

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ ДРУКАРСТВА

Яніцкі Пьотр, Станіслав



УДК 686.1.056

**УДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗВИСТІЙНОГО
ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ
ЕКСЦЕНТРИЧНИМИ ДИСКОВИМИ НОЖАМИ**

Спеціальність 05.05.01 – машини і процеси
поліграфічного виробництва
(18 - виробництво і технології)

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у відділі поліграфічних технологій Інституту механіки і поліграфії Варшавського політехнічного університету Міністерства освіти та науки Польщі

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Петріашвілі Георгій,
Варшавський політехнічний університет,
завідувач відділу поліграфічних технологій
Інституту механіки і поліграфії (Польща)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Топольницький Петро Володимирович,
Українська академія друкарства,
професор кафедри комп'ютеризованих комплексів
поліграфічного і пакувального виробництв

кандидат технічних наук, доцент
Іванко Андрій Іванович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Видавничо-поліграфічний інститут, доцент кафедри машин
та агрегатів поліграфічного виробництва

Захист відбудеться «14» травня 2021 р. о 14³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.35.101.01 в Українській академії друкарства за адресою: 79020, м. Львів, вул. Під Голоском, 19, ауд. 101.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української академії друкарства за адресою: 79006, м. Львів, вул. Підвальна, 17.

Автореферат розіслано «13» квітня 2021 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради



Жидецький В.Ц.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Технологічні операції різання паперу широко використовуються у процесі поліграфічного виробництва: перед друком – для розрізки стосів аркушів до потрібного формату на одноножових різальних машинах, а також при кінцевому обрізуванні книжкових блоків з трьох сторін, за допомогою трьохножових різальних машин. Сучасні поточкові лінії по виготовленню книжково-журнальної продукції характеризуються підвищеною продуктивністю, проте навіть швидкісні трьохножові різальні машини, в яких використовують гільйотинний спосіб різання ножем з плоским лезом, значно обмежують швидкісні можливості поточкових ліній. Для обрізування тонких блоків та брошур в автоматичних лініях використовуються дискові ножі, чи дискові зубчасті ножі. Однак, при різанні блоків товщиною більше 8 мм виникають великі сили різання, збільшується тертя поверхні дискового ножа об оброблюваний матеріал та інтенсивно підвищується температура у зоні різання, що часто призводить до появи слідів підгоряння на обрізаній поверхні та погіршення якості обробки книжкових блоків.

Запропоновані технічні рішення стосовно застосування для безвистійного обрізування книжково-журнальних блоків продовжених багатолезових ножів забезпечили підвищення якості обрізування при одночасному зменшенні сили різання. Водночас, подібні конструкції мають певні обмеження через потребу збільшення довжини різальних інструментів та габаритів поточної лінії.

Проведені випробування процесів вібраційного різання різних матеріалів, в тому числі паперу, показали, що використання вібрацій ріжучих інструментів при виконанні різальних операцій зменшує силові показники процесу обробки і температуру в зоні різання та підвищує якість обробленої поверхні. Водночас, вібраційне різання, поруч з усіма його перевагами, має специфічний недолік, а саме необхідність використання спеціальних механізмів чи вібраторів.

З метою досягнення високої продуктивності, зменшення сил безвистійного трьохстороннього різання при високій якості обробки книжкових блоків розроблено спосіб обрізування за допомогою ексцентрично встановлених дискових ножів, який забезпечує ефект вібраційного різання при простішій конструкції та менших габаритах різального інструмента та без необхідності використання вібраторів.

Проведений аналіз наукових і технічних публікацій обумовив актуальність науково-прикладного завдання удосконалення технологічного процесу безвистійного обрізування книжкових блоків на підставі розроблення і застосування нового способу трьохстороннього обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами, розв'язання якого забезпечить ефективність післядрукарської обробки видань за рахунок вищої продуктивності автоматичних поточкових ліній та якості обрізування, а також створить передумови для формування рекомендацій щодо проектування нових різальних секцій поточкових ліній.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковим дослідженням новітніх процесів різання паперу, що проводяться у відділі поліграфічних технологій Інституту механіки і поліграфії Варшавської Політехніки.

Дослідження, що проводились в дисертаційній роботі, виконувались у відповідності з науковими темами:

1. Дослідницький держбюджетний проект Варшавської Політехніки № 504/02074/1101. «Вплив вибраних параметрів різання на механіку процесу та величину сили різання нових видів паперу» – Варшава, – 2015.

2. Дослідницький держбюджетний проект Варшавської Політехніки № 504/02706/1101. «Вплив вибраних параметрів роботи дискового ножа на величину сили потокового різання книжкових блоків» – Варшава, – 2016.

3. Дослідницький держбюджетний проект Варшавської Політехніки № 504/03049/1101. «Лабораторні дослідження нового брошурувально-палітурного процесу» – Варшава, – 2017.

4. Дослідницький держбюджетний проект Варшавської Політехніки № 504/03798/1101. «Експериментальні дослідження різання книг дисковим ножом на удосконаленій лабораторній установці» – Варшава, – 2018.

В цих проектах автор є виконавцем розділів по комп'ютерному моделюванні кінематики процесів різання та комплексних експериментальних досліджень безвистійного обрізування книжкових блоків дисковими ножами. Дослідницькі проекти виконані в межах угоди про співпрацю між УАД та Варшавським політехнічним університетом.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технологічного процесу потокового трьохстороннього безвистійного обрізування книжкових блоків із застосуванням ексцентричних дискових ножів. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення таких завдань:

- провести аналіз сучасних технологій, обладнання та наукових праць в галузі різання стосів паперу та книжково-журнальних блоків;
- на основі теоретичних досліджень кінематики процесу різання виявити закономірності процесу потокового обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами;
- аналітичним шляхом оптимізувати параметри процесу обрізування та визначити основні технічні параметри роботи різальної установки для реалізації способу різання книжкових блоків ексцентричним дисковим ножом;
- провести експериментальні дослідження впливу технологічних режимів процесу різання та геометричних параметрів дискових ножів на силові та якісні показники процесу потокового обрізування книжкових блоків;
- на основі проведених експериментальних і аналітичних досліджень розробити рекомендації для здійснення способу обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами в потокових лініях.

Об'єкт досліджень – технологічний процес безвистійного обрізування книжкових блоків.

Предмет досліджень – технологічні параметри процесу безвистійного обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами.

Методи дослідження. Для виконання поставленої у роботі мети використано основні положення теорії різання, методи математичного моделювання та цифрові методи вимірювань сил різання. Аналітичні розрахунки параметрів різання

книжкових блоків виконано із застосуванням математичних методів в системі математичного моделювання Mathcad та геометричного моделювання в системі AutoCAD. Експериментальні дослідження проведено на спроектованому та виготовленому спеціальному стенді. Вимірювання силових параметрів процесу обрізування здійснювались за допомогою тензометричної апаратури з аналого-цифровим перетворенням сигналів з використанням вимірювальної апаратури та програм SignalExpress і Diadem фірми National Instruments (США). Обробка результатів експериментальних досліджень проводились з використанням електронних таблиць MS Excel. Оцінювання якості обрізування книжкового блока проводилось візуально та з використанням цифрового мікроскопу фірми Dino Lite .

Наукова новизна одержаних результатів. На основі аналітичних та експериментальних досліджень у дисертації:

вперше

- встановлено на основі теоретичних та експериментальних досліджень доцільність застосування для обрізування книжкових блоків ексцентричних дискових ножів, що забезпечує досягнення ефекту вібраційного різання при зменшенні сили різання та високій якості поверхні зрізу;

- виявлено на підставі комп'ютерного моделювання закономірності ексцентричного різання, що полягають в імпульсній дії леза ножа на папір, зменшенні дійсного кута різання і траєкторії контакту дискового ножа з оброблюваним блоком, у результаті чого підвищується ефективність процесу обрізування книжкових блоків та подовжується строк служби різального інструмента;

- визначено у результаті досліджень оптимальні характеристики параметрів дискових ножів, які стосуються їх діаметра, кута заточування, відстані місця різання від осі обертання ножа, швидкості та напрямку обертання, значення ексцентриситету та забезпечують належну якість обробки книжкових блоків;

удосконалено

- технологічний процес безвистійного обрізування книжкових блоків за рахунок застосування ексцентричних дискових ножів та визначення альтернативних концептуальних рішень стосовно проектування тристоронніх систем різання як компонент поточкових ліній з обробки книжкових блоків.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні раціональних, з точки зору зменшення сил різання і високих якісних показників процесу обрізування, геометричних розмірів конструкції ексцентричних дискових ножів, технологічних параметрів процесу обрізування, необхідних для розроблення нових та удосконалення існуючих поточкових ліній з обробки книжкових блоків. Результати роботи можуть бути застосовані у навчальному процесі Інституту механіки і поліграфії Варшавської Політехніки. В друкарнях Склеяж (Краків) та Позкаль (Іновроцлав) в Польщі проведено випробування процесу обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами. Встановлено, що вказаний спосіб забезпечує точне і якісне обрізування книжкових блоків, виготовлених з різних видів паперу.

Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Особистий внесок здобувача. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень отримано здобувачем самостійно. Планування, організація та проведення досліджень здійснені за безпосередньої участі автора. У публікаціях у співавторстві здобувачеві належать: [8,15,16] – дослідження трансформації дійсних кутів різання при різних режимах обробки; [4,7,14] – аналітичні дослідження кінематичних параметрів процесу обрізування книжкових блоків; [10] – експериментальні дослідження, опрацювання та аналіз результатів; [3] – розробка параметрів безвистійного обрізування книжкових блоків; [5,11,12,13] – розробка математичної моделі та дослідження траєкторії контакту леза дискового ножа з оброблюваним блоком при різних режимах обробки; [6] – аналіз тенденцій розвитку трьохножевих різальних машин.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та опубліковані в збірниках матеріалів українських і міжнародних конференцій: конференції професорсько-викладацького складу наукових працівників та аспірантів Української академії друкарства (м. Львів, 2016); міжнародному форумі «Скориновские чтения: книга как феномен культуры, искусства, технологии» (Білорусь, м. Мінськ, 2016); міжнародних конференцій «Innovations in Publishing, Printing and Multimedia technologies» (Литва, м. Каунас, 2016 і 2019); міжнародних конференцій «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (м. Харків, 2016 і 2019); міжнародній конференції «International Symposium on Graphic Engineering and Design» (Сербія, м. Нові Сад, 2020).

