

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

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)

УДК 686.12.056

**Олег Богданович Книш¹, Петро Ігорович Бегень²,
Юрій Юрійович Білосор³, Олег Андрійович Білик⁴**

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

²кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютеризованих комплексів поліграфічних та пакувальних виробництв
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: Petro.I.Behen@lpnu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1999-2479>

³аспірант 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>

⁴аспірант кафедри комп'ютеризованих комплексів поліграфічних та пакувальних виробництв
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: olehbilyk13@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3123-5185>

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ РУХУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФРЕЗИ ПРИ ОБРОБЦІ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ У МАШИНАХ НЕЗШИВНОГО СКРІПЛЕННЯ

Скріплення книжково-журнальної продукції клеєм на машинах незшивного скріплення передбачає виконання відповідних операцій. Чільне місце серед них посідає підготовка корінців книжкових блоків до нанесення клею. Для покращення міцності та довговічності незшивного клейового скріплення, зменшення потужності привода секції обробки корінців книжкових блоків пропонується циліндрична фреза з пасивним приводом. Її обертовий рух забезпечується прокочуванням фрези по рухомому книжковому блоку, а осьове переміщення – кулачковим механізмом із нерухомим торцевим кулачком. Досліджено кінематичні параметри руху циліндричної фрези. Проведено віртуальну симуляцію роботи пристрою з урахуванням обертового та осьового переміщення фрези. Результати порівняльного аналізу аналітичних досліджень та віртуального експерименту засвідчили їхню абсолютну ідентичність.

Ключові слова: книжковий блок; незшивне клейове скріплення; закон періодичного руху; торцевий кулачок; швидкість; прискорення; привод; система автоматизованого проєктування.

Рис.: 6. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження. Широке застосування незшивного клейового скріплення (НКС) при виготовленні книжково-журнальної продукції зумовлене низкою технологічних та економічних переваг цього методу, серед яких: висока продуктивність машин незшивного скріплення, можливість їхнього агрегування у виробничі поточкові лінії, скорочення виробничого циклу, невелика собівартість, універсальність застосування. Проте питання підвищення експлуатаційних характеристик книг, скріплених клеєм, таких як міцність, довговічність, зручність читання, станом на сьогодні залишає поле для вдосконалень та творчого наукового пошуку.

Постановка проблеми. Як засвідчують експлуатаційні випробування міцності та довговічності незшивного клейового скріплення, ці параметри, які характеризують його якість, значною мірою залежать від дотримання технологічних вимог до НКС. Серед цих вимог ключову роль відіграє підготовка корінців книжкових блоків до нанесення клею. Метою цієї підготовки є розвинення мікрогеометрії та нанесення на корінець канавок для збільшення площі контакту між клеєм та корінцем, кращої адгезії. На існуючих машинах

незшивного скріплення ці задачі виконують секції торшонування, які вирізняються конструктивною складністю та високою вартістю інструменту, індивідуальним приводом з високими частотою обертання та споживаною потужністю. Тому доцільним є впровадження нових пристроїв для підготовки корінців книжкових блоків, у яких виконавчий інструмент отримуватиме привод від транспортної системи книжкового блока через безпосередній контакт з ним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Доступна у відкритих джерелах інформація дає можливість окреслити два основні напрямки удосконалення *НКС* книжково-журнальної продукції. Перший – удосконалення клеїв і технології їхнього нанесення на корінець, другий – удосконалення пристроїв та засобів обробки корінців.

Питання удосконалення технології нанесення клеїв, оцінка міцності *НКС* розглянуті у працях [1–3]. У роботі [1] пропонується здійснювати нанесення клею шляхом двостороннього розпуску аркушів. Такий підхід очевидно потребуватиме змін у конструкції машини, що не завжди виправдано. Науковці у статті [2] пропонують оригінальний підхід до оцінювання міцності *НКС*. Для цього розроблено математичні моделі, що описують виривання аркушів із книжкових блоків. Слід відзначити, що моделювання умов експлуатації лише частково відтворює реальні умови експлуатації книг. Ця проблема вирішена авторами в роботі [3], у якій наведено результати експериментальних досліджень міцності *НКС* методом «pull»-тесту.

На машинах незшивного скріплення книжково-журнальної продукції у пристроях для обробки корінців перед нанесенням клею застосовуються дискові інструменти, що обертаються навколо власної осі [4]. Їхньою перевагою є простота привода: двигун – муфта – інструмент. Відомий також привод із застосуванням у якості мультиплікатора зубчастопасової передачі, яка збільшує оберти інструмента до 6000 об/хв. Найбільш уживані у виробничих машинах незшивного скріплення дискові інструменти мають і значні недоліки. Конструкція різальних елементів (різців, дискових ножів та ін.) доволі складна; часто застосовується кількоступенева обробка, що передбачає застосування 3-4-х інструментів з окремим приводом кожен. Роботу дискових інструментів супроводжує значний шум, інтенсивне виділення паперового пилу. Загальна потужність привода секції обробки корінців може становити 7-8 кВт, а габарити (довжина) сягати 2 м. Ці фактори спонукають виробників устаткування та науковців до пошуку альтернативних пристроїв та засобів обробки корінців при клейовому скріпленні книжково-журнальної продукції.

