

Олег Богданович Книш¹, Юрій Юрійович Білозор²

¹доктор технічних наук, професор, професор кафедри
комп'ютеризованих комплексів поліграфічних та пакувальних виробництв

Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: Oleh.B.Knysh@lpnu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5854-1879>. Scopus Author ID: 57209411556

²аспірант кафедри комп'ютеризованих комплексів поліграфічних та пакувальних виробництв

Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: yurijbilozor05@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8660-499X>

ПАРАМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ОБРОБКИ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ ЦИЛІНДРИЧНОЮ ФРЕЗОЮ З ПАСИВНИМ ПРИВОДОМ У МАШИНАХ НЕЗШИВНОГО СКРІПЛЕННЯ

Важливим етапом технологічного процесу виготовлення книжкової продукції, скріпленої незшивним клейовим способом, є підготовка корінців до нанесення клею. Одним із напрямків удосконалення обробки корінців книжкових блоків є застосування циліндричної фрези із пасивним приводом та додатковим осьовим переміщенням. У статті отримали подальший розвиток напрацювання авторів, що присвячені параметричним дослідженням кінематики обробки книжкових блоків циліндричною фрезою. Розроблено методику розрахунку швидкості різання та кінематичних кутів різання. Для досліджень використано три закони періодичного руху кулачкового механізму. Встановлено визначальний вплив на кінематичні параметри обробки книжкових блоків циліндричною фрезою закону періодичного руху кулачкового механізму осьового переміщення фрези.

Ключові слова: циліндрична фреза; лезо; різання; книжковий блок; швидкість; кут різання; торцевий кулачок; закон періодичного руху.

Рис.: 6. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Книговидання є одним із пріоритетів інформаційної безпеки України. Про це свідчить і сумна статистика злочинів російського агресора зі знищення друкарень та видавництв в Україні, навчальної та художньої літератури на тимчасово окупованих територіях. Завдання фахівців видавничо-поліграфічного комплексу – збереження, розвиток та удосконалення потенціалу книговидання в Україні.

Одним із таких напрямків є удосконалення технології виготовлення книжково-журнальної продукції, скріпленої незшивним клейовим способом (НКС). Це дозволить забезпечити необхідну її якість при зменшенні собівартості. Особливо актуально це при виготовленні навчальної літератури, номенклатура якої змінюється з кожним роком у зв'язку з розробленням і впровадженням у навчальний процес нових освітніх програм.

Постановка проблеми. Важливим етапом технологічного процесу виготовлення книжково-журнальної продукції незшивним клейовим способом є операція скріплення клеєм. Саме вона значною мірою визначатиме надалі експлуатаційні показники видання – міцність, довговічність, здатність до розкриття. Рівень перелічених показників визначається двома факторами [1; 2]: клеєм та якістю підготовки корінця книжкового блока до нанесення клею. У цій статті розглядається питання удосконалення механічної обробки корінця циліндричною фрезою з пасивним приводом. Існуюча технологія передбачає багатоступеневу обробку корінця кількома (до 4-5) послідовно розміщеними інструментами. Їхня сумарна потужність сягає 5-7 кВт, а габарити (довжина секції) – до двох метрів. Серед інших недоліків – значний шум при роботі інструментів та інтенсивне виділення паперового пилу.

Для вирішення такої проблеми пропонується застосування інструменту для обробки корінців – циліндричної фрези з пасивним приводом завдяки фрикційному контакту із книжковим блоком. Для мінімізації технологічних зусиль та створення кращих передумов клейового скріплення передбачено додаткове осьове переміщення фрези завдяки кулачковому механізму.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У статті досліджується кінематика різання книжкових блоків лезами циліндричної фрези. Наявна у відкритому доступі література засвідчує про широке коло досліджень теорії різання різноманітних матеріалів. Так, у роботі [3] досліджено характер зміни кута загострення леза бітерно-ножового різального апарату при різанні стеблової маси. Автори дослідили вплив технологічних параметрів на коефіцієнти ковзання, кінематичної трансформації кута загострення ножа.

У праці [4] досліджено механіку дискового різального інструмента з метою визначення сил, що діють на нього, як функції параметрів, які характеризують його рух. Особливістю процесу є те, що дисковий інструмент обертається ексцентрично з постійною кутовою швидкістю навколо вторинної осі. Авторами отримано важливі результати й моделі поведінки та силового навантаження дискового інструмента в процесі різання твердих порід.

Автори [5; 6] досліджують трансформацію кінематичних кутів різання книжкових блоків ексцентрично закріпленим дисковим ножом. Встановлено, що залежно від технологічних параметрів можливе безперервне різання з постійним контактом різальної крайки з матеріалом та дискретне різання з імпульсною дією ножа на книжковий блок. За результатами досліджень автори запропонували рішення, які унеможливають негативний вплив ексцентричного кріплення дискового ножа на динаміку пристрою та цілої машини загалом.

У патенті на винахід [7] запропоновано пристрій для різання книжкових блоків. Він передбачає застосування дискових різальних інструментів, синхронізованих із транспортером, так що різальний інструмент зрізує верхній та/або нижній край продукції. Недоліком такого пристрою є обмеження щодо застосування у машинах незшивного скріплення, де передбачена обробка книжкових блоків лише з одного краю, як правило, нижнього.