Публікації. Основні результати дисертації відображені у 16 публікаціях, серед яких: 2 – в українських наукових виданнях, індексованих у наукометричних базах; 7 – у рецензованих наукових фахових зарубіжних виданнях; 7 – у матеріалах міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 102 найменувань, 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 214 стор., основний текст займає 142 стор. У дисертації 82 рисунки та 1 таблиця.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір теми та актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, їх апробацію, відзначено методи досліджень та особистий внесок здобувача у спільних публікаціях, наведено кількісні показники стосовно опублікованих наукових праць, структури та обсягу дисертації.

У першому розділі проаналізовано технологічні процеси різання книжково-журнальних блоків. Встановлено, що сучасне виробництво паперорізальних машин іде шляхом максимальної автоматизації допоміжних операцій, але сам принцип різання лишається незмінним протягом багатьох років, що значно обмежує продуктивність трьохстороннього обрізування книжкових блоків в потокових лініях. Дослідженням різання стосів паперу і книжкових блоків традиційним способом різання ножами з пласким лезом присвячені роботи Б.М. Мордовіна, В.З. Гінзбурга, Е.А. Альтшуля, Д.Ф. Акатьева, Н. Dittrich та інших. Великий внесок в подальший

розвиток теорії різання поліграфічної продукції внесли науковці з Української академії друкарства – О.М. Полюдов, П.В. Топольницький, І.І. Регей, С.Ф. Гавенко, Я.І. Чехман, Я.М. Угрин та інші. Наукові праці О.М. Полюдова, В.Ц. Жидецького, Г.Г. Петріашвілі, О.Б. Книша, А.Б. Коломійця, С.М. Комарова та інших, присвячені вібраційним способам обробки поліграфічної продукції, стали значним поступом у вирішенні проблеми зменшення сил різання. Створенню нового безвистійного способу обрізування книжково-журнальних блоків багатолезовими ножами присвячені роботи П.В. Топольницького та Ю.В. Ватуляка.

Процес різання стосів паперу дисковими ножами досліджено значно менше, хоча в інших галузях промисловості дискове різання широко використовується. В працях К. Krabisch та В. Грушевського вперше доведено, що обрізування блоків товщиною понад 8 мм викликає значні зусилля, дає недостатню якість і призводить до суттєвого нагрівання дискового ножа та підгоряння паперу. В роботах А.І. Іванко, А.Б. Коломійця та Ю.В. Ватуляка досліджено можливість безвистійного обрізування книжкових блоків з меншими силами при застосуванні дискових ножів, розташованих у відповідній конфігурації зі спеціальними механізмами їх приводу.

Виконаний аналіз літературних джерел та напрямів розвитку технологій трьохстороннього обрізування книжкових блоків виявив невикористані резерви в справі удосконалення процесу безвистійного обрізування книжкових блоків та підтвердив доцільність подальших досліджень процесів різання дисковими ножами.

В дисертації запропоновано спосіб різання ексцентричними дисковими ножами, при якому ножі встановлюються на осі їх обертання з невеличким ексцентриситетом. При обертанні так встановленого дискового ножа, його лезо отримує додатковий коливний рух, без застосування вібратора, внаслідок чого, при обертанні ножа в процесі різання і динамічної дії леза на затиснутий стос паперу зусилля різання книжкового блоку зменшуються, а умови охолодження ножа і якість обрізки покращуються.

На основі проведеного аналізу наукової проблеми сформульовано основні завдання дисертаційної роботи, орієнтовані на дослідження та удосконалення процесу безвистійного обрізування книжкових блоків із застосуванням ексцентрично встановлених дискових ножів.

У другому розділі досліджено закономірності і особливості кінематики процесу обрізування книжкових блоків з врахуванням впливу змін параметрів процесу на зміни дійсних швидкостей і кутів різання, а також визначено траєкторію і особливості контакту леза ексцентричного ножа під час обрізування блоків.

На підставі проведених досліджень встановлено, що кінематика процесу різання традиційним дисковим ножом суттєво відрізняється від кінематики різання ножом з плоским лезом. Під час різання дисковим ножом величина дійсного кута різання не є постійною в процесі різання і змінюється зі зміною товщини розрізуваних шарів паперу книжкового блоку. Визначено вплив параметрів процесу обробки (напрямку обертання, частоти обертання, діаметру ножа, швидкості подачі книжкового блоку, кута загострення леза тощо) на зменшення дійсного кута різання, величина якого впливає на значення зусиль різання. Для визначення закономірностей, які супроводжують процес обрізування ексцентричними

дисковими ножами, досліджено варіанти обробки: попутне різання, коли напрям обертання ножа збігається з напрямом подачі книжкового блоку (рис. 1a) та зустрічне – коли напрям обертання ножа протилежний напрямку подачі книжкового блоку (рис. 1b).

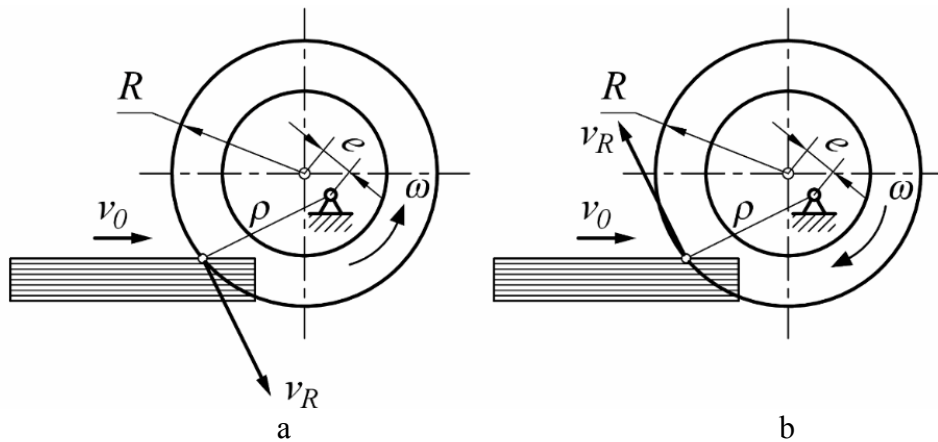


Рис 1. Схема різання книжкового блоку ексцентричним дисковим ножом

a – попутне різання, b – зустрічне різання

При різанні вісь ножа є нерухомою, книжковий блок рухається назустріч із швидкістю подачі v_0 , а ніж обертається з кутовою швидкістю ω . Дисковий ніж радіусом R встановлено на осі з ексцентриситетом e . Лінійна швидкість точок контакту леза ножа при врізанні в книжковий блок дорівнює $v_R = \omega \cdot \rho$, де ρ – відстань точки контакту від центру обертання ножа.

Проведені дослідження показали, що залежно від величин ексцентриситету e , кутової швидкості ω , швидкості подачі книжкового блоку v_0 та значення нормальної швидкості v_N (швидкості зміни радіуса ρ), процес різання може відбуватися у двох різних режимах: переривчасте (імпульсне) різання, коли лезо ножа на певному етапі обертання ножа виходить із контакту із книжковим блоком, та безперервне (постійне) різання, коли лезо ножа постійно контактує із книжковим блоком в циклі повного обертання ножа.

Зміна характеру процесу різання зумовлена зміною напрямку (в циклі одного обертання ножа) горизонтальної складової (v_x) повної швидкості різання v . Для визначення умов, при яких виникають різні режими різання, розглянемо швидкості точок ножа у верхній точці врізання. Повна швидкість v складається з лінійної швидкості v_R , швидкості подачі v_0 і швидкості зміни радіуса різання v_N (рис.2). Встановлено, що для різання у безперервному режимі має бути виконана умова $v_x \geq 0$. Імпульсне різання виникає, якщо в певний проміжок часу горизонтальна складова v_x повної швидкості v буде мати напрям, протилежний швидкості подачі, тобто, лезо почне відходити від книжкового блоку.

В результаті проведених досліджень встановлено, що для виникнення імпульсного різання швидкість подачі не повинна бути більшою величини:

$$v_0 < e\omega \left\{ \cos(\omega t) + \frac{\sin(\omega t) \cdot c}{\sqrt{R^2 - c^2}} \right\}, \quad (1)$$

де параметр t є коренем трансцендентного рівняння (2) при виконанні умови (3):

$$\frac{\omega^2 e}{\sqrt{R^2 - (a + e \cdot \cos(\omega t))^2}} \left\{ \cos(\omega t) \cdot c - e \cdot \sin^2(\omega t) - \frac{e \cdot \sin^2(\omega t) c^2}{(R^2 - c^2)} \right\} \mp \omega^2 e \cdot \sin(\omega t) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\sin(\omega t) \cdot c}{\sqrt{R^2 - c^2}} \pm \cos(\omega t) < 0, \quad (c = a + e \cdot \cos(\omega t)) \quad (3)$$

Верхні знаки (\pm) вибираються для попутного різання, нижні – для зустрічного. Оскільки рівняння (2) в замкненому вигляді не розв'язується, складено програму на *Mathcad*. Розв'язками рівняння (2) є значення часу t , при яких відбувається зупинка різання і перехід до імпульсного режиму різання, тобто має місце зміна знаку горизонтальної складової повної швидкості v . Відсутність дійсних коренів означає наявність тільки безперервного різання.

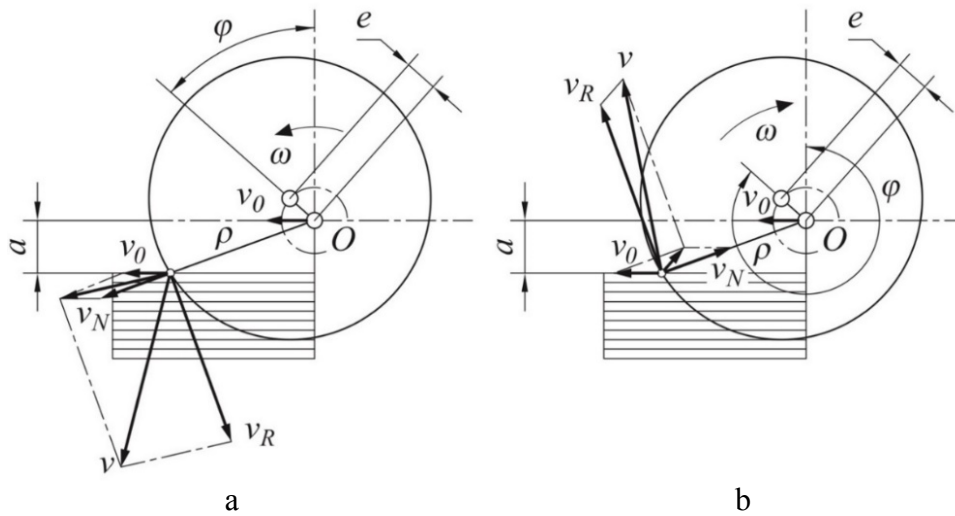


Рис. 2. Визначення повної швидкості v різання ножа у книжковий блок
а – попутне різання, б – зустрічне різання

Запропонована методика дає змогу визначити параметри процесу при виборі заданого режиму різання. На рис. 3 наведено приклади діаграм для вибору потрібної швидкості подачі книжкового блоку при заданих режимах різання.