У працях [5; 6] автори для обробки корінців пропонують застосовувати ексцентрично закріплений дисковий ніж. Проведені аналітичні дослідження кінематики процесу обробки, а також експериментальні дослідження засвідчили дієвість такого способу. До його недоліків слід віднести ексцентричне закріплення ножа, що може спричинити виникнення значних інерційних навантажень при великій частоті обертання.

Відомі роботи [7; 8], що передбачають застосування циклових механізмів для привода різального інструменту. Такі пристрої є ефективними лише на малопродуктивних машинах, оскільки при великих швидкостях інерційні навантаження стають критичними й можуть спричинити вібрації та руйнування привода.

Одним із напрямків наукових досліджень, які ведуться на кафедрі КППВ Національного університету «Львівська політехніка» є застосування інструментів для обробки корінців без електромеханічного привода. Серед них багатолезові різальні інструменти, які застосовуються для зрізування корінцевих фальців книжкових блоків [9]. Проведені експериментальні дослідження засвідчили їхню ефективність. До недоліків багатолезових різальних інструментів слід віднести складність монтажу значної кількості лез в одній площині та велику довжину різального інструменту.

Також відомі пристрої, що передбачають застосування інструментів з пасивним приводом для обробки корінців. Серед них циліндричний інструмент із гвинтовою різальною крайкою [10], циліндрична фреза [11]. Особливістю цих інструментів є їхній привод за допомогою фрикційного контакту з корінцем рухомого книжкового блока. Така схема привода інструментів значно спрощує конструкцію секції обробки корінців, не потребує застосування окремого привода для обертового різального інструмента, мінімізує рівень шуму при виконанні технологічної операції. Також, як засвідчили експериментальні дослідження, обробка книжкових блоків циліндричною фрезою з пасивним приводом забезпечує високу міцність та довговічність *НКС* [12].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Дослідження обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою проводились здебільшого для випадку її обертового руху навколо власної осі завдяки фрикційному контакту із книжковим блоком. Питання надання фрезі додаткового осьового переміщення частково розглянуто в роботі [4]. Проведені дослідження стосуються визначення інерційних навантажень від зворотно-поступального руху фрези для різних законів періодичного руху. Проте недослідженою залишається задача дослідження кінематики руху циліндричної фрези з урахуванням її осьового переміщення завдяки застосуванню торцевого кулачка. Також актуальною залишається задача формування профілю торця кулачка, наприклад із застосуванням системи автоматизованого проєктування Autodesk Inventor із залученням можливостей інструменту 3D-ескізу.

Мета статті – провести аналітичні дослідження кінематичних параметрів осьового переміщення циліндричної фрези з пасивним приводом та виконати їхній порівняльний аналіз із результатами віртуальної симуляції руху фрези в модулі Dynamic Simulation програми Autodesk Inventor, побудувати 3D-ескіз профілю торцевого кулачка.

Виклад основного матеріалу дослідження. Підготовку корінця книжкового блока запропоновано здійснювати багатолезовим циліндричним інструментом (далі – фрезою), який обточує книжковий блок при його переміщенні транспортною системою машини *НКС* внаслідок контакту лез з його корінцем. За таким принципом роботи фреза не потребує індивідуального привода, її обертання забезпечується книжковим блоком, а нанесення канавок проходить завдяки протискуванню лез фрези у корінець [11; 12]. У роботі [4] запропоновано додати осьове переміщення фрезі, що надаватиме таких переваг методу:

- зменшення навантажень завдяки додаванню переміщення фрези вздовж різальних крайок лез;
- підвищення якості утворених канавок за рахунок переплітання волокон аркушів паперу при утворенні канавок.

Додаткове осьове переміщення фрези в опорах реалізоване за рахунок нерухомого циліндричного торцевого кулачка, який обточує ролик, що через важіль жорстко з'єднаний з фрезою. Таке рішення зберігає всі переваги вдосконалюваного, оскільки для надання додаткового осьового переміщення фрезі також не потрібний окремий привод.

Торцевий кулачок є відповідальним елементом у пристрої нанесення канавок, оскільки він задає закон періодичного руху, за яким переміщуватиметься фреза. Тому під час проведення експериментальних досліджень на стенді, що відтворюватиме описаний метод підготовки корінця книжкового блока, для отримання достовірних даних щодо інерційних сил, спричинених осьовим переміщенням фрези, потрібно точно виготовити кулачок. Інерційні сили створюватимуть додаткове навантаження на привод транспортера книжкових блоків, величину якого потрібно оцінити стосовно базових навантажень привода, щоб обґрунтувати доцільність впровадження запропонованого способу.

Враховуючи складність профілю кулачка, його виготовлення доцільно реалізувати на верстаті з числовим програмним керуванням (системою CAM). Для цього є необхідною тривимірною цифровою моделлю кулачка, яка спроектована засобами систем автоматизованого проектування (середовищ CAD). Для проектування було обрано середовище Autodesk Inventor через широкі функціональні можливості та можливість інтегрування із системами CAM [13].

На початковому етапі проектування у файлі моделі кулачка в середовищі Autodesk Inventor створено масив змінних параметрів інваріантів переміщень a_k для 20 поточних позицій із кутовим кроком 18° та введено їх у базу користувацьких функцій середовища (рис. 1).