У публікаціях [8-10] досліджено кінематику різання книжкових блоків дисковими ножами. Так, у роботі [8] виведено залежності для складових швидкості різання та встановлено їхній вплив на трансформацію кута загострення ножа. Визначено вплив напрямку руху (зустрічний чи попутний) ножа відносно книжкового блока на кути різання. Досліджено вплив геометричних розмірів інструменту та технологічних параметрів процесу на зміну кута різання. Розроблено рекомендації щодо мінімізації кутів різання при обробці книжкових блоків. У роботі [9] досліджено кінематику різання дисковими ножами з двостороннім планетарним приводом. Визначено умови різання, досліджено зміну кінематичних кутів різання. У статті [10] наведено методику та результати параметричних досліджень різання книжкових блоків дисковими ножами з одностороннім планетарним приводом. Встановлено кількісні та якісні характеристики «ковзаючого» різання книжкових блоків. Виявлено домінуючий вплив на значення коефіцієнта ковзання дотичної складової швидкості різання. Виведено залежності та проаналізовано характер зміни коефіцієнта трансформації кута загострення дискового ножа.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Обробка корінців книжкових блоків циліндричною фрезою розглянута науковцями у роботах [11-13]. У роботі [11] досліджено інерційні навантаження фрези при різних законах періодичного руху (ЗПР) кулачкового механізму її осьового переміщення. У [12] наведено результати експериментальних досліджень обробки книжкових блоків циліндричною фрезою із пасивним приводом без осьового переміщення. Кінематичні параметри руху циліндричної фрези та віртуальну симуляцію роботи пристрою з урахуванням її обертового та осьового переміщення досліджено у роботі [13]. За результатами аналітичних досліджень та віртуального експерименту встановлено їхню абсолютну ідентичність.

Проте недослідженим залишається питання кінематики різання корінців книжкових блоків лезами циліндричної фрези з пасивним приводом з урахуванням її осьового переміщення завдяки застосуванню нерухомого торцевого кулачка.

Мета статті – дослідити кількісні та якісні характеристики швидкості різання та кінематичних кутів різання при обробці корінців книжкових блоків циліндричною фрезою з пасивним приводом та додатковим осьовим переміщенням у машинах незшивного скріплення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Важливим, крім того, є питання аналізу кінематичних параметрів обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою з пасивним приводом та додатковим осьовим переміщенням. Він передбачає визначення швидкості різання, кінематичних кутів різання.

Розрахункова схема до визначення швидкості різання лезами циліндричної фрези у проєкційному зв'язку зображена на рис. 1. Тут прийнято наступні позначення: *КБ* – книжковий блок; *Л₁*, *Л₂*, *Л₃* – поточні положення леза циліндричної фрези відповідно у момент врізання, крайньому нижньому та при виході із книжкового блока; *R* – зовнішній радіус циліндричної фрези; *h* – глибина насічок; *V_Б* = const – швидкість переміщення книжкових блоків; *V_{Фн}* – нормальна складова швидкості фрези; *V_{Фτ}* – колова швидкість фрези; *V_{Фос}* – осьова складова швидкості фрези; *V_р* – швидкість різання; *φ* – кут повороту фрези.

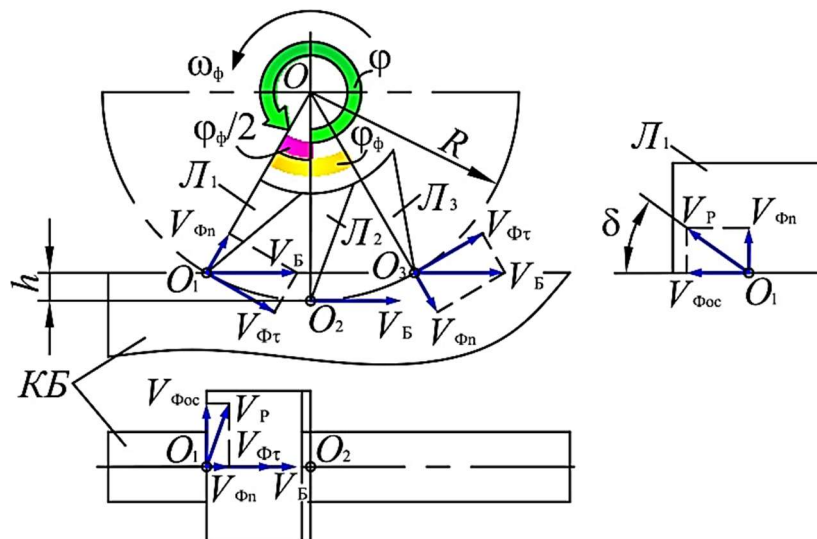


Рис. 1. Схема до визначення швидкості різання

Джерело: розроблено авторами.

Складові швидкості фрези визначаємо за залежностями:

$$V_{Фн} = V_{Б} \cdot \sin \varphi; V_{Фτ} = V_{Б} \cdot \cos \varphi. \quad (1)$$

Оскільки обертання фрези здійснюється завдяки її прокочуванню по корінцю книжкового блока *КБ*, а не примусовому електромеханічному приводу, прикладеному до т. *O*, то колова швидкість фрези буде змінною і залежатиме від глибини *h* насічок.