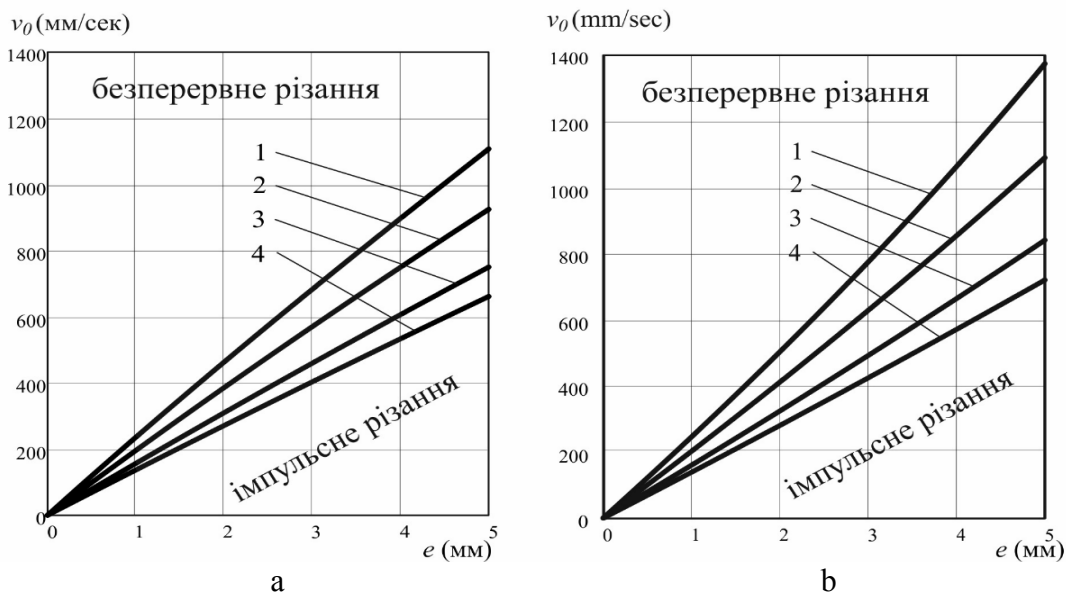


Рис. 3. Приклади діаграм для визначення режиму різання в залежності від швидкості подачі v_0 і ексцентриситету e при різній відстані осі ножа від книжкового блоку a .
а - попутне різання, б - зустрічне різання

Діаграми отримані при таких значеннях параметрів режиму різання: частота обертання ножа $n=1000$ об/хв, радіус ножа $R=100$ мм, відстань від осі обертання: 1 – $a=90$ мм; 2 – $a=85$ мм; 3 – $a=75$ мм; 4 – $a=65$ мм.

З аналізу отриманих діаграм випливає, що при застосуванні зустрічного різання режим імпульсного різання виникає при більших швидкостях подачі, що вказує на більшу можливу продуктивність процесу обрізування книжкових блоків.

Дослідження трансформації дійсного кута різання α_T ексцентричного дискового ножа, загостреного під кутом α_0 , проведено у верхній точці контакту леза ножа з книжковим блоком, в місці, де дійсний кут різання є максимальним. Прийнято, що напрямок врізання леза ножа відповідає напрямку радіуса обертання ρ та напрямку швидкості v_N , яка виникає в результаті зміни радіуса ρ (рис. 2). Оскільки величина v_0 є заданою, інші складові повної швидкості обчислюються з рівнянь: $\varphi = \omega t$; $v_R = \omega \cdot \rho$; $v_N = \frac{d\rho}{dt}$. Після визначення радіуса ρ за формулою (4):

$$\rho = \sqrt{\left\{ R \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{a + e \cdot \cos(\omega t)}{R} \right) \right] \pm e \cdot \sin(\omega t) \right\}^2 + a^2}, \quad (4)$$

отримуємо вирази для розрахунку значень швидкостей:

$$v_R = \omega \cdot \sqrt{\left\{ R \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{a + e \cdot \cos(\omega t)}{R} \right) \right] \pm e \cdot \sin(\omega t) \right\}^2 + a^2} \quad (5)$$

$$v_N = \frac{d\rho}{dt} = \frac{\omega \cdot e \cdot [e \sin(\omega t) \pm R_e] \{ R_e \cos(\omega \cdot t) \pm [a + e \cos(\omega t)] \sin(\omega t) \}}{R_e \sqrt{a^2 + [e \sin(\omega t) \pm R_e]^2}}, \quad (6)$$

де: $R_e = \sqrt{R^2 - [a + e \cos(\omega t)]^2}$. Верхні знаки (\pm) у формулах (4-6) приймаються для попутного, а нижні – для зустрічного різання. Визначені значення дотичної та нормальної складових повної швидкості різання:

$$v_\tau = \mp v_R - v_0 \sin(\varphi_2); \quad v_n = v_N + v_0 \cos(\varphi_2), \quad \text{де } \varphi_2 = \arcsin\left(\frac{a}{\rho}\right). \quad (7)$$

Підставляємо в рівняння (8) за яким визначаємо дійсний кут різання дискового ножа, встановленого з ексцентриситетом:

$$\alpha_T = \arctg \left(\tan(\alpha_0) \frac{v_n}{\sqrt{v_n^2 + v_\tau^2}} \right). \quad (8)$$

На рис. 4 показані графіки зміни дійсного кута різання α_T книжкового блоку за один повний оберт ексцентрично встановленого дискового ножа при зміні різних параметрів процесу.

Проведений аналіз трансформації кута різання α_T в процесі обрізування книжкових блоків показав, що для режиму зустрічного різання дійсний кут різання є меншим, ніж для попутного різання. Це означає, що при зустрічному різанні ексцентричним ножом можна очікувати меншої сили різання книжкових блоків.

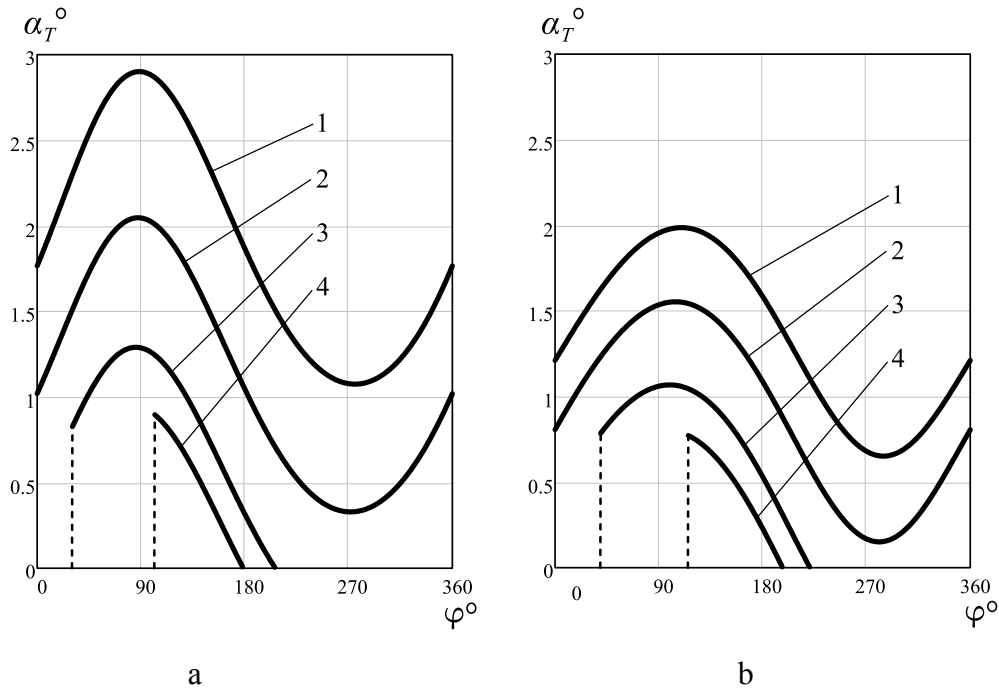


Рис. 4. Графіки зміни фактичного кута різання α_T в циклі повного оберту дискового ножа, встановленого з ексцентриситетом e для різних співвідношень v_R/v_0 (при $R=100$ мм, $n=2000$ об/хв, $a=85$ мм, $e=5$ мм, $\alpha_0 = 20^\circ$), 1 - $v_R/v_0=5$; 2 - $v_R/v_0=8$; 3 - $v_R/v_0=20$; 4 - $v_R/v_0=80$

а – різання попутне, б– різання зустрічне

Проведений аналіз трансформації кута різання α_T в процесі обрізування книжкових блоків показав, що для режиму зустрічного різання дійсний кут різання є меншим, ніж для попутного різання. Це означає, що при зустрічному різанні ексцентричним ножом, можна очікувати меншої сили різання книжкових блоків. Для дослідження траєкторії рухів леза ножа скористаємось методом оберненого руху і зафіксуємо книжковий блок, а ножу надаємо рух із швидкістю подачі v_0 (рис. 5).

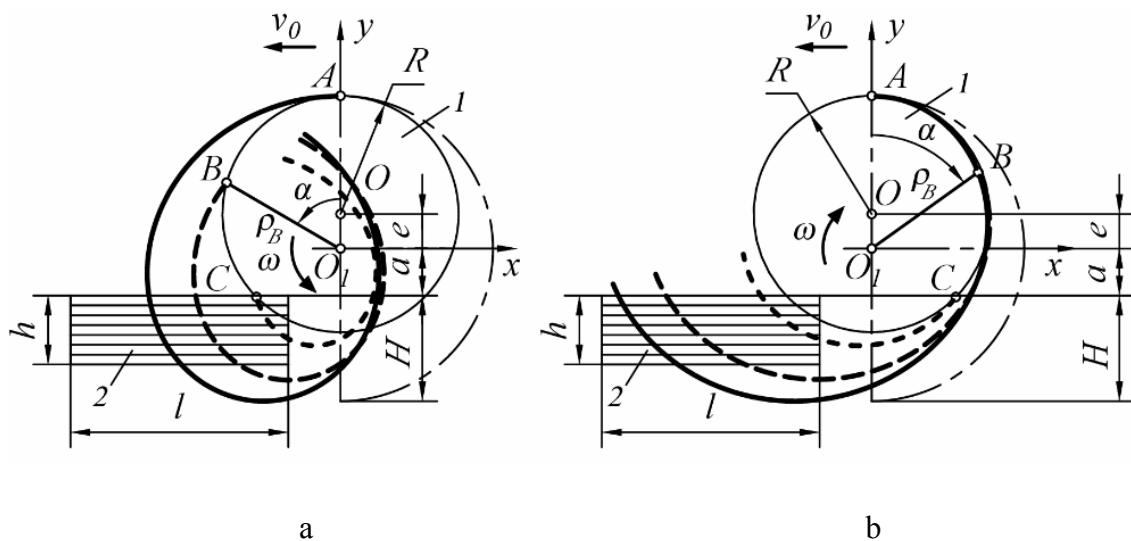


Рис. 5. Траєкторії руху довільних точок А, В та С на лезі ексцентричного ножа при попутному (а) та зустрічному (б) різанні.