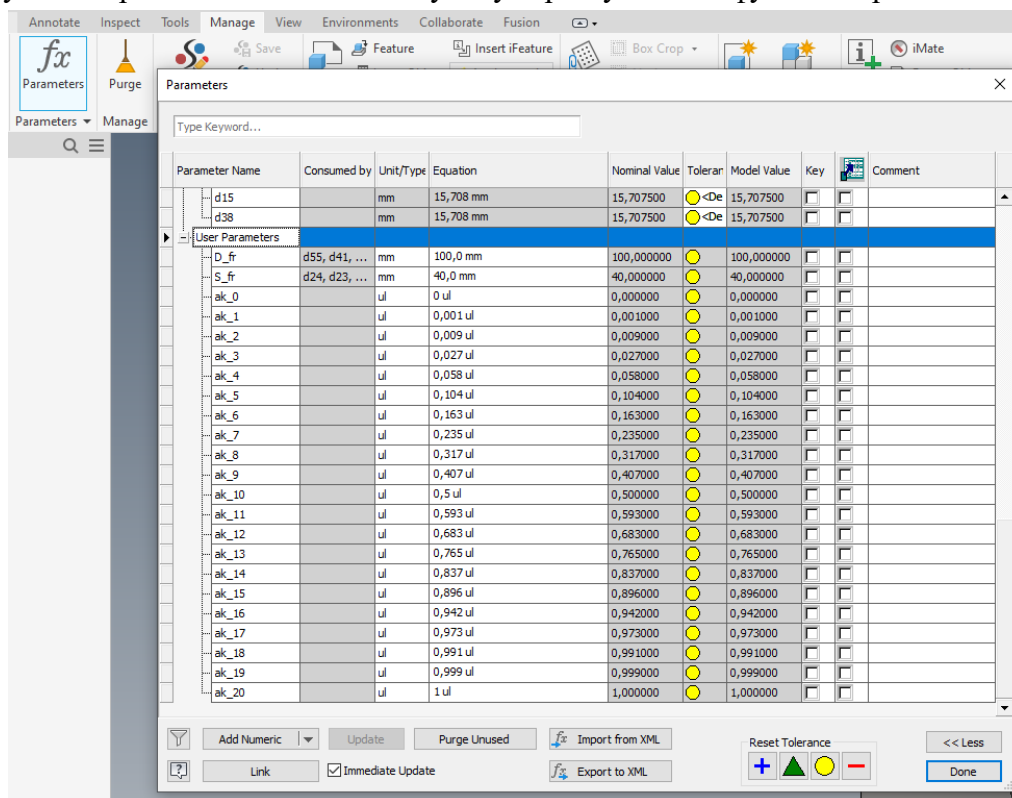


Рис. 1. Вікно користувацьких функцій з масивом значень інваріантів переміщення a_k для закону періодичного руху Поліном 3-го ступеня «Шуна» середовища Autodesk Inventor
Джерело: розроблено авторами

За введеним масивом значень поточних інваріантів переміщень змодельовано криву переміщень для значення осьового переміщення фрези $S_{фр} = 40$ мм, яке було обрано з врахуванням гарантованого перекривання книжкового блока завтовшки 25 мм, що є достатнім для виготовлення переважної більшості книжкової продукції із застосуванням НКС. Також було враховано умову забезпечення сприятливих кутів тиску у кулачковій парі. Як було встановлено у праці [4], мінімальний радіус кулачка з умови дотримання кутів тиску в межах 30° , становить $R_k = 46,86$ мм, тобто діаметр D_k :

$$D_k \geq 2 \times R_k.$$

Діаметр торцевого кулачка $D_k = 100$ мм обрано конструктивно виходячи з умови забезпечення кріплення обертового ролика на важелі до осі фрези.

Побудову ескізу кривої здійснено сплайном по масиву точок. Положення кожної точки визначається координатами, у яких вісь абсцис x , довжина якої відповідає довжині кола основи циліндра, що служить заготовкою для кулачка обраного діаметра, поділено на рівні частини відповідно до кількості позицій побудови:

$$x_{pi} = \frac{\pi \cdot D_k}{i} + \frac{\pi \cdot D_k}{i+1} + \dots + \pi \cdot D_k,$$

де $I = 20$ – кількість поточних позицій для побудови профілю кулачка;
 $i = 1 \dots I$ – поточне значення позиції.

Вздовж осі ординат у поточне положення точки визначається як добуток позиційного інваріанта переміщення відповідного закону періодичного руху на значення максимального переміщення фрези: $y_{pi} = a_k \times S_{фр}$.

Сплайнову криву побудовано у площині, дотичній до твірної циліндра кулачка, а вісь у кривій збігається з віссю циліндра (рис. 2).