Поточні значення осьової *V_{Фос}* швидкості фрези у кулачковому механізмі визначаємо за відомою методикою [14] у модульній системі [*m*, *S*, *T*]:

$$V_{Фос} = b_k \cdot \frac{S}{T}, \quad (2)$$

де *b_k* – інваріант швидкості, що визначається законом періодичного руху кулачка [14];

S – модуль осьового переміщення фрези;

T = $\varphi_{в}/\omega = \varphi_{в} \cdot R/V_{Б}$ – час осьового переміщення фрези (період віддалення).

Швидкість різання визначаємо як векторну суму швидкості блока та осьової швидкості фрези [10]. У нашому випадку проєктуємо швидкість блока у площину різання і знаходимо швидкість різання (рис. 1):

$$V_p = \sqrt{V_{\Phi n}^2 + V_{\Phi oc}^2} = \sqrt{(V_B \cdot \sin \varphi)^2 + \left(b_k \cdot \frac{S}{T}\right)^2}. \quad (3)$$

Розрахунок швидкостей проводимо для початкових даних з урахуванням попередньо проведених аналітичних та експериментальних досліджень [12]: швидкість переміщення книжкових блоків $V_B = 0,5$ м/с; осьове переміщення фрези $S = 20$ мм; радіус фрези $R = 25$ мм; глибина насічок $h = 0,9$ мм; ЗПР «Косинусойда»; фазові кути віддалення $\varphi_b = 180^\circ$ та наближення $\varphi_n = 180^\circ$; кут між лезами $\varphi_\phi = 30^\circ$ (кількість лез $z = 12$). За початок координат прийнято т. O_2 – крайнє нижнє положення леза відносно корінця книжкового блока.

На рис. 2, а зображено графіки залежності швидкостей від кута φ повороту фрези для її повного оберту, що показує характер їхньої зміни для кожного із 12 лез. На рис. 2, б зображено характер зміни швидкостей для одного леза при куті $\varphi_\phi = 15^\circ$ – 45° .

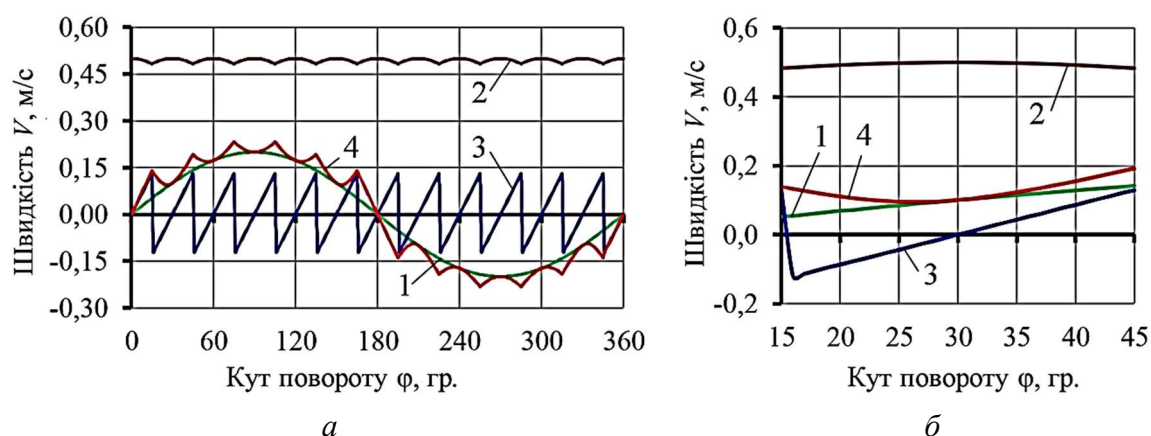


Рис. 2. Графіки залежності швидкості від кута повороту фрези для її повного оберту (а), для одного леза (б):

1 – осьової $V_{\Phi oc}$ швидкості фрези, 2 – колової $V_{\Phi t}$ швидкості фрези, 3 – нормальної складової $V_{\Phi n}$ швидкості фрези, 4 – швидкості V_p різання

Джерело: розроблено авторами.

Як бачимо із графіків на рис. 2, а, характер зміни кожної з досліджуваних швидкостей значно різниться. Очевидно, що осьова складова $V_{\Phi oc}$ (крива 1) залежить від закону періодичного руху, а характер її зміни є відомим [14]. Щодо зміни колової $V_{\Phi t}$ швидкості фрези (крива 2), то її абсолютне значення змінюється мінімально. У нашому випадку $V_{\Phi tmax} = 0,5$ м/с у крайньому нижньому положенні фрези, а мінімальне значення $V_{\Phi tmin} = 0,483$ м/с у момент врізання леза у книжковий блок та при завершенні різання при значеннях кута повороту фрези із кроком $\Delta\varphi = 30^\circ$ (як приклад, на рис. 2, б при $\varphi = 15^\circ$ та $\varphi = 45^\circ$ відповідно). Різниця між максимальним та мінімальним значенням становить $\Delta V_\phi = 0,017$ м/с або 3,4 %. Очевидно, що при зменшенні глибини насічок різниця між максимальною та мінімальною коловими швидкостями ще зменшиться.