1 – ніж, 2 – книжковий блок

На відміну від ножа, встановленого без ексцентриситету, траєкторії різних точок на лезі ексцентричного ножа є різними і залежать від їх розташування. Траєкторія довільної точки В може бути описана наступними параметричними рівняннями у функції часу t (швидкості обертання і подачі вважаємо сталими).

$$x_B = -v_0 t \pm \rho_B \cdot \sin(\omega t + \alpha); \quad y_B = \rho_B \cdot \cos(\omega t + \alpha), \quad (9)$$

де $\rho_B = e \cdot \cos(\alpha) + \sqrt{e^2 \cos^2(\alpha) + R^2 - e^2}$, а знак плюс приймається для зустрічного різання, мінус – для попутного. Кожна точка залишає на блоці умовний слід різання, який є відрізком її траєкторії. Геометричне моделювання траєкторій точок за формулами (9) з певним кроком в системі AutoCAD підтвердило, що, в залежності від співвідношення параметрів, різання може бути безперервним або переривчастим.

При дослідженнях траєкторії рухів леза ножа встановлено, що для ножа без ексцентриситету крок слідів є однаковим. При безперервному різанні ексцентричним ножом густина умовних слідів змінюється, а при імпульсному різанні сліди в певному місці перетинаються (рис. 6).

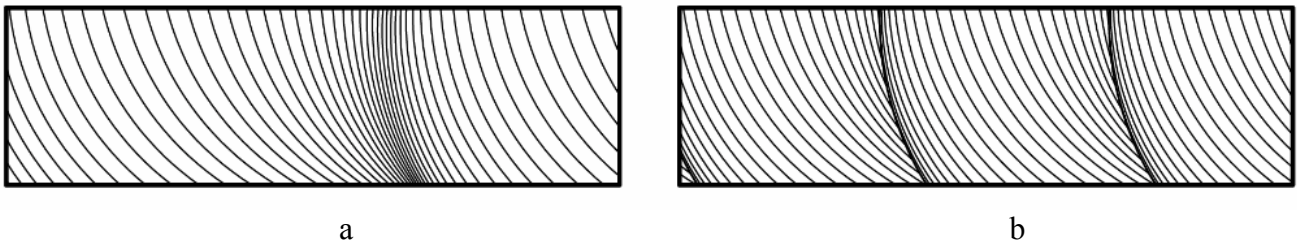


Рис. 6. Вигляд траєкторій руху точки леза ножа (умовних слідів різі) під час різання книжкових блоків при безперервному різанні (а) і при переривчастому різанні (б)

Результати комп'ютерного моделювання показали можливість існування характерних секторів різання на лезі ексцентричного дискового ножа: сектора, що різє блок на повну товщину; частково різучі сектори (при різанні неповної товщини блоку) та сектор, де ніж не бере участь у процесі різання. Розмір і положення на ножі цих характерних секторів різання залежать від геометричних та кінематичних параметрів процесу різання.

В процесі імпульсного різання лезо ножа відходить від блока не по всій товщині блока. При попутному русі, різання спочатку переривається у верхній точці, далі лезо ножа в процесі відходу від блока продовжує різання на неповну товщину і остаточно відходить від блока у нижній точці. Відновлення різання починається з нижньої точки на неповну товщину блока, поки лезо не дійде до верхньої точки. При зустрічному русі процедура переривання і відновлення різання проходить в оберненій послідовності. Час зупинки t_{out2} і відновлення різання t_{in2} для нижньої точки блока, а також відстані цих точок від осі обертання x_{in2} та x_{out2} визначається з системи трансцендентних рівнянь (10):

$$\left. e\omega \left\{ \pm \cos(\omega t_{out2}) + \frac{\sin(\omega t_{out2}) \cdot (a + h + e \cdot \cos(\omega t_{out2}))}{\sqrt{R^2 - (a + h + e \cdot \cos(\omega t_{out2}))^2}} \right\} + v_0 = 0 \right\} \\ x_{out2} = \pm e \sin(\omega t_{out2}) + R \cos \left[\arcsin \left(\frac{a + h + e \cdot \cos(\omega t_{out2})}{R} \right) \right] + v_0 t_{out2} \quad (10)$$

$$x_{in2} = \pm e \sin(\omega t_{in2}) + R \cos \left[\arcsin \left(\frac{a+h+e \cdot \cos(\omega t_{in2})}{R} \right) \right] + v_0 t_{in2}$$

$$\pm e \sin(\omega t_{in2}) + R \cos \left[\arcsin \left(\frac{a+h+e \cdot \cos(\omega t_{in2})}{R} \right) \right] + v_0 t_{in2} = x_{out2}$$

Верхні знаки (\pm) використовують для попутного різання, нижні – для зустрічного. Час зупинки і відновлення різання у верхній точці t_{out1} та t_{in1} визначається з ідентичної системи рівнянь, підставивши товщину блока $h=0$. Знаючи відповідні моменти часу, обчислюємо кути повороту ножа і розміри секторів відновлення різання θ_1 , повного різання θ_2 , виходу лева з різання θ_3 і відсутності різання θ_4 .

На рис. 7 представлено результати моделювання розподілу характерних ріжучих секторів при різанні ексцентричним дисковим ножом. В секторі, де відбувається повне різання, зношування лева ножа буде максимальним. Поруч із цим сектором два сусідні сектори лева ріжуть книжковий блок із зменшеною висотою. Відповідно, зношування на цій частині лева ріжучої крайки буде меншим. При імпульсному режимі на лезі ножа є сектор, який взагалі не бере участі в процесі різання і лезо ножа в цій частині не буде зношуватися, а наявність такого сектора сприяє кращому охолодженню ножа.

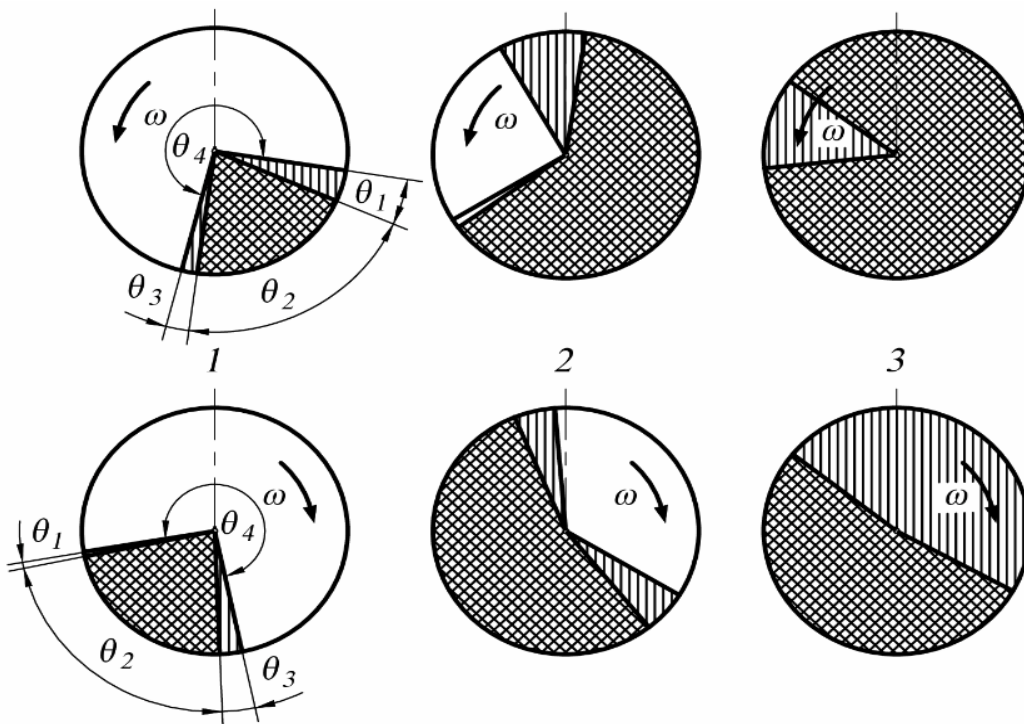


Рис. 7. Моделювання розподілу ріжучих секторів на ексцентричному дисковому ножі при різних швидкостях подачі книжкового блока при параметрах різання: діаметр ножа $D=200$ мм, ексцентриситет $e=2$ мм, товщина блока $h=10$ мм, відстань від осі обертання $a=70$ мм, частота обертання ножа $n=2000$ об/хв, швидкість подачі v_0 : 1 – 100 мм/сек; 2 – 500 мм/сек; 3 – 660 мм/сек.

Верхній ряд – попутне різання. Нижній ряд – зустрічне.

Перехресне штрихування секторів – повне різання; вертикальне штрихування – різання на неповну висоту; сектори без штрихування – різання відсутнє.

Дослідження шляху, який проходить точка леза ексцентричного дискового ножа в процесі різання книжкового блоку, показали, що довжина різання (сліди зрізу) в переривчастому режимі є коротшою за довжину різання в безперервному режимі і суттєво залежить від величини ексцентриситету.

Різниця в довжині шляху різання між попутним та зустрічним різанням не є значною. Під час переривчастого різання не всі сектори леза ножа беруть участь у різанні книжкового блоку. При відповідному підборі параметрів переривчастого різання, коли загальний розмір ріжучого сектора ($\theta_1 + \theta_2 + \theta_3$) становить приблизно 180° , можливе використання лише половини ріжучого леза, яке контактує з папером книжкового блоку під час різання. Після того, як ця частина леза ножа затупиться, можна обернути дисковий ніж приблизно на 180 градусів, і далі різати неспрацьованою частиною леза, що збільшить термін служби ріжучого інструменту.

У **третьому розділі** на основі теоретичних досліджень запроєктовано та виготовлено оригінальний лабораторний стенд, який дозволив провести експериментальні дослідження безвистійного способу обрізування книжкових блоків та здійснити аналіз впливу технологічних параметрів різання ексцентричними дисковими ножами на силові і якісні показники процесу обробки.