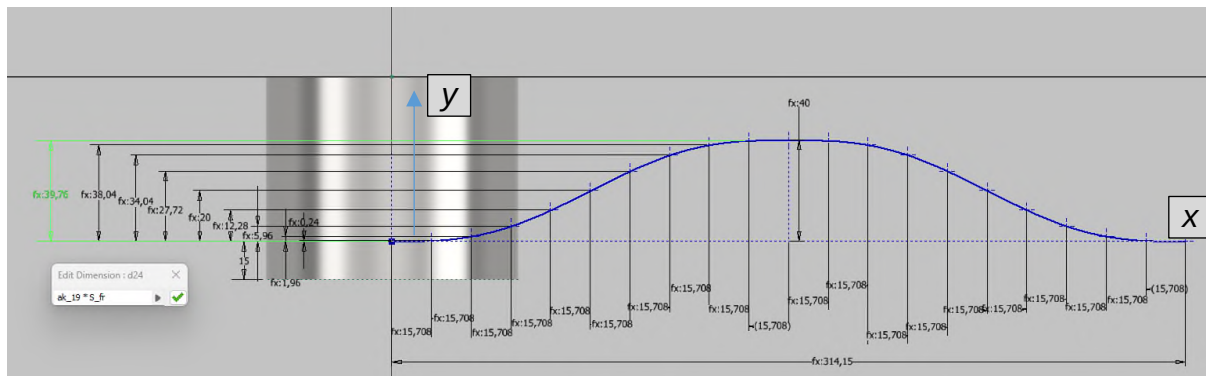


Рис. 2. Фрагмент побудови кривої переміщень для закону періодичного руху «Синусоїда» у середовищі Autodesk Inventor

Джерело: розроблено авторами.

Профілювання торця кулачка у програмі Autodesk Inventor відбувалося з залученням можливостей інструменту 3D-ескізу. Для його утворення насамперед потрібно «огорнути» траєкторією переміщення фрези, побудованою на площині, циліндричну поверхню заготовки кулачка. Цього досягнуто завдяки застосуванню команди Проеціювання на поверхню (Project to Surface), у якій як поверхню (Face) обрано заготовку кулачка, а кривою (Curve) є побудований сплайн (рис. 3). Завершення побудови профілю виконано завдяки інструменту Sweep, у якому вздовж просторової кривої утвореного 3D-ескізу утворено паз для ролика.

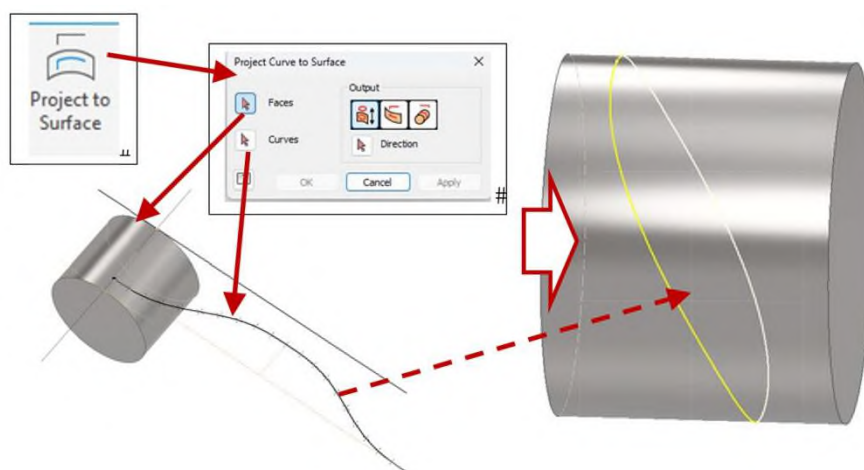
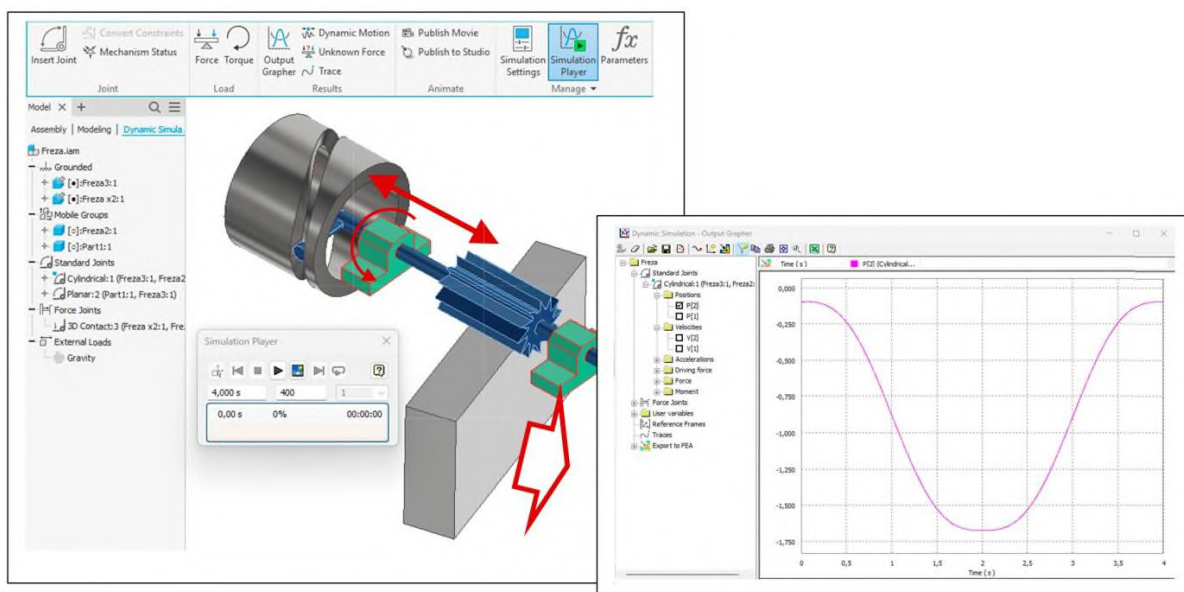


Рис. 3. Інструменти середовища Autodesk Inventor для побудови 3D-ескізу профілю торцевого кулачка

Джерело: розроблено авторами.