Нормальна складова швидкості фрези (крива 3) має циклічний характер зміни, що характеризується стрімким зростанням (спаданням) з нуля до максимуму (мінімуму) в діапазоні $V_{\Phi n} = \pm 0,129$ м/с. Пікові значення спостерігаються при врізанні леза у корінець книжкового блока при $\varphi = 15^\circ$ та при завершенні різання при $\varphi = 45^\circ$ (рис. 2, б). У крайньому нижньому положенні леза (т. O_2 рис. 1) нормальна складова швидкості фрези рівна $V_{\Phi n} = 0$. Логічно, що саме в цьому положенні максимальною є колова швидкість фрези.

Графік залежності швидкості різання зображено на рис. 2 (крива 4). Як бачимо з рис. 2, а, швидкість різання змінюється циклічно. У крайніх осьових положеннях фрези при $\varphi = 0^\circ$ (360°) та $\varphi = 180^\circ$ її значення рівне $V_p = 0$. Це логічно, оскільки у цих положеннях і осьова швидкість, і нормальна складова швидкості фрези рівні нулю. Слід зазначити, що на фазі віддалення кулачкового механізму при $\varphi_b = 0-180^\circ$ загальний характер зміни швидкості різання нагадує криву осьової швидкості фрези, на яку накладені коливання, спричинені зміною нормальної складової швидкості кожного леза фрези. На фазі наближення кулачкового механізму при $\varphi_n = 180-360^\circ$ характер зміни швидкості різання симетричний фазі віддалення. При цьому напрямок вектора швидкості різання змінюється на протилежний, а модуль – аналогічний фазі віддалення, що пояснюється залежністю (3).

Проведено дослідження зміни швидкості різання для трьох ЗПР, найбільш уживаних у поліграфічному машинобудуванні: «Косинусоїда», «Синусоїда», «Поліном 5-го ст. $\alpha=-5, \delta=-0,23$ » [14]. Відповідні графічні залежності зображено на рис. 3. Як бачимо із графіків, характер зміни швидкості різання для досліджуваних ЗПР є ідентичним. Щодо кількісних показників, то швидкість різання зростає з нуля у крайніх положеннях фрези до максимуму на половині циклів віддалення (наближення). Так, максимальне значення швидкості різання спостерігається для ЗПР «Синусоїда» і становить $V_{pmax} = 0,27$ м/с. Для ЗПР «Косинусоїда» $V_{pmax} = 0,232$ м/с, а для ЗПР «Поліном 5-го ст. $\alpha=-5, \delta=-0,23$ » – $V_{pmax} = 0,243$ м/с. Це пояснюється характеристиками даних ЗПР, для яких у випадку «Синусоїди» константа піка швидкості є максимальною і становить $B = 2,0$, а для інших двох ЗПР («Косинусоїда», «Поліном 5-го ст. $\alpha=-5, \delta=-0,23$ ») $B=1,57$ та $B=1,68$ відповідно [14].

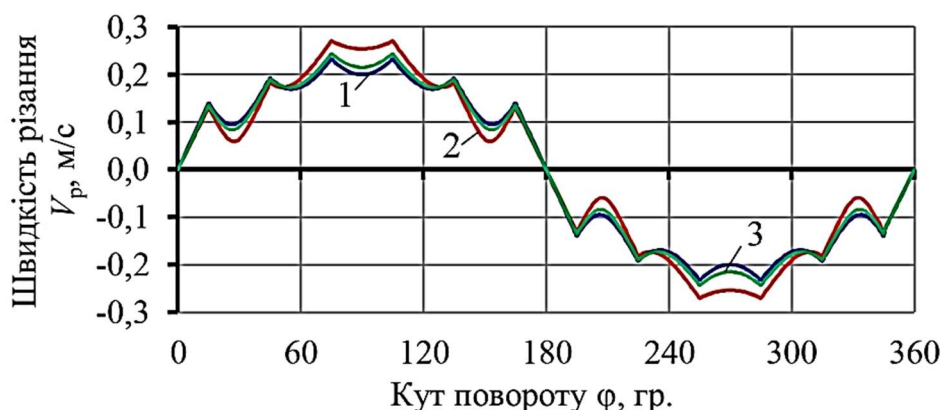


Рис. 3. Графіки залежності швидкості різання від кута повороту фрези для: ЗПР «Косинусоїда» (1), ЗПР «Синусоїда» (2), ЗПР «Поліном 5-го ст. $\alpha=-5, \delta=-0,23$ »
Джерело: розроблено авторами.

Важливим параметром при дослідженні кінематики різання книжкових блоків є кінематичний кут $\alpha_{кр}$ різання. Він утворюється січною площиною OAB , перпендикулярною до площини різання (рис. 4). Положення січної площини визначається напрямком вектора швидкості V_p різання.

Кінематичний кут різання плоским ножом (у нашому випадку лезом циліндричної фрези) визначається залежністю [15]:

$$\alpha_{кр} = \arctg(\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \sin \delta) \quad (4)$$

де α_3 – кут загострення ножа,

δ – кут, що визначає положення вектора швидкості різання V_p .