Отримані результати експериментальних досліджень стали критерієм оцінювання достовірності сформульованих наукових гіпотез.

Конструкція лабораторного стенда (рис. 8) представляє собою станину зі спеціально сконструйованою та змонтованою системою приводу каретки для транспорту книжкових блоків, та вузол різання з трьома дисковими ножами.

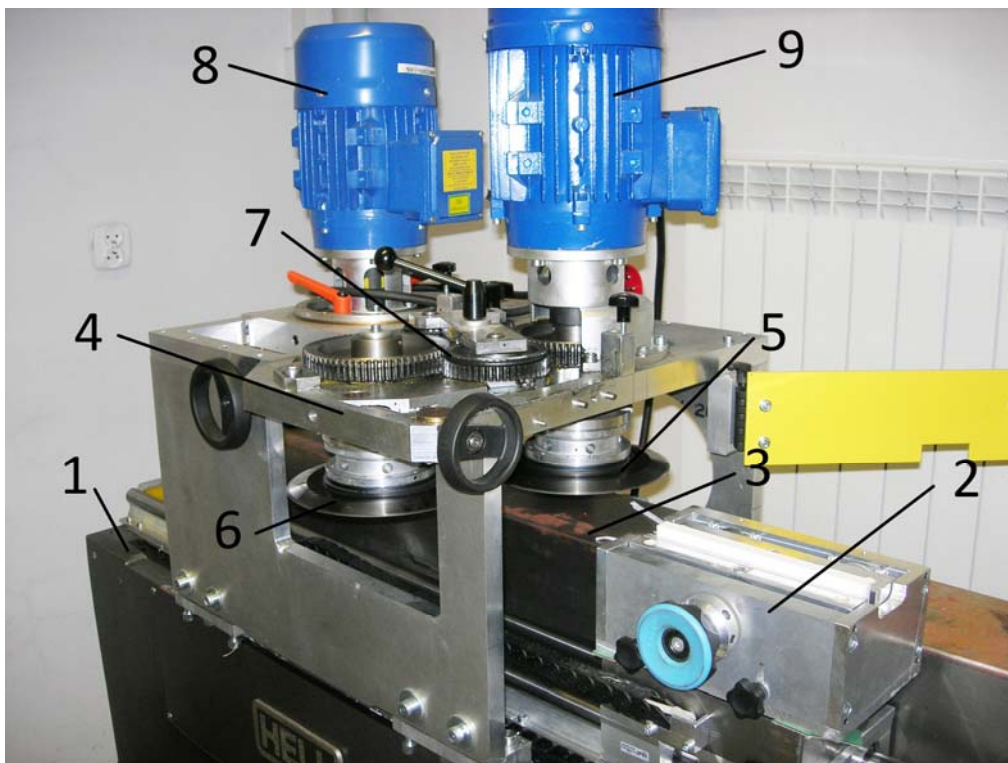


Рис. 8. Фотографія експериментального стенду для дослідження параметрів процесу обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами

Двигун, встановлений на станині (1) стану, через черв'ячний редуктор і зубчастий пас (3) приводить в рух каретку (2), в якій затиснутий блок подається до зони різання. Електронна система управління, що має три перетворювачі частоти для управління двигунами приводів каретки та дискових ножів, дозволяє регулювати швидкості подачі блоків та обертів ножів. Вузол різання (4) розташований понад напрямними каретки і складається із спеціального приводного механізму (7) для двох дискових ножів (5,6), що приводяться в рух двигуном (9), та двигуна (8), що приводить у рух третій дисковий ніж, який кріпиться безпосередньо на валі двигуна.

Експериментальний стенд дозволяє послідовно встановити один або декілька ножів з автономним приводом і проводити дослідження обрізування книжкових блоків довжиною до 240 мм і товщиною до 30 мм при швидкості подачі до 2 м/с і обертах ножів до 3000 об/хв. Ексцентриситет ножів можна плавно регулювати від 0 до 3 мм. Для експериментів використовували ножі діаметром 200 мм з кутом загострення 26° . Рухома транспортна каретка обладнана спеціальним динамометром, розміщеним у її конструкції, для вимірювання трьох складових сили різання в процесі обробки книжкових блоків (рис. 9).

Реєстрація трьох складових сили різання та обробка осцилограм здійснювались за допомогою тензометричної апаратури з аналого-цифровим перетворенням сигналів з використанням апаратури та спеціальних програм фірми National Instruments (США).

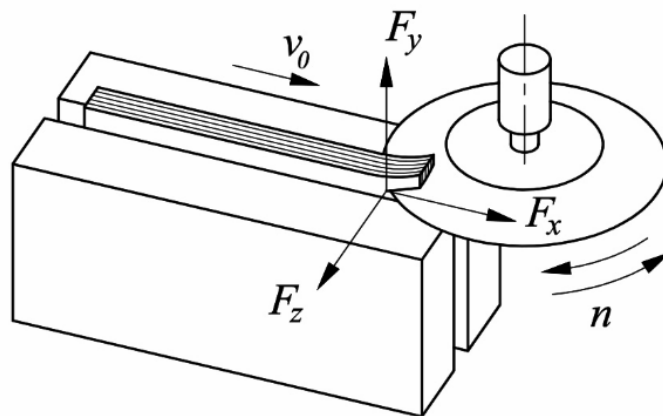


Рис. 9. Принципова схема вимірювання трьох складових сили різання

В результаті проведених досліджень було зареєстроване дуже мале значення складової F_y (3-5% від сили F), проте найбільшою складовою виявилася поздовжня сила F_x , отже, основна увага в дослідженнях приділялася вивченню сил, що виникають у площині різання книжкових блоків, тобто шляхом аналізу взаємодії складових F_x та F_z та їх суми $F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}$

Експерименти повністю підтвердили висунуту гіпотезу про можливе виникнення імпульсного режиму обробки в очікуваному діапазоні вибраних швидкісних параметрів різання.

На рис. 10 представлено типові осцилограми зміни сили різання F_x для режимів безперервного та імпульсного різання.

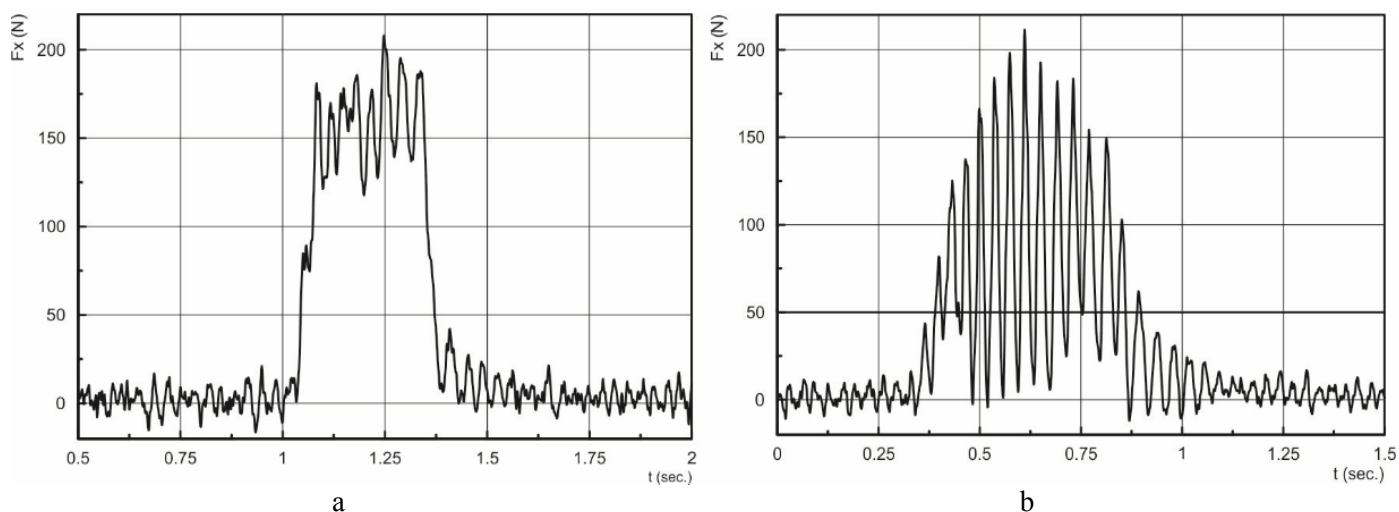


Рис. 10. Типові осцилограми поздовжньої сили F_x при попутному різанні
 а – безперервне різання (швидкість подачі $v_0=0,3$ м/сек);
 б – імпульсне різання (швидкість подачі $v_0=0,2$ м/сек).

Параметри обробки: частота обертання ножа $n=1800$ об/хв; $e=1$ мм;
 діаметр ножа $D=200$ мм; відстань від осі обертання: $a=70$ мм;
 товщина блока $h=10$ мм; довжина блока $l=100$ мм.

У режимі безперервного різання (рис. 10а) можна зауважити циклічні коливання величини F_x складової сили різання від дії ексцентричного ножа, однак через більшу швидкість подачі блока від дійсної швидкості різання лезо ножа не може вийти з контакту з розрізуваним стосом паперу. У режимі переривчастого (імпульсного) різання сила на ножі падає практично до нуля, коли лезо виходить з паперу, і знову збільшується від моменту нового контакту ріжучої крайки ножа з блоком (рис. 10б).

Циклічні коливання та зменшення середніх значень дійсного кута різання ножа, а також динамічний характер взаємодії між лезом ножа та стосом паперу призводять до зменшення сил різання. Переривчастий характер різання також підвищує ефективність обробки обертовим ножом за рахунок зниження температури в зоні різання через періодичну відсутність контакту між лезом ножа і книжковим блоком.

Оцінка якості обрізування книжкових блоків проводилась оптичним методом за допомогою цифрового мікроскопу, а гостроти леза ексцентричного дискового ножа – вимірюванням зношування леза спеціальним мікрометричним індикатором.

У четвертому розділі представлено результати експериментальних досліджень процесу безвистійного обрізування книжкових блоків. Проведені на лабораторному стенді випробування забезпечили встановлення ступеня впливу різних параметрів обробки книжкового блоку на величини складових сил та результуючу силу різання.

В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільший вплив на складові сили різання чинять: швидкість подачі блоку, частота обертання ножа, величина ексцентриситету та товщина блоку (рис. 11). Зокрема, при збільшенні швидкості подачі блоку (рис. 11a) з 0,25 м/с до 1,5 м/с (при швидкості обертання ножа 1500 об/хв) складова сила F_x при зустрічному різі зростає у 2,5÷2,7 разів, тоді як при обертанні ножа в попутному напрямку сила F_x практично не змінює своєї величини. Зі збільшенням швидкості подачі каретки сила F_z зростає, для зустрічного різання, в 3÷3,2 рази, а для попутного різання - у 2,4÷2,6 рази, тоді як результуюча сила різання F збільшується в 2,7÷2,8 рази для всіх напрямків обертання ножа. Результати досліджень підтвердили висновки, отримані при проведенні кінематичного аналізу процесу різання ексцентричним дисковим ножом.