Побудована тривимірна модель торцевого кулачка стала основою для віртуального макета пристрою підготовки корінця. Пристрій відтворено спрощено, а саме тільки основні його елементи (кулачок, фрезу з роликом, підшипникоопори). На основі цього макету проведено віртуальну симуляцію складного просторового руху фрези у модулі Dynamic Simulation. Призначено обертову кінематичну пару (Joint) між віссю фрези та опорою, та 3D Contact для поверхонь ролика і торця кулачка (рис. 4).

Для спрощення обчислень програми у макеті вилучено пружину, що здійснює силове замикання ролика до кулачка, а сам кулачок виготовлено пазовим.



а б
Рис. 4. Ілюстрація віртуальної симуляції руху фрези
у модулі Dynamic Simulation програми Autodesk Inventor (а),
проміжний результат – графік осевого переміщення фрези (б)

Джерело: розроблено авторами.

Результати віртуальної симуляції представлено у вигляді осцилограми, яка відображає графік лінійної швидкості фрези (рис. 5). Як можемо бачити з графіка, значення швидкості розпочинаються з нуля, плавно зростають і спадають, а сам графік є симетричним, що відповідає спроектованому профілю кулачка.

За результатами проведеної віртуальної симуляції руху фрези отримано значення лінійної швидкості її руху. Ці дані використано для порівняльної оцінки з результатами теоретичного кінематичного аналізу параметрів руху фрези. Для аналізу серед кінематичних параметрів обрано лінійну швидкість, оскільки її значення на графіках віртуальної симуляції мають невелику кількість шумів і водночас криві швидкості наочно ілюструють відмінності в характері руху фрези при виборі різних законів її періодичного руху.

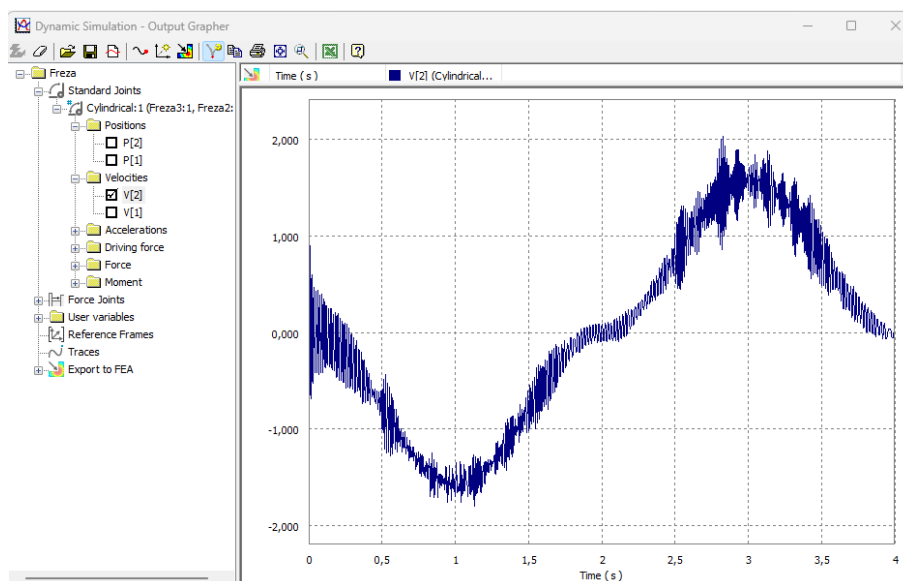


Рис. 5. Графічний результат віртуальної симуляції у вигляді графіка залежності лінійної швидкості фрези від періоду одного циклу
Джерело: розроблено авторами.

Порівняльний аналіз виконано для трьох характерних законів періодичного руху:

- циклоїдального типу – «Синусоїда» (константа піка швидкості $B = 2,0$; константа піка прискорення $C = 6,28$; константа кінетичної потужності $D = 8,612$) [14];
- гармонічного типу – «Косинусоїда» ($B = 1,57$, $C = 4,935$, $D = 3,875$);
- поліном 3-го ступеня «Шуна» ($B = 1,875$, $C = 5,771$, $D = 6,686$).

Для кожного закону періодичного руху за наведеною вище методикою змодельовано циліндричний кулачок з відповідним профілем та проведено симуляцію руху фрези, отримано відповідні графіки кінематичних параметрів.

Інваріанти кінематичних характеристик для обраних законів руху визначаються за відомими залежностями [14]:

$$\text{«Синусоїда»}: a_k = k - \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi k; b_k = 1 - \pi \cos \pi k; c_k = 2\pi^2 \sin 2\pi k.$$

$$\text{«Косинусоїда»}: a_k = 0,5(1 - \cos \pi k); b_k = 0,5 - \pi \sin \pi k; c_k = 0,5\pi^2 \cos \pi k.$$

$$\text{«Шуна»}: a_k = A_2 k^2 + A_3 k^3 + A_4 k^4 + \dots + A_n k^n; b_k = 2A_2 k + 3A_3 k^2 + 4A_4 k^3 + \dots + nA_n k^{n-1}; c_k = 2A_2 + 6A_3 k + 12A_4 k^2 + \dots + n(n-1)A_n k^{n-2}$$

де a_k , b_k , c_k – інваріанти переміщення, швидкості та прискорення відповідно;

$A_2 \dots A_n$ – сталі коефіцієнти полінома закону руху.