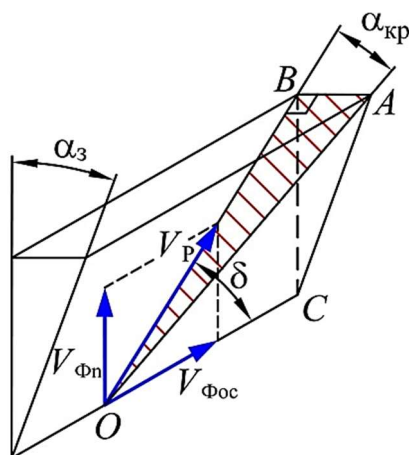


Рис. 4. Схема до розрахунку кінематичного кута різання

Джерело: розроблено авторами.

Кут δ знаходимо із геометричної залежності (рис. 4):

$$\delta = \arctg \frac{V_{\Phi n}}{V_{\Phi oc}} \quad (5)$$

Після підстановки (1) і (2) у формулу (5) та (5) у (4) отримаємо кінцеву залежність для визначення кінематичного кута різання книжкових блоків лезом циліндричної фрези:

$$\alpha_{kp} = \arctg \left(\tg \alpha_3 \cdot \sin \left(\arctg \frac{V_B \cdot \sin \varphi}{b_k \frac{S}{T}} \right) \right) \quad (6)$$

На рис. 5, а зображено результати досліджень зміни кінематичного кута різання для повного оберту фрези для всіх її 12 лез, а на рис. 5, б – для одного леза при куті повороту фрези $\varphi = 15^\circ - 45^\circ$.

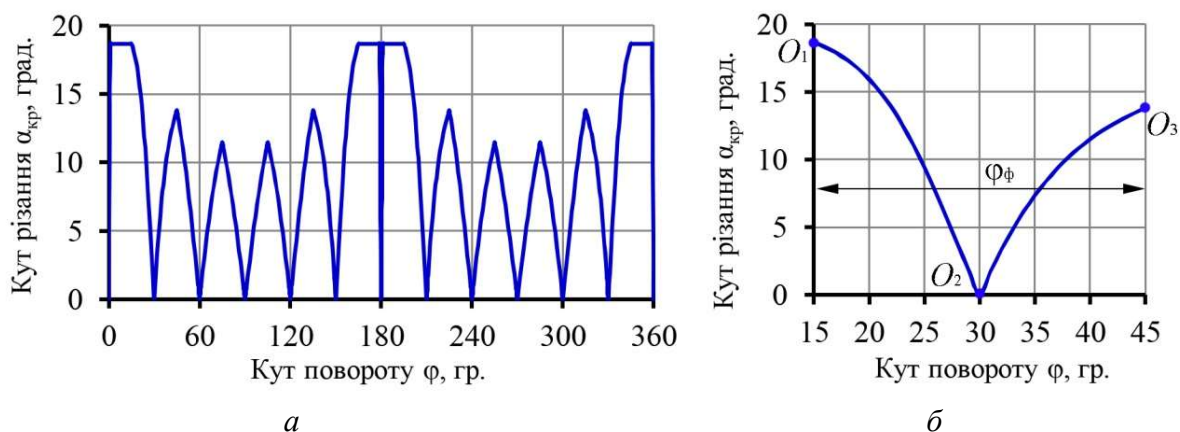


Рис. 5. Графіки залежності кінематичного кута різання від кута повороту фрези: для повного оберту фрези (а), для одного леза фрези (б)

Джерело: розроблено авторами.

Як видно із графіків, кінематичний кут різання кожним лезом із максимуму при врізанні (т. O_1) у книжковий блок спадає до нуля посередині (т. O_2) циклу різання і далі знову сягає максимального значення при виході (т. O_3) леза із книжкового блока. Такий харак-

тер зміни кінематичного кута різання пояснюється наявністю нормальної складової швидкості $V_{\text{Фн}}$ фрези на початку входження (т. O_1 , рис. 1) леза у книжковий блок, при виході (т. O_3 , рис. 1) із книжкового блока та $V_{\text{Фн}} = 0$ у нижньому положенні леза (т. O_2 , рис. 1), коли різання відсутнє.

На рис. 6 зображено графік залежності максимальних кінематичних кутів різання для кожного із 12 лез від кута повороту фрези для 3-х ЗПР: «Косинусоїда» (1), «Синусоїда» (2), «Поліном 5-го ст. $\alpha = -5, \delta = -0,23$ ». Для згаданих ЗПР розрахунок осьової швидкості фрези проведено за залежністю (2), при цьому інваріанти b_k для кожного із ЗПР розраховані за методикою [14].