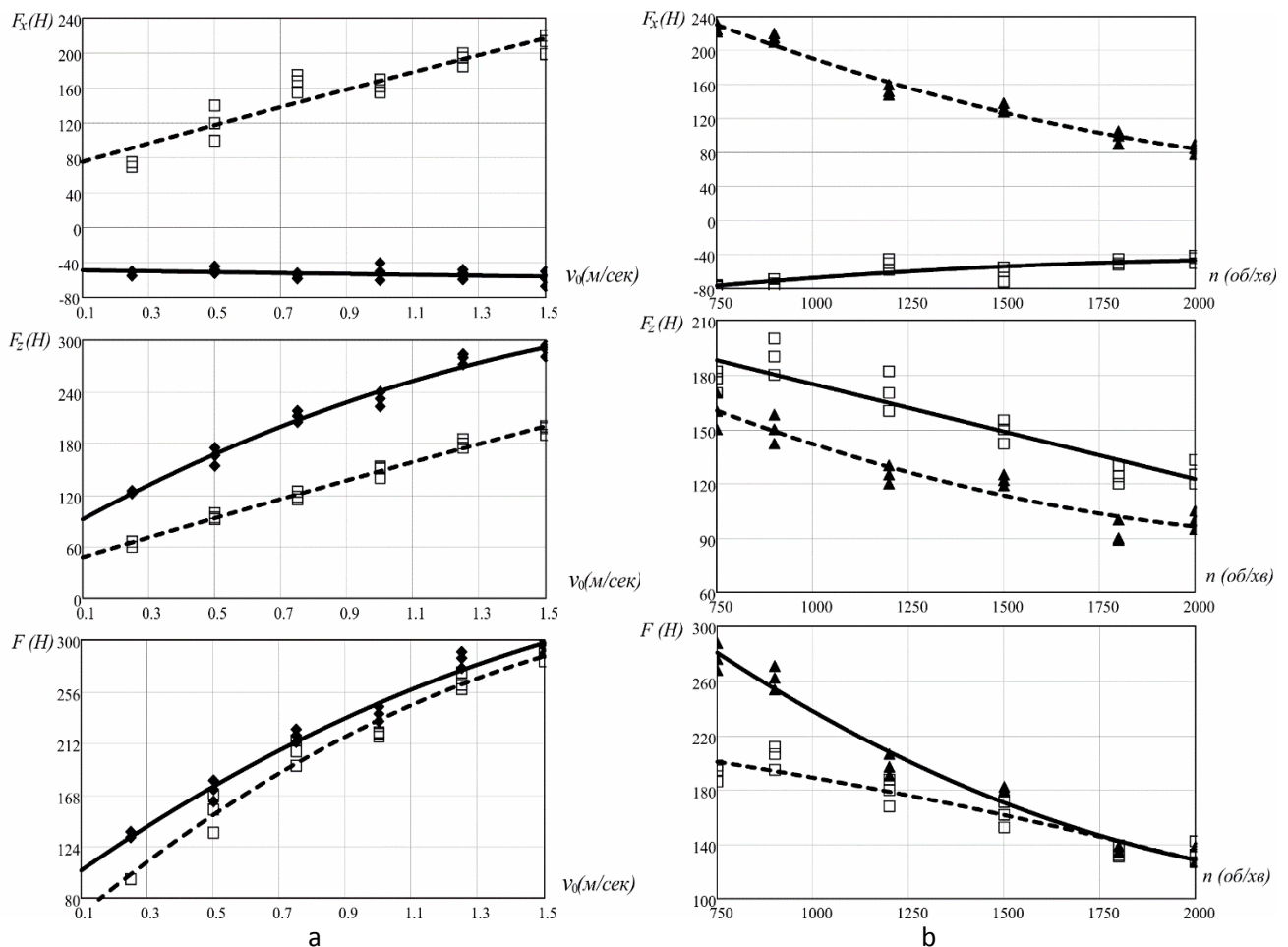


Рис. 11. Вплив швидкості подавання книжкового блоку v_0 (a) та швидкості обертання ножа n (b) на значення складових сил F_x , F_z та повної сили F

Пунктирна лінія – зустрічне різання; суцільна лінія – попутне різання.

Параметри різання: $D=200$ мм, $\alpha_0=26^\circ$, $n=1500$ об/хв, $a=75$ мм, $e=0,5$ мм, $h=15$ мм, $L=100$ мм, папір офсетний (80 г/м²)

На рис. 11b наведено графіки впливу напрямку обертання та швидкості обертання ножа на складові сили та результуючу силу різання книжкових блоків. Збільшення швидкості обертання ножа показує тенденцію до зменшення всіх складових та результуючої сили різання. Найбільший вплив швидкості обертання дискового ножа на величину складової F_x було зареєстровано для зустрічного різання. Так, збільшення швидкості обертання ножа з 750 об/хв до 2000 об/хв

зменшило значення складової F_x приблизно в $2,7 \div 2,8$ рази. Встановлено, що подібне збільшення швидкості обертання ножа зменшує результуючу силу різання приблизно в $1,7 \div 2,2$ рази.

При дослідженнях впливу відстані різання a від книжкового блоку до осі обертання ножа встановлено, що при попутному різанні затиснутих в каретці книжкових блоків та встановленню ножа на максимальній відстані a було зареєстровано зміну напрямку дії повздовжньої складової F_x , завдяки чому величина сили подачі блоку дещо зменшується. При зустрічному різі спостерігається зміна напрямку сили F_z . Виявлено, що повна сила різання при попутному і зустрічному різанні зменшується в $1,4 \div 1,6$ рази при збільшенні відстані положення книжкового блоку відносно осі обертання ножа від 0 до 80 мм.

В результаті досліджень впливу величини ексцентриситету e дискового ножа на зусилля F_x для зустрічного різання (рис. 12а) встановлено, що при збільшенні ексцентриситету з $e=0,25$ мм до $e=2$ мм сила F_x зменшується, приблизно в $2,4 \div 2,6$ рази. Подальше збільшення ексцентриситету ножа ($e=3$ мм), хоча і приводить до дальшого зменшення сил, але застосування таких значень e недоцільно через виникнення великих вібрацій в різальному вузлі. Дослідженнями встановлено, що при зустрічному різанні раціональним є вибір значень ексцентриситету в діапазоні $e=0,5 \div 1$ мм, що дозволяє зменшити зусилля подачі блоку F_x приблизно в $1,2 \div 1,6$ рази, не викликаючи надмірних вібрацій ріжучої системи.

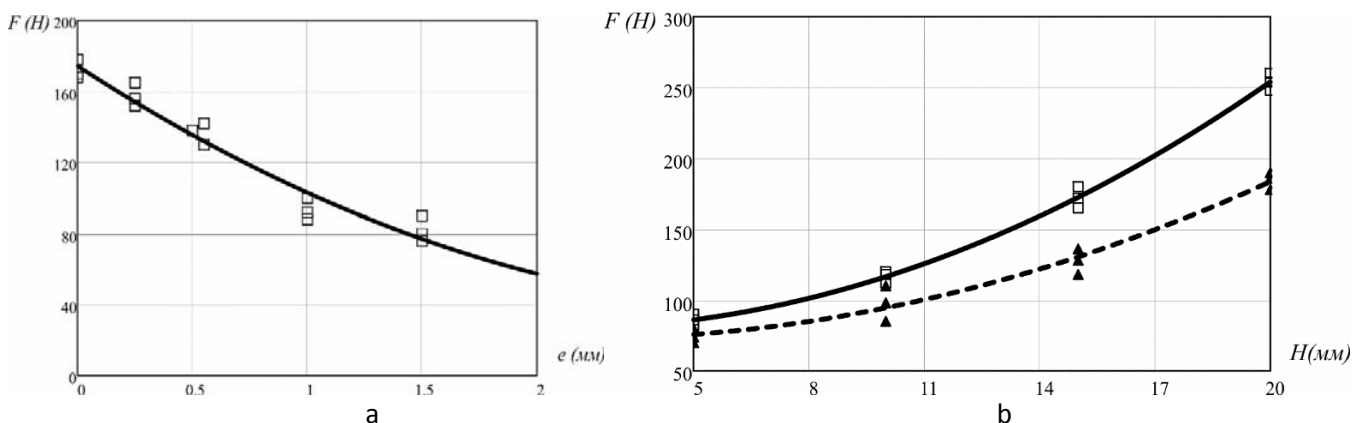


Рис. 12. Вплив величини ексцентриситету e (а) та товщини книжкового блоку H (б) на складову силу F_x

а - при зустрічному різанні ($h=15$ мм), б - пунктирна лінія – зустрічне різання; суцільна лінія – попутне різання ($e=0,5$ мм). Параметри різання: $D=200$ мм, $\alpha_0=26^\circ$, $n=1500$ об/хв, $v_0=0,50$ м/с, $a=75$ мм, $h=15$ мм, $L=100$ мм, папір офсетний (80г/м^2)

На рис. 12б показані графіки впливу зміни товщини книжкового блоку на величину складової сили різання F_x . Як видно з графіків, вплив товщини блоку на величину силу різання є нелінійним. Зі збільшенням товщини блоку відбувається нелінійне збільшення фактичної лінії контакту леза ножа при різанні блоку, що призводить до нелінійного збільшення сили різання. Дослідження показали, що при збільшенні товщини блоку з 5 мм до 15 мм складова зусилля F_x зростає в $1,6 \div 1,9$ рази. Подальше збільшення товщини блоку призводить до суттєвого збільшення

зусиль та значного погіршення якості різання незалежно від напрямку обертання ножа.

В результаті порівняльних випробувань зношування ексцентричних (при $e=0,5$ мм) та традиційних дискових ножів встановлено, що характери зміни величин зношування лез у процесі затуплення ножів подібні. Виявлено дещо менше зношування леза ексцентричного ножа (приблизно на 0,03 мм менше зношування леза на кількість 4000 зрізів) ніж традиційного, що свідчить про легші умови роботи леза ексцентричного ножа у порівнянні з традиційним дисковим ножем.