Визначення поточних значень лінійної швидкості фрези, що приводиться від торцевого кулачка, проводили у модульній системі $[m, S, T]$ за залежністю: $V_\phi = b_k \cdot \frac{S}{T}$ [14].

Отримані дані з програми Autodesk Inventor експортовано у середовище електронних таблиць Microsoft Excel, де застосовано команду вибору з масиву дискретного числа значень з кроком 20 для спрощення візуального представлення на графіку. У цій же програмі за наведеними вище залежностями визначено теоретичні поточні значення швидкості фрези. На рис. 6 наведено графіки лінійної швидкості фрези при описаних вище законах її руху за таких початкових параметрів: хід фрези $S = 40$ мм, період одного циклу переміщення $T = 1$ с.

На графіках рис. 6 зображено: крива 1 – аналітично визначена лінійна швидкість фрези, крива 2 – швидкість, отримана за результатами віртуальної симуляції.

Аналізуючи отримані графіки, бачимо, що їх характер, попри наявність шумів у кривих, отриманих у результаті симуляції, збігається, аналітичні криві повністю повторюють криві симуляції. На кривих чітко прослідковуються характерні особливості з плавним розгоном при циклоїдальному законі руху (графік *a* на рис. 6, а також спостерігаємо мінімальне пікове значення швидкості при гармонічному законі (графік *в* на рис. 6), яке становить 0,12 м/с, що на 25 % менше за пік швидкості при законі руху «Шуна» (графік *б* на рис. 6) та на 42 % менше за максимум швидкості при циклоїдальному законі (графік *a* на рис. 6).

Висновки. Аналіз літературних джерел показав, що удосконалення якості *НКС* здійснюється у напрямку пошуку нових пристроїв та засобів обробки корінців книжкових блоків. Для подальшого розвитку та удосконалення у статті розглянуто пристрій обробки корінців циліндричною фрезою з пасивним приводом. Запропонований пристрій позитивно вирізняє відсутність індивідуального привода. Виконавчий інструмент – фреза, отримує обертовий рух внаслідок перекочування по корінцю рухомого книжкового блока, а осьовий зворотно-поступальний – від торцевого нерухомого кулачка.

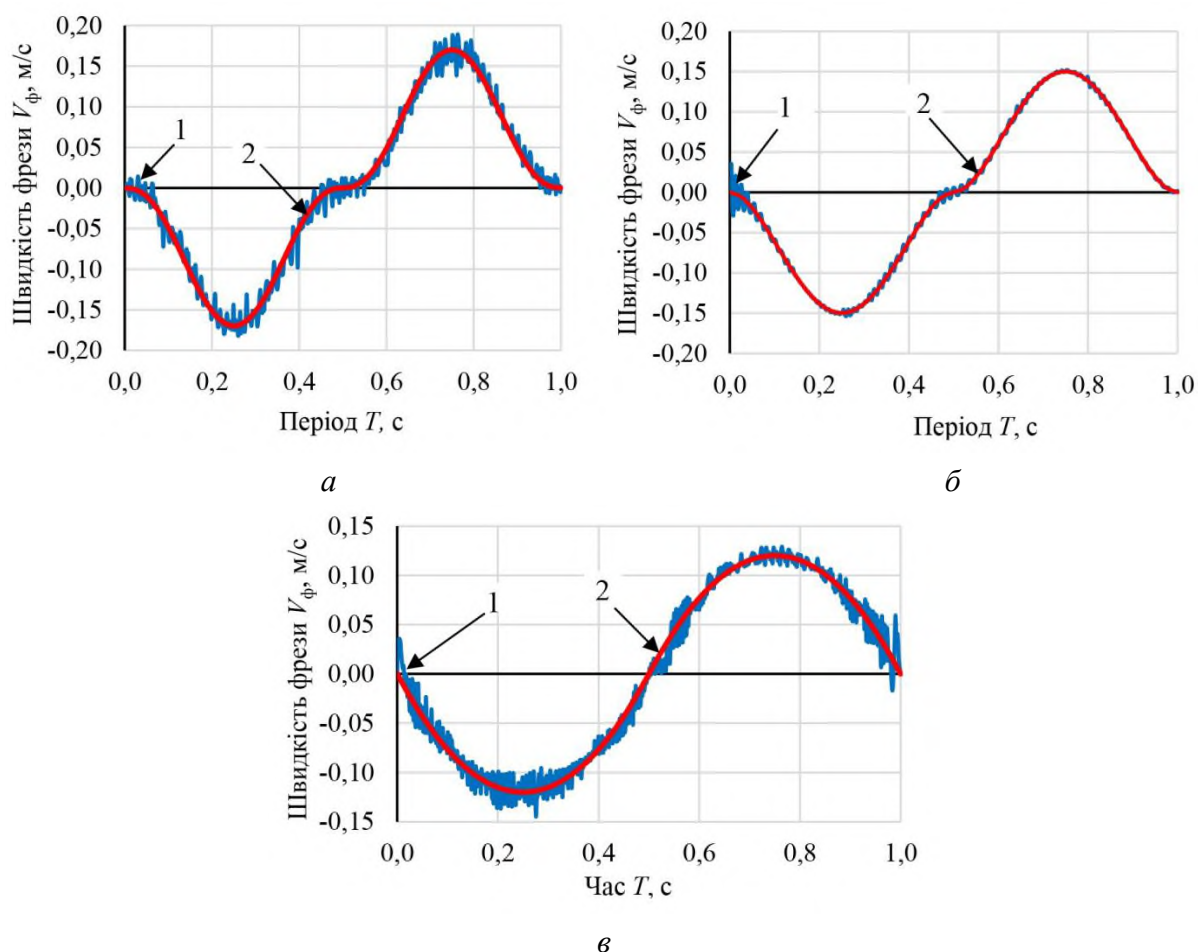


Рис. 6. Порівняльний графік швидкості фрези для законів періодичного руху: «Синусоїда» (*a*), «Шуна» (*б*), «Косинусоїда» (*в*) при віртуальній симуляції (криві 1) і дослідженні аналітично (криві 2)

Джерело: розроблено авторами.

Проведено аналітичні дослідження кінематичних параметрів осьового переміщення циліндричної фрези. Визначено лінійну швидкість фрези для трьох законів періодичного руху, а саме «Синусоїда», «Шуна», «Косинусоїда».

Розкрито метод тривимірного проєктування торцевого кулачка привода фрези, у якому реалізовано рух за відповідним законом періодичного руху. Для моделювання застосовано середовище автоматизованого проєктування Autodesk Inventor. Для об'єктивної оцінки отриманих результатів проведено їхній порівняльний аналіз для випадків аналітичного дослідження та віртуальної симуляції. Встановлено, що розбіжностей між кривими немає, що свідчить про коректність результатів, як теоретичних, так і віртуальної симуляції.

Встановлено, що найменше пікове значення лінійної швидкості фрези є при застосуванні закону руху «Косинусоїда» і становить $V_{\phi} = 0,12$ м/с при її переміщенні на $S = 40$ мм за час повного циклу $T = 1$ с значення. Цей закон руху раціонально застосовувати у пристроях, де технологічні навантаження перевищують інерційні, що прослідковується у розглянутому випадку. За результатами симуляції побудовано 3D-ескіз профілю торцевого кулачка.

Віртуальна симуляція підтвердила працездатність запропонованого пристрою обробки корінців та розкрила особливості руху фрези. Отримані результати будуть враховані при проєктуванні й виготовленні реального дослідного стенда на базі схеми пристрою.

Список використаних джерел

1. Pasanec Preprotić, S., Budimir, I., & Tomić, G. (2015). Evaluation of binding strength depending on the adhesive binding methods. *Acta Graphica*, 1–2, 20–27. <https://hrcak.srce.hr/file/214113>.
2. Pyryev, Y., & Petriaszwili, G. (2009). Modelowanie matematyczne procesu wyrywania arkusza z warstwy klejowej grzbietu książki. *Acta Mechanica et Automatica*, 3, 71–74. <https://pbc.biaman.pl/Content/10012>.
3. Petriaszwili, G. & Pyryev, Y. (2009). Badania eksperymentalne wyrywania arkusza z warstwy klejowej grzbietu książki. *Acta mechanica et automatica*, 3, 68–70. <https://pbc.biaman.pl/Content/10012>.
4. Книш, О., Реей, І., & Бегень, П. (2020). Дослідження інерційних навантажень пристрою обробки корінців книжкових блоків у машині незшивного скріплення. *Технологія і техніка друкарства*, 4, 42–52. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(70\).2020.231207](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(70).2020.231207).
5. Petriaszwili, G., Janicki, P., & Komarov, S. (2019). Wpływ parametrów pracy noża krążkowego ustawionego mimośrodowo na zmniejszenie trajektorii kontaktu ostrza z krojonym wkładem książkowym. *Przegląd Papierniczy*, 4, 253–257.
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. <https://doi.org/10.24867/GRID-2020-p24>
7. Іванко, А., & Гриценко, Д. (2010). Пристрій для зрізування корінцевих фальців у книжкових блоках при незшивному клейовому скріпленні. *Комп'ютерні технології друкарства*, 24, 241–247.
8. Іванко, А., & Кухарук Д. (2011). Автоматизоване проєктування пристрою для обробки корінця книжкового блока засобами SolidWorks. *Технологія і техніка друкарства*, 4, 84–87. <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/33495/30041>.
9. Топольницький П. В., Книш О. Б., & Коломієць А. Б. (2023). *Сучасні технології обрізування книжково-журнальних блоків*. УАД.
10. Книш, О. Б. (2021). Обґрунтування способу обробки корінців книжкових блоків циліндричним інструментом з гвинтовою різальною крайкою. *Наукові записки УАД*, 1, 95–104.
11. 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*, 13(2), 101–106. <https://doi.org/10.2478/ama-2019-0014>.
12. Knysh, O., Rehei, I., Ternytskyi, S., Kandiak, N. & Behen P. (2021). Experimental researches of book blocks spine processing by cylindrical milling cutter during perfect binding. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 19(3), 347–355.
13. Randy H. Shih. (2023). *Autodesk Inventor 2024 and Engineering Graphics. An Integrated Approach*. SDC Publications.
14. Полюдов О. М. (2005). *Механіка поліграфічних і пакувальних машин*. УАД.

References

1. Pasanec Preprotić, S., Budimir, I., & Tomić, G. 26 (2015). Evaluation of binding strength depending on the adhesive binding methods. *Acta Graphica*, 1–2, 20–27. <https://hrcak.srce.hr/file/214113>.
2. Pyryev, Y., & Petriaszwili, G. (2009). Modelowanie matematyczne procesu wyrywania arkusza z warstwy klejowej grzbietu książki [Mathematical modeling of the process of sheet peeling from the adhesive layer of a book spine]. *Acta Mechanica et Automatica*, 3, 71–74. pbc.biaman.pl/Content/10012.
3. Petriaszwili, G. & Pyryev, Y. (2009). Badania eksperymentalne wyrywania arkusza z warstwy klejowej grzbietu książki [Experimental studies on peeling a sheet from the adhesive layer of a book spine]. *Acta mechanica et automatica*, 3, 68–70. URL: pbc.biaman.pl/Content/10012.
4. Knysh, O., Rehei, I., & Behen, P. (2020). Doslidzhennia inertsinykh 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. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(70\).2020.231207](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(70).2020.231207).
5. Petriaszwili, G., Janicki, P., & Komarov, S. (2019). Wpływ parametrów pracy noża krążkowego ustawionego mimośrodowo na zmniejszenie trajektorii kontaktu ostrza z krojonym wkładem książkowym [Influence of operating parameters of an eccentrically mounted rotary knife on reducing the contact trajectory of the blade with the book block being cut]. *Przegląd Papierniczy*, 4, 253–257.
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. Ivanko, A., & Hrytsenko, D. (2010). Prystrii dlia zrizzuvannia korintsevykh faltsiv u knyzhkovykh blokakh pry nezshyvnomu kleiovomu skriplenni [Device for cutting off spine folds in book blocks during perfect binding]. *Kompiuterni tekhnolohii drukarstva – Computer Technologies in Printing*, 24, 241–247.
8. Ivanko, A., & Kukharuk D. (2011). Avtomatyzovane proektuvannia prystroiu dlia obrobky korintsia knyzhkovoho bloka zasobamy SolidWorks [Automated designing of device for processing of binding edge with facilities of SolidWorks]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva – Technology and Technique of Typography*, 4, 84–87. <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/33495/30041>.
9. Topolnytskyi P. V., Knysh O. B., & Kolomiiets A. B. (2023). *Suchasni tekhnolohii obrizzuvannia knyzhkovo-zhurnalnykh blokiv [Modern technologies for trimming book and magazine blocks]*. UAD.
10. Knysh, O. B. (2021). Obgruntuvannia sposobu obrobky korintsiv knyzhkovykh blokiv tsylindrychnym instrumentom z hvyntovoiu rizalnoi kraikoju [Justification of the Method for Processing Book Block Spines Using a Cylindrical Tool with a Helical Cutting Edge]. *Naukovi zapysky UAD – Scientific Papers UAP*, 1, 95–104.
11. 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*, 13(2), 101–106.
12. Knysh, O., Rehei, I., Ternytskii, S., Kandiak, N., & Behen, P. (2021). Experimental researches of book blocks spine processing by cylindrical milling cutter during perfect binding. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 19(3), 347–355.
13. Randy H. Shih. (2023). *Autodesk Inventor 2024 and Engineering Graphics. An Integrated Approach*. SDC Publications.
14. Poliudov O. M. (2005). *Mekhanika polihrafichnykh i pakuvalnykh mashyn [Mechanics of printing and packaging machines]*. UAD.

Отримано 02.06.2025

Oleh Knysh¹, Petro Behen², Yuriy Bilozor³, Oleh Bilyk⁴

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

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Computerized Complexes of Printing and Packaging Industries

Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: Petro.I.Behen@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1999-2479>

³Graduate Student of the Department of Computerized Complexes of Printing and Packaging Industries

Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: yuriybilozor05@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-8660-499X>

⁴Graduate Student of the Department of Computerized complexes of Printing and Packaging Industries

Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: olehbilyk13@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-3123-5185>

INVESTIGATION OF THE KINEMATICS OF CYLINDRICAL MILLING CUTTER MOTION IN THE PROCESSING OF BOOK BLOCKS IN PERFECT BINDING MACHINES

Perfect binding of book and magazine products is the most common method of binding. This is explained by many advantages. However, it has certain disadvantages. Among them are not always sufficient strength and durability of the binding, as well as poor book opening ability. There are two main directions for improving the quality of perfect binding. The first is improvement of adhesives and the technology of their application to the spine of the book block; the second is improvement of devices and tools used to prepare the spine for adhesive application. Available literature indicates that in the second area, there is an ongoing search for alternative spine processing devices. Each of them is focused on improving processing means - milling cutters, knives, etc. Among others, one method stands out, namely: the use of a tool with a passive drive. This approach involves driving the tool – a cylindrical milling cutter – through its rolling motion along the moving book block. Previous research in this area has focused only on the milling cutter rotational motion.

The article further develops the authors' research on the use of a cam drive to provide additional axial movement of the milling cutter. The proposed device scheme incorporates a fixed end cam. The axial motion of the milling cutter is provided by a lever with a roller that receives movement due to the rotation of the milling cutter. This drive configuration eliminates the need for a separate electromechanical drive for the milling cutter.

For the adopted initial conditions, analytical studies of the kinematic parameters of the milling cutter axial movement were carried out. To objectively evