) паперу.

Досліджуючи вплив частоти обертання планшайби з дисковими ножами на крутні моменти, вважали, що вона дорівнює  $n = 1200; 1800; 2400; 3000$  об/хв, при цьому швидкість переміщення книжкових блоків дорівнювала  $V_B = 0,3$  м/с, а решта технологічних параметрів були аналогічними попередній серії експериментів.

Результати відповідних експериментальних досліджень для випадку ПРН зображені на рис. 3а. Їх аналіз показує, що зі збільшенням частоти  $n$  спостерігається незначне зменшення крутних моментів. Так, наприклад, зростання частоти у 2,5 разу (із 1200 до 3000 об/хв) спричиняє спад крутних моментів у 1,37–1,44 разу залежно від виду досліджуваного паперу.

Результати досліджень зміни крутних моментів залежно від частоти  $n$  при ЗРН зображені на рис. 3б. Як видно з отриманих графіків, для зустрічного руху ножів характерна аналогічна зміна крутних моментів, як і при ПРН, зокрема, зростання частоти обертання ножів в 2,5 разу спричиняє зменшення крутних моментів при ЗРН у середньому в 1,4 разу для всіх досліджуваних видів паперу. Також зауважимо, що при ПРН значення крутних моментів є меншими від відповідних

значень при ЗРН, а саме: для газетного ( $35 \text{ г/м}^2$ ) паперу в 1,12 разу; для друкарського ( $55 \text{ г/м}^2$ ) — в 1,4 разу; для офсетного ( $70 \text{ г/м}^2$ ) — в 1,2 разу; для офсетного ( $75 \text{ г/м}^2$ ) — в 1,15 разу; для крейдованого ( $85 \text{ г/м}^2$ ) — в 1,4 разу.

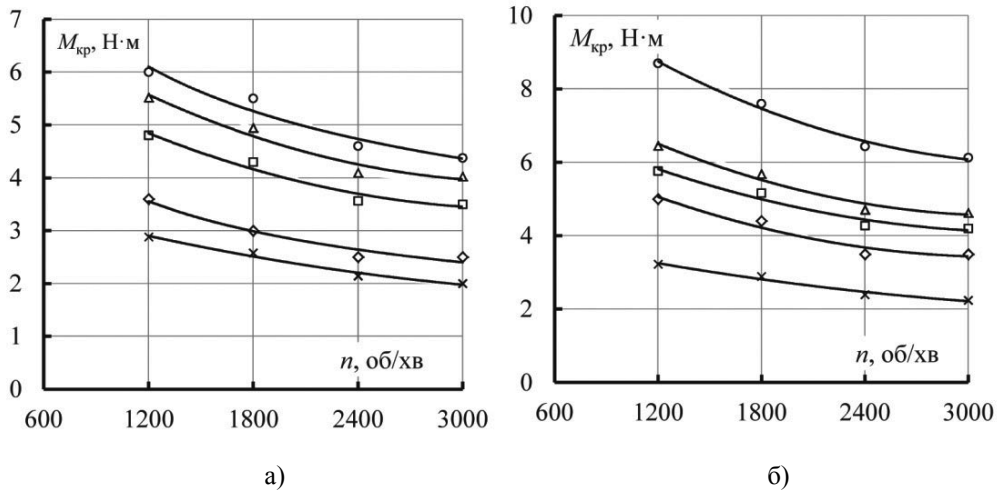


Рис. 3. Графік залежності крутних моментів від частоти обертання ножів при попутному (а) та при зустрічному (б) русі ножа для:  
 $\times$  — газетного ( $35 \text{ г/м}^2$ ),  $\diamond$  — друкарського ( $55 \text{ г/м}^2$ ),  $\square$  — офсетного ( $70 \text{ г/м}^2$ ),  
 $\Delta$  — офсетного ( $75 \text{ г/м}^2$ ),  $\circ$  — крейдованого ( $85 \text{ г/м}^2$ ) паперів

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження підтвердили можливість реалізації способу обробки корінців книжкових блоків дисковими ножами, що нахилені під кутом до корінця на машині незшивного скріплення.

Кількісна оцінка значень крутних моментів показала, що серед досліджуваних кінематичних параметрів найбільший вплив на їх зміну має швидкість переміщення блоків. Так, 4-кратне її збільшення спричиняє зростання моментів у 5,5–6 разів, водночас зі збільшенням частоти обертання ножів у 2,5 разу крутні моменти зростають лише в 1,4 разу.

Серед досліджуваних видів паперу максимальні крутні моменти  $M_{кр} = 49 \text{ Н}\cdot\text{м}$  виникали під час обробки крейдованого ( $85 \text{ г/м}^2$ ) паперу, а мінімальні —  $M_{кр} = 2,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$  — газетного ( $35 \text{ г/м}^2$ ) паперу. Це пояснюється необхідністю прикладання більших зусиль під час обробки щільніших видів паперу. З огляду на мінімізацію навантажень на приводний вал варто застосовувати попутний рух ножа, при якому крутні моменти в 1,2–1,4 разу менші, ніж при зустрічному русі ножа.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Книш О. Б. Технологія обробки корінця книжкового блока при незшивному клейовому скріпленні // Технологічні комплекси. — 2013. — № 2 (8). — С. 95–99.

2. Задра В. М. Комплексна оптимізація засобів для прорізування різнопрофільних отворів у паперово-картонних виробках : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.01 / Задра Володимир Михайлович. — Львів, 2003. — 177 с.
3. Регей І. І. Наукові основи розроблення енергоощадної технології і засобів виготовлення розгортки картонного пакування : дис. ... доктора техн. наук : 05.05.01 / Регей Іван Іванович. — Львів, 2007. — 331 с.
4. Іванко А. І. Механіка процесу обрізування книжково-журнальних блоків дисковими ножами із планетарним приводом : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.01 «Машини і процеси поліграфічного виробництва» / А. І. Іванко. — К., 2007. — 20 с.
5. Коломієць А. Б. Розробка технологічного процесу обрізування дискретно-дотичним способом книжково-журнальних блоків : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.01 / Коломієць Андрій Борисович. — Львів, 2002. — 178 с.
6. Топольницький П. В. Вплив швидкості транспортування і товщини книжкових блоків, довжини різання на зусилля транспортування та момент на приводному валу пасових транспортерів // Наукові записки [Української академії друкарства]. — 2002. — № 5 — С. 14–16.
7. Книш О. Б. Дослідження трансформації кута загострення дискового ножа при обробці корінця книжкового блока перехресним методом // Технологічні комплекси. — 2014. — № 1 (9). — С. 154–159.

#### REFERENCES

1. Knysh, O. B. (2013). Tekhnolohiia obrobky korintsia knyzhkovoho bloka pry nezshyvnomu kleiovomu skriplenni. Tekhnolohichni komplekxy, № 2(8), 95–99 (in Ukrainian).
2. Zadra, V. M. (2003). Kompleksna optymizatsiya zasobiv dlya prorizuvannya riznoprofilnykh otvoriv u paperovo-kartonnykh vyrobakh. Candidate`s thesis. Lviv (in Ukrainian).
3. Rehei, I. I. (2007). Naukovi osnovy rozroblennia enerhooshchadnoi tekhnolohii i zasobiv vyhotovlennia rozghortok kartonnoho pakovannia. Doctor`s thesis. Lviv (in Ukrainian).
4. Ivanko, A. I. (2007). Mekhanika protsesu obrizuvannia knyzhkovo-zhurnalnykh blokiv dyskovymy nozhamy iz planetarnym pryvodom. Candidate`s thesis. Kyiv (in Ukrainian).
5. Kolomiets, A. B. (2002). Rozrobka tekhnolohichnoho protsesu obrizuvannia dyskretno-dotychnym sposobom knyzhkovo-zhurnalnykh blokiv. Candidate`s thesis. Lviv (in Ukrainian).
6. Topolnytskyi, P. V. (2002). Vplyv shvydkosti transportuvannia i tovshchyny knyzhkovykh blokiv, dovzhyny rizannia na zusyillia transportuvannia ta moment na pryvodnomu valu pasovykh transporteriv. Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 5, 14–16 (in Ukrainian).
7. Knysh, O. B. (2014). Doslidzhennia transformatsii kuta zahostrennia dyskovoho nozha pry obrobtsi korintsia knyzhkovoho bloka perekhresnym metodom. Tekhnolohichni komplekxy, № 1(9), 154–159 (in Ukrainian).

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF TORQUES  
AT PROCESSING OF BOOK BLOCKS COUNTERFOILS  
BY DISK KNIVES**

O. B. Knysh

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
o\_knysh@meta.ua*

*The paper reviews the design and manufacturing of the experimental stand, its main characteristics and adjustment. The question of the experimental measuring of torques has been considered while processing of book blocks counterfoils by disk knives with an angle inclination to them. According to the results of the experimental research we have conducted a quantitative assessment of torques depending on the velocity of the book block transportation, the rotation frequency of disk knives, the type of paper.*

**Keywords:** *torque, research, counterfoil, book block, processing, disk knife, velocity, frequency rotation.*

*Стаття надійшла до редакції 12.09.2016.*

*Received 12.09.2016.*