На основі аналізу мікрофотографій країв сторінок книжкових блоків, виготовлених з різних видів паперу, виявлено, що при різанні ексцентричним дисковим ножем, встановленим з ексцентриситетом $e=0,5\div 1$ мм і швидкістю обертання ножа в межах $n=1500\div 2000$ об/хв, досягається висока якість різання різних видів паперу та картону. Однак при збільшенні швидкості обертання ножа (понад 3000 об/хв) відзначено явище появи слідів підгоряння зрізаної поверхні навіть при високій швидкості подачі блоку – 1,0 м/с (рис 13а).

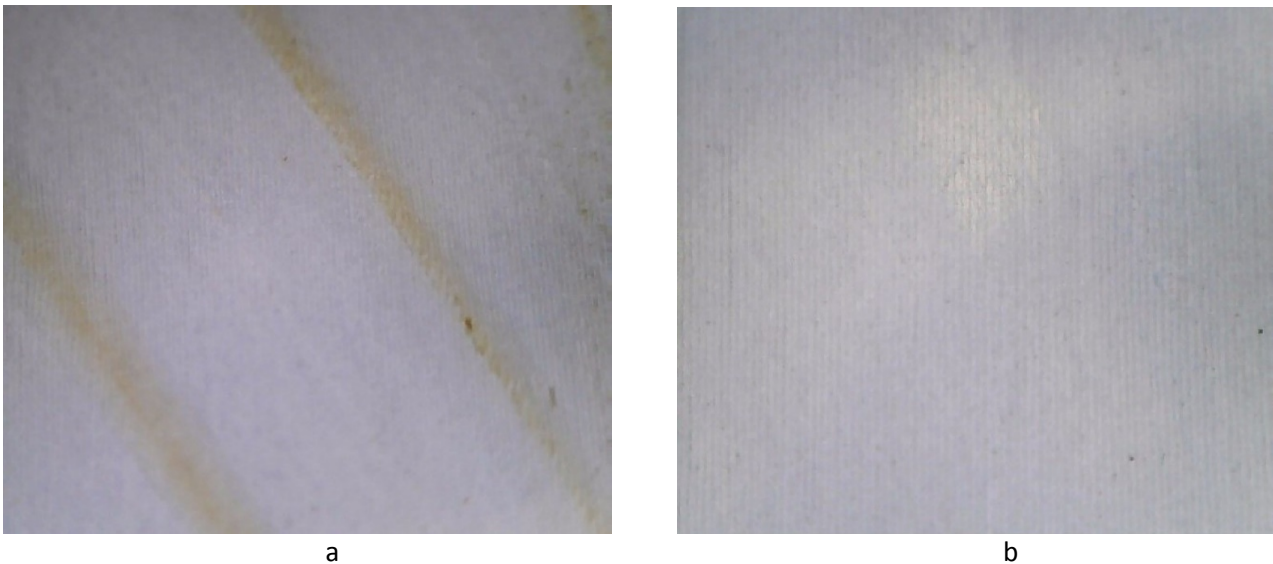


Рис. 13. Вигляд бічної поверхні книжкового блоку після обрізування ексцентричним дисковим ножем.

а – сліди підгоряння при неправильному підборі параметрів різання;

б – хороша якість поверхні різання ексцентричним дисковим ножем

Доведено, що при ексцентричному встановленні ножа $e=0,5\div 1$ мм явище підгоряння поверхні зрізу блоку не було зареєстровано навіть при швидкості подачі блоку $v_o=0,25$ м/с, що свідчить про сприятливий вплив ексцентричного різання на зменшення вироблення тепла в зоні різання (рис. 13б). Проведені дослідження показали, що висока якість різання книжкових блоків, без будь-яких слідів підгоряння поверхні зрізу досягається при зустрічному різанні блоків товщиною до 15 мм, при виборі швидкості обертання ножа в межах $n=1500\div 1800$ об/хв та ексцентриситету ножа в межах $e=0,5\div 1$ мм, причому сили різання зменшуються в 1,7 \div 2,2 рази у порівнянні з традиційним різанням паперу. На підставі проведених експериментальних досліджень обрізки блоків з різних видів паперу встановлено, що при зустрічному різанні сила подачі блоку є меншою, ніж при попутному.

Експерименти показали, що імпульсне різання, як і безперервне, не дозволяє обробляти одним ножом блоки товщиною більшою за 12–15мм. Для різних видів паперу це обмеження буде різним. Для практичного використання, при обрізуванні блоків більшої товщини, запропонована концепція розміщення декількох ножів з різних боків та застосування принципу зустрічного різання ексцентричними дисковими ножами з параметрами різання, рекомендованими в результаті проведених досліджень.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання удосконалення технологічного процесу безвистійного обрізування книжкових блоків на підставі розроблення і застосування нового способу трьохстороннього обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами, розв'язання якого забезпечить ефективність післядрукарської обробки видань за рахунок вищої продуктивності автоматичних потокових ліній та якості обрізування, а також створить передумови для формування рекомендацій щодо проектування нових різальних секцій потокових ліній.

Основні результати і прикладні рекомендації полягають у наступному.

1. На основі проведеного аналізу сучасних технологій і машин для обрізування книжкових блоків та наукових праць в галузі різання паперу встановлено доцільність удосконалення процесу безвистійного обрізування книжкових блоків із застосуванням ексцентричних дискових ножів.
2. Досліджено закономірності і особливості кінематики процесу різання книжкових блоків з врахуванням впливу змін параметрів процесу на зміни дійсних швидкостей і кутів різання, а також визначено траєкторію і особливості контакту леза ексцентричного ножа при різанні книжкових блоків.
3. Визначено вплив параметрів процесу обробки (напрямку обертання, частоти обертання, діаметру ножа, швидкості подачі книжкового блоку, кута загострення леза тощо) на зменшення дійсного кута різання, величина якого впливає на значення зусиль різання.
4. Запроектовано та виготовлено оригінальний лабораторний стенд, який дозволив провести експериментальні дослідження безвистійного способу обрізування книжкових блоків та здійснити аналіз впливу технологічних параметрів різання ексцентричним дисковим ножом на силові і якісні показники процесу обробки книжкових блоків.
5. Внаслідок теоретичних і експериментальних досліджень встановлено практичну можливість застосування ексцентричних дискових ножів для потокового обрізування книжкових блоків з трьох сторін, що забезпечує зменшення сили різання у порівнянні з традиційним різанням в $1,7 \div 2,2$ рази при високій якості поверхні зрізу.
6. Результати комп'ютерного моделювання виявили закономірності ексцентричного різання (можливість отримання переривчастого чи

безперервного режимів різання), та підтвердили, що переривчастий характер різання підвищує ефективність процесу обробки блоку за рахунок зменшення дійсного кута різання, імпульсної дії леза ножа на папір та кращих умов руху леза ножа у порівнянні з традиційним дисковим ножом.

7. Проведені аналітичні та експериментальні дослідження траєкторії рухів ріжучої крайки ексцентричного дискового ножа виявили можливість підвищення строку служби різального інструмента і меншого його зношування за рахунок зменшення траєкторії контакту леза дискового ексцентричного ножа з оброблюваним блоком.
8. На основі проведених експериментальних досліджень визначено оптимальні робочі параметри ексцентричних ножів, які дозволяють обрізати книжкові блоки зі швидкістю подачі від 0,2 до 1,5 м/с і забезпечують високу якість різання: діаметр ножа – 200 мм, кут заточки – 26° , відстань місця різання від осі обертання ножа – 80 мм, швидкість обертання ножа – $1500 \div 1800$ об/хв, напрямок обертання – зустрічне різання, значення ексцентриситету ножа – $0,5 \div 1$ мм.
9. У результаті досліджень та експериментальних випробувань нового процесу різання ексцентричними дисковими ножами сформовано альтернативні концептуальні рішення для проектування тристоронніх систем різання, які можуть бути частиною потокової лінії для обробки книжкових блоків безвистійним способом.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у українських виданнях, індексованих у наукометричних базах

1. Яніцкі П. Теоретичні та практичні дослідження обрізування книжкових блоків ексцентричним дисковим ножом. *Поліграфія і видавнича справа*. 2020. №2 (80). С. 100-111.
2. Яніцкі П. Вплив розташування дискового ножа на сили обрізування книжкових блоків. *Наукові записки УАД*. 2020 №2 (61). С. 94-102.

Публікації у зарубіжних рецензованих наукових фахових виданнях

3. Petriaszwili G., Janicki P., Komarov S. Wpływ parametrów pracy noża krążkowego ustawionego mimośrodowo na zmniejszenie trajektorii kontaktu ostrza z krojonym wkładem książkowym. *Przegląd Papierniczy*, №4 (75), 2019. С. 253-257.
4. Janicki P., Petriaszwili G. Analiza kinematyczna parametrów procesu krojenia wkładów książkowych mimośrodowym nożem krążkowym. *Przegląd Papierniczy*, №7, 2017. С. 468-472
5. Janicki P., Petriaszwili G., Komarov S. Badanie trajektorii ruchu krawędzi tnącej noża krążkowego podczas krojenia wkładów książkowych. *Opakowanie*, №9, 2017. С. 76-79
6. Petriaszwili G., Janicki P. Nowoczesne technologie trójstronnego krojenia opraw. *Poligrafika*. №11, 2017. С. 42-46.

7. Janicki P., Petriaszwili G., Komarov S. Charakterystyka kinematyki procesu krojenia papieru nożem krążkowym ustawionym mimośrodowo, *Opakowanie*, №10, 2016. С. 57-59.
8. Janicki P., Petriaszwili G. Transformacja kinematycznego kąta zaostrenia ostrza noża w procesach rozkroju tektury i papieru nożami krążkowymi, *Opakowanie*, №9, 2015. С. 79-81.
9. Janicki P., Petriaszwili G. Uwzględnienie kształtu krawędzi tnącej noża krążkowego przy obliczeniach kinematyki procesu krojenia papieru, *Opakowanie*, №12, 2015 №12. С. 66-68.