Характер залежності кінематичного кута різання для кожного із ЗПР подібний. Як бачимо із рис. 6, при фазових кутах $\varphi = 0^\circ\text{--}30^\circ$ та $\varphi = 330^\circ\text{--}360^\circ$ кінематичний кут різання залишається незмінним. Очевидно це пояснюється тим, що при відповідних кутах різниця між осьовою швидкістю фрези $V_{\text{Фос}}$ та нормальною складовою $V_{\text{Фн}}$ є незначною і мало впливає на кут δ напрямку вектора швидкості різання. При збільшенні фазового кута віддалення кулачкового механізму понад $\varphi_{\text{в}} > 30^\circ$ спостерігається стрімке зменшення кінематичного кута різання. Це пояснюється зростанням осьової швидкості ножа (крива 1, рис. 2, а) і її домінуючим впливом на величину швидкості різання. При $\varphi_{\text{в}} > 150^\circ$, коли осьова швидкість фрези знову зменшується до нуля, спостерігається зростання кута різання. При фазовому куті наближення $\varphi_{\text{н}} = 180^\circ\text{--}360^\circ$ характер зміни кута різання аналогічний ділянці віддалення.

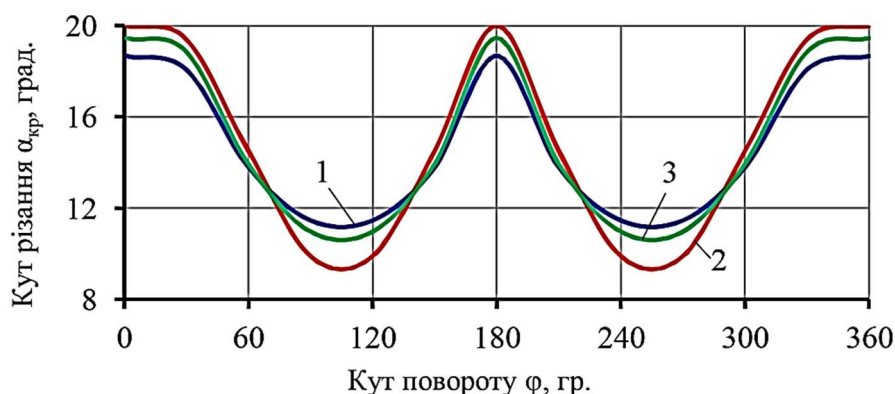


Рис. 6. Графіки залежності максимального кінематичного кута різання від кута повороту фрези для: ЗПР «Косинусоїда» (1), ЗПР «Синусоїда» (2), ЗПР «Поліном 5-го ст. $\alpha = -5, \delta = -0,23$ »

Джерело: розроблено авторами.

Аналіз впливу ЗПР на максимальні значення кутів різання засвідчує наступне. Лише для одного із розглянутих ЗПР («Синусоїда», крива 2) кут $\alpha_{\text{кр}}$ різання сягає величини кута загострення $\alpha_{\text{крmax}} = \alpha_3 = 20^\circ$. Для ЗПР «Поліном 5-го ст. $\alpha = -5, \delta = -0,23$ » $\alpha_{\text{крmax}} = 19,5^\circ$, а для ЗПР «Косинусоїда» — $\alpha_{\text{крmax}} = 18,7^\circ$. При цьому для ЗПР «Синусоїда» найменше із максимальних значень кута різання становить $\alpha_{\text{крmin}} = 9,9^\circ$, а для ЗПР «Косинусоїда» — $\alpha_{\text{крmin}} = 11,5^\circ$.

З огляду на кількісні показники зміни кутів різання та їхню мінімізацію очевидно слід рекомендувати ЗПР «Поліном 5-го ст. $\alpha = -5, \delta = -0,23$ » для кулачкового механізму осьового переміщення циліндричної фрези, для якого $\alpha_{\text{крmax}} = 19,5^\circ$, а $\alpha_{\text{крmin}} = 11,1^\circ$.

Висновки. Проведено аналіз наукових праць з кінематики різання книжкових блоків та у галузевому машинобудуванні. Встановлено, що недослідженим є питання кінематики обробки корінців книжкових блоків лезами циліндричної фрези. З огляду на це завдання окреслено мету статті.

Розроблено методику досліджень кінематичних параметрів обробки книжкових блоків циліндричною фрезою – швидкості різання та кінематичних кутів різання. Визначено характер зміни та кількісні показники швидкості різання. Встановлено, що характер зміни швидкості різання визначається ЗПР кулачкового механізму осьового переміщення фрези з накладанням коливань нормальної складової швидкості фрези. Аналіз кількісних показників зміни швидкості різання показав, що максимальне значення швидкості різання спостерігається для ЗПР «Синусоїда» і становить $V_{\text{рmax}} = 0,27$ м/с. Відповідно для ЗПР «Косинусоїда» $V_{\text{рmax}} = 0,232$ м/с, а для ЗПР ««Поліном 5-го ст. $\alpha = -5, \delta = -0,23$ » – $V_{\text{рmax}} = 0,243$ м/с. Результати дослідження швидкості різання засвідчують, що визначальний вплив на неї має швидкість осьового переміщення фрези.

Досліджено кінематичні кути різання. Встановлено, що як і у випадку швидкості різання, визначальний вплив на їхню зміну має ЗПР кулачкового механізму осьового переміщення фрези. Щодо числових значень, то лише для ЗПР «Синусоїда» кут різання сягає величини кута загострення і становить 20° .

За результатами параметричних досліджень кінематики обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою рекомендовано ЗПР «Поліном 5-го ст. $\alpha = -5, \delta = -0,23$ » для кулачкового механізму осьового переміщення циліндричної фрези, при якому різниця між максимальним і мінімальним значеннями кінематичного кута різання становить $8,4^\circ$, що є найменшим значенням для досліджуваних ЗПР. Це сприятиме мінімальному впливу коливань технологічних навантажень на привод машини незшивного скріплення.

Список використаних джерел

1. Preprotić, S., Lajić, B., & Jurečić, D. (2011). Perfect binding technique affects the paperback adhesive binding strength. *Paper presented at the 15th International Conference of Printing and Graphic Communications Blaž Baromić 2011 proceedings*. Senj, Croatia, 21–24 September 2011, 428-436.
2. Havenko, S., Pikh, I., Kulik, L., Konyukhova, I., Rybka, R., & Vorzheva, O. (2019). Research of the backing technology of the book block spine. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 11, 27-35.
3. Середа, Л. П., Кузьменко, В. Ф., & Холодюк, О. В. (2012). Вплив трансформації кута загострення леза у процесі різання. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*, 11 т. 1 (65), 299-306. <https://repository.vsau.org/getfile.php/6530.pdf>.
4. Dehkhoda, S., Detournay, E. (2017). Mechanics of Actuated Disc Cutting. *Rock Mech Rock*, 50, 465-483.
5. Janicki, P., & Petriaszwili, G. (2017). Transformacja kinematycznego kąta zaostrenia ostrza noża w procesach rozkroju tektury i papieru nożami krążkowym. *Opakowanie*, 9, 79-81. DOI: 10.15199/54.2017.7.1.
6. Petriaszwili, G., Janicki, P., & Komarov, S. (2020). Investigations on book cutting by circular knife with eccentric blade movement. In *10th international symposium on graphic engineering and design*. University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design. <https://doi.org/10.24867/grid-2020-p24>.
7. Device for trimming the top and/or bottom edge of printed products moved through a cutting tool (2014). B26D5/00; B26D1/00; B27B5/00; B27B25/02; B42B2/00; B65H39/00; B65H39/02; B65H41/00. US patent 8752463B2. Marcel Buerge.
8. Книш, О. Б. (2014). Дослідження трансформації кута загострення дискового ножа при обробці корінця книжкового блока перехресним способом. *Технологічні комплекси*, 1, 154-159.
9. Іванко, А. І. (2003). Кінематика процесу обрізування книжкового блока дисковими ножами з планетарним приводом. *Технологія і техніка друкарства*, 2, 78-81.
10. Книш, О. Б. (2021). Дослідження кінематики беззупинного різання книжкових блоків дисковими ножами з планетарним приводом. *Поліграфія і видавнича справа*, 1, 62-71.
11. Книш, О. Б., Регей, І. І., & Бегень, П. І. (2020). Дослідження інерційних навантажень пристрою обробки корінців книжкових блоків у машині незшивного скріплення. *Технологія і техніка друкарства*, 4, 42-52.

12. Knysh, O., Rehei, I., Kandiak, N. & Ternytskyi, S. (2019). Experimental evaluation of the tractive effort of the chain conveyor during book block spine processing by cylindrical milling cutter at perfect binding. *Acta mechanica et automatica*, Vol.13 № 2, 101-106. DOI: 10.2478/ama-2019-0014.

13. Книш, О. Б., Бегень, П. І., Білозор, Ю. Ю., & Білик, О. А. (2025). Дослідження кінематики руху циліндричної фрези при обробці книжкових блоків у машинах незшивного скріплення. *Технічні науки та технології*, 2, 9-19. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-9-19](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-9-19).

14. Полюдов, О. М. (2005). *Механіка поліграфічних і пакувальних машин*. УАД.

15. Топольницький, П. В., Книш, О. Б., Коломієць, А. Б. (2023). *Сучасні технології обрізування книжково-журнальних блоків*. УАД.

References

1. Preprotić, S., Lajić, B., & Jurečić D. (2011). Perfect binding technique affects the paperback adhesive binding strength. *Paper presented at the 15th International Conference of Printing and Graphic Communications Blaž Baromić 2011 proceedings*. Senj, Croatia, 428-436.

2. Havenko S., Pikh I., Kulik L., Konyukhova I., Rybka R., & Vorzheva O. (2019). Research of the backing technology of the book block spine. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 11, 27-35.

3. Sereda L. P., Kuzmenko V. F., & Kholodiuk O. V. (2012). Vplyv transformatsii kuta zahostrennia leza u protsesi rizannia [Influence of the transformation of the knife sharpening angle in the cutting process]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu – Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University*, 11(65), 299-306. <https://repository.vsau.org/getfile.php/6530.pdf>.

4. Dehkhoda S., Detournay E. (2017). Mechanics of Actuated Disc Cutting. *Rock Mech Rock*, 50, 465-483.

5. Janicki P., & Petriaszwili G. (2017). Transformacja kinematycznego kąta zaostrenia ostrza noża w procesach rozkroju tektury i papieru nożami krążkowym [Transformation of the kinematic angle of the knife blade sharpening in the processes of cutting cardboard and paper with circular knives]. *Opakowanie*, 9, 79-81. DOI: 10.15199/54.2017.7.1.

6. Petriaszwili, G., Janicki, P., & Komarov, S (2020). Investigations on book cutting by circular knife with eccentric blade movement. *Paper presented at the 10th International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID 2020*, 229-233. DOI:10.24867/GRID-2020-p24.

7. Device for trimming the top and/or bottom edge of printed products moved through a cutting tool (2014). B26D5/00; B26D1/00; B27B5/00; B27B25/02; B42B2/00; B65H39/00; B65H39/02; B65H41/00. US patent 8752463B2. Marcel Buerge.

8. Knysh O. B. (2014). Doslidzhennia transformatsii kuta zahostrennia diskovoho nozha pry obrobsi korintsia knyzhkovoho bloka perekhresnym sposobom [The transformation research of the angle of the knife blade sharpening of a disk knife during spine processing of a book block by a cross-cutting method]. *Tekhnologichni kompleksi – Technological Complexes*, 1, 154-159.

9. Ivanko A. I. (2003). Kinematyka protsesu obrizuvannia knyzhkovoho bloka diskovymy nozhamy z planetarnym pryvodom [Kinematics of book block cutting by disk knives with planetary gearset in drive]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva – Technology and Technique of Typography*, 2, 78-81.

10. Knysh O. B. (2021). Doslidzhennia kinematyky bezzupynnoho rizannia knyzhkovykh blokiv diskovymy nozhamy z planetarnym pryvodom [The kinematics research of continuous book block cutting by disc knives with planetary gearset in drive]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava – Printing and Publishing*, 1, 62-71.

11. Knysh, O., Rehei, I., & Behen, P. (2020). Doslidzhennia inertiinykh navantazhen prystroiu obrobky korintsiv knyzhkovykh blokiv u mashyni nezshyvnoho skriplennia [Research of inertial loads in the device for book block spine processing in the perfect binding machine]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva – Technology and Technique of Typography*, 4, 42-52.

12. O. Knysh, I. Rehei, N. Kandiak & S. Ternytskyi (2019). Experimental evaluation of the tractive effort of the chain conveyor during book block spine processing by cylindrical milling cutter at perfect binding. *Acta mechanica et automatica*. Vol.13 № 2 P. 101-106. DOI: 10.2478/ama-2019-0014.

13. Knysh O. B., Behen P. I., Bilozor Yu. Yu., & Bilyk O. A. (2025). Doslidzhennia kinematyky rukhu tsylindrychnoi frezy pry obrobsi knyzhkovykh blokiv u mashynakh nezshyvnoho skriplennia [Investigation of the kinematics of cylindrical milling cutter motion in the processing of book blocks in perfect binding machines]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2, 9-19. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-9-19](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-9-19).

14. Poliudov O. M. (2005). *Mekhanika polihrafichnykh i pakuvalnykh mashyn [Mechanics of printing and packaging machines]*. UAD.

15. Topolnytskyi P. V., Knysh O. B., & Kolomiets A. B. (2023). *Suchasni tekhnologii obrizuvannia knyzhkovo-zhurnalnykh blokiv [Modern technologies for trimming book and magazine blocks]*. UAD.

Отримано 27.08.2025

UDC 686.12.056

Oleh Knysh¹, Yuriy Bilozor²

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department
of Computerized Complexes of Printing and Packaging Industries
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: Oleh.B.Knysh@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5854-1879>. **Scopus Author ID:** 57209411556

²Graduate Student of the Department of Computerized Complexes of Printing and Packaging Industries
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: yurijbilozor05@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-8660-499X>

PARAMETRIC RESEARCH OF THE KINEMATICS OF SPINE PROCESSING OF BOOK BLOCKS BY A CYLINDRICAL MILLING CUTTER WITH A PASSIVE DRIVE IN PERFECT BINDING MACHINES

Book block spine processing is a critical stage in the technological process of perfect binding, as it largely determines key performance indicators of the finished publication, including strength, durability, and opening ability. The improvement of spine processing technologies prior to glue application represents an important scientific and practical task, particularly relevant for the production of textbooks and educational literature, where frequent changes in curricula necessitate flexible and efficient manufacturing processes.

One promising approach to enhancing spine processing is the use of a cylindrical milling cutter with a passive drive and additional axial displacement. In this configuration, the milling cutter receives rotational motion through rolling contact with the moving book block, while axial displacement is provided by a fixed end cam and a roller mechanism.

To evaluate the effectiveness of this technological solution, parametric research of the kinematics of the cutting process were conducted. The analysis demonstrated that existing studies on disk instruments and flat knives cannot be fully applied to cylindrical milling cutters, as their cutting kinematics differ significantly.

The methodology for calculating cutting speed and kinematic cutting angles was developed. The research considered three laws of periodic motion for the milling cutter's axial displacement: "sine wave", "cosine wave", and a "5th-degree polynomial ($\alpha = -5$, $\delta = -0.23$)". The results established that the law of periodic motion of the cam mechanism exerts a decisive influence on the kinematic parameters of spine processing. Based on the findings, the "5th-degree polynomial ($\alpha = -5$, $\delta = -0.23$)" was recommended as the most effective for ensuring stable cutting kinematics and high-quality spine processing.

Keywords: cylindrical milling cutter; spine processing; passive drive; book block; cutting speed; cutting angle; end cam; law of periodic motion.

Fig.: 6. References: 15.