Публікації у збірниках матеріалів конференцій

10. Petriaszwili G., Janicki P., Komarov S. Investigation on book cutting by circular knife with eccentric blade movement. *Proceedings of 10th International Symposium on Graphic Engineering and Design. University of Novi Sad. Novi Sad, 12-14 November, 2020.* С. 229-233.
11. Janicki P., Petriaszwili G., Komarov S. Analiza trajektorii punktów ostrzy noży krążkowych przy krojeniu wkładów książkowych. *IV Міжнародна науково-технічна конференція «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології»: матеріали (PMW-2019). Харківський національний університет радіоелектроніки. м. Харків, 14-17 травня 2019 р.* С. 32-33.
12. Janicki P., Petriaszwili G., Komarov S. Investigation on the trajectory of eccentric circular knife blade movement in book cutting process. *Proceedings of International Conference „Innovations of publishing, printing and multimedia technologies”. Kauno kolegija. Kaunas, 04.2019.* С. 47-53.
13. Janicki P., Petriaszwili G., Komarov S. Badanie przemieszczeń w procesie krojenia ostrza mimośrodowego noża krążkowego. *II Міжнародна науково-технічна конференція «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології»: матеріали (PMW-2017). Харківський національний університет радіоелектроніки. м. Харків, 16-22 травня 2017.* С. 9-10.
14. Petriaszwili G., Janicki P., Komarov S. Кинематические параметры резания книжных блоков эксцентричным дисковым ножом. *Скориновские чтения 2016: книга как феномен культуры, искусства, технологии. Белорусский государственный университет. Минск, 2016.* С. 211-215.
15. Janicki P., Petriaszwili G., Komarov S. Kinematic Analysis of Printing Materials Cutting Using Circular Cutters. *Proceedings of International Conference «Innovations of publishing, printing and multimedia technologies». Kauno kolegija. Kaunas, 04.2016.* С. 40-47.
16. Петріашвілі Г., Комаров С., Яніцкі П. Дослідження кінематики різання корінців книжкових блоків ексцентричним дисковим ножом. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів. Тези доповідей. Українська академія друкарства. Львів, 16-19 лютого 2016.* С.20.

АНОТАЦІЯ

Яніцкі Пьотр, Станіслав. Удосконалення безвистійного обрізування книжкових блоків ексцентричними дисковими ножами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва (18 – виробництво і технології), Українська академія друкарства Міністерства освіти і науки України, м. Львів, 2021.

Дисертація присвячена розв'язанню актуального науково-прикладного завдання удосконалення технологічного процесу безвистійного обрізування книжкових блоків на підставі розроблення і застосування нового способу трьохстороннього обрізування блоків ексцентричними дисковими ножами, розв'язання якого забезпечить ефективність післядрукарської обробки видань за рахунок вищої продуктивності автоматичних потокових ліній та якості обрізування, а також створить передумови для формування рекомендацій щодо проектування нових різальних секцій потокових ліній.

Виконано аналіз сучасних технологій і машин для обрізування книжкових блоків та наукових праць в галузі різання паперу, що обумовило доцільність удосконалення технологічного процесу безвистійного обрізування книжкових блоків із застосуванням ексцентричних дискових ножів. Досліджено закономірності і особливості кінематики процесу різання книжкових блоків з врахуванням впливу параметрів процесу на зміни дійсних швидкостей і кутів різання, встановлено траєкторію і особливості контакту леза ексцентричного ножа при різанні книжкових блоків. Визначено вплив параметрів процесу обробки (напрямку обертання, частоти обертання, діаметру ножа, швидкості подачі книжкового блоку, кута загострення леза тощо) на зменшення дійсного кута різання, величина якого впливає на значення зусиль різання.

Запроектовано та виготовлено оригінальний лабораторний стенд, який дозволив провести експериментальні дослідження безвистійного способу обрізування книжкових блоків та здійснити аналіз впливу технологічних параметрів різання ексцентриковим дисковим ножом на силові і якісні показники процесу обробки блоків. Встановлено практичну можливість застосування ексцентричних дискових ножів для потокового обрізування книжкових блоків з трьох сторін, що забезпечує зменшення сили різання приблизно у два рази при високій якості поверхні зрізу. Виявлено закономірності ексцентричного різання та підтверджено позитивний вплив переривчастого характеру різання на ефективність процесу обробки блоку за рахунок зменшення дійсного кута різання, імпульсної дії леза ножа на папір та економних умов руху леза у порівнянні з традиційним ножом.

Ключові слова: безвистійне обрізування, ексцентричний дисковий ніж, книжковий блок, швидкість різання, кут різання, якість зрізу, кінематика процесу, швидкість подачі блоку, напрям обертання ножа, потокова лінія.

АННОТАЦИЯ

Яницки Пьотр, Станислав. Совершенствование безвыстойной обрезки книжных блоков эксцентричными дисковыми ножами. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.01 – машины и процессы полиграфического производства (18 – производство и технологии), Украинская академия печати Министерства образования и науки Украины, г. Львов, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи совершенствования технологического процесса безвыстойной обрезки книжных блоков на основании разработки и применения нового способа трехсторонней обрезки блоков эксцентричными дисковыми ножами, решение которой обеспечит эффективность послепечатной обработки изданий за счет более высокой производительности автоматических потоковых линий и качества обрезки, а также создаст предпосылки для формирования рекомендаций по проектированию новых режущих секций поточных линий.

Выполнен анализ современных технологий и машин для обрезки книжных блоков и научных работ в области резки бумаги, что обусловило целесообразность совершенствования технологического процесса безвыстойной обрезки книжных блоков с применением эксцентричных дисковых ножей. Исследованы закономерности и особенности кинематики процесса резки книжных блоков с учетом влияния параметров процесса на изменения действительных скоростей и углов резания, определена траектория и особенности контакта лезвия эксцентричного ножа при обрезке книжных блоков. Определено влияние параметров процесса обработки (направления и частоты вращения ножа, диаметра ножа, скорости подачи блока, угла заточки лезвия и т.п.) на уменьшение угла резания, величина которого влияет на значение усилий процесса резки.

Спроектирован и изготовлен оригинальный лабораторный стенд, который позволил провести экспериментальные исследования безвыстойного способа обрезки книжных блоков и осуществить анализ влияния технологических параметров резки эксцентриковым дисковым ножом на силовые и качественные показатели процесса обработки блоков. Установлена практическая возможность применения эксцентричных дисковых ножей для потоковой обрезки книжных блоков с трех сторон, что обеспечивает уменьшение силы резания примерно в два раза при высоком качестве поверхности среза. Выявлены закономерности эксцентричной резки и подтверждено положительное влияние прерывистого характера резки на эффективность процесса обработки блока за счет уменьшения действительного угла резания, импульсного действия лезвия ножа на бумагу и щадящих условий движения лезвия по сравнению с традиционным ножом.

Ключевые слова: безвыстойная обрезка, эксцентричный дисковый нож, книжный блок, скорость резки, угол резания, качество среза, кинематика процесса, скорость подачи блока, направление вращения ножа, поточная линия.

ANNOTATION

Janicki Piotr, Stanislaw. Improvement of stopless book-edge trimming with eccentric disk knives. - Qualification scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.05.01 - Machines and processes of printing production (18 - production and technology), Ukrainian Academy of Printing of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to solving of the relevant scientific and applied problem of improving the technological process of non-stop book-edge trimming. The solution is based on the development and using of a new method of three-way trimming of book edges with eccentric disk knives. It will ensure the effectiveness of post-print processing of books due to higher performance of automatic flow lines and higher quality of trimming. This will create prerequisites to prepare recommendations for the design of new cutting sections of flow lines.

An analysis of modern technologies and machines for book-edge trimming and scientific publications in the field of paper cutting was carried out. It led to the expediency of improving the technological process of non-stop book-edge trimming using eccentric disk knives. Laws and peculiarities of book-edge cutting process kinematics are investigated taking into account influence of the process parameters on changes of actual speeds and cutting angles, trajectory and peculiarities of contact of blade of eccentric knife, are established when cutting book-edges.

The research have shown that depending on the values of eccentricity, angular velocity, the book block feed rate and normal speed, cutting can occur in two different modes: intermittent (impulse) cutting when the knife blade at a certain stage of rotation of the knife comes from contact with the book block, and continuous (permanent) cutting, when the knife blade is constantly in contact with the book block during the cycle of full rotation of the knife. The results of computer simulation showed the possibility of existence of characteristic sectors of cutting in the blade of eccentric disk knife: the sector that cuts the block to a complete thickness; partially cutting sectors (when cutting blocks in incomplete height) and sector, which does not participate in the cutting process. The size and position of these characteristic sectors of cutting on the knife blade depend on the geometric and kinematic parameters of the cutting process. Investigation of the path that a point of the eccentric disk knife blade passes during the cutting of the book block showed that the cutting length (cut tracks) in the intermittent mode is shorter than the length of the cutting in continuous mode, and significantly depends on the value of the eccentricity.

The developed mathematical models allow to determine the geometric and kinematic cutting parameters, which enable pulse cutting, as well as to calculate the size and position of the characteristic sectors on the blade of the disk knife. For calculations and geometric simulation, utilities was written on MathCAD and AutoLISP. In the future, the experimental verification confirmed the correctness of the calculations.

The influence of the cutting process parameters (blade rotation direction and speed, knife diameter, block feed rate, blade sharpening angle, etc.) on the reduction of the actual

cutting angle, the value of which affects the value of the cutting process forces, is determined.

The original test stand was designed and manufactured, which made it possible to carry out experimental studies of a stopless method of book-edge trimming and analyze the impact of technological parameters of cutting with an eccentric disk knife on the force and quality of the books processing. Experiments have fully confirmed the hypothesis of a possible occurrence of impulse processing mode in the expected range of selected cutting parameters. Practical possibility to use eccentric disk knives for non-stop book-edge trimming from three sides has been proven. It reduces the cutting force by about one half with high cut surface quality. The eccentric cutting features were revealed, and the positive effect of the intermittent cutting on the efficiency of the processing of book blocks was confirmed due to reducing of the actual cutting angle, the impulse effect of the knife blade on paper and the sparing conditions of the blade movement, compared to the traditional knife. As a result of comparative tests on wearing of blades of eccentric and traditional disk knives, it has been found that the change of wear of blades in the process of knives blunting are similar. A slightly less wear of an eccentric knife blade than the traditional one, is detected. It indicates the lighter work conditions of the eccentric knife blade compared to the traditional disk knife. The conducted studies have shown that high quality trimming of book blocks, without any trail of burning of cut surface, can be reached with anti-synchronous cutting of block-edges up to 15 mm height, when choosing a rotational speed of a knife within $N = 1500 \div 1800$ rpm and the eccentricity value within $e = 0,5 \div 1$ mm. The cutting force is reduced by 1.7-2.2 times compared to traditional paper cutting. Based on conducted experimental studies of trimming blocks from different types of paper, it has been established that block feed force is smaller by anti-synchronous cutting than by synchronous cutting.

Keywords: non-stop cutting, eccentric disk knife, book-edge trimming, cutting speed, cutting angle, cut quality, process kinematics, block feed speed, knife rotation direction, flow line.

**Підписано до друку 09.04.2021 р.
Формат 60х90/16. Папір офсетний
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 1.40.
Наклад 100 прим. Зам № 326.**

**Друк СПДФО Марусич М.М.
Свідоцтво №1252 від 30.12.1996
м. Львів, пл. Осмомисла, 5/11
тел./факс: (032) 261-51-31
e-mail: interprint-m@ukr.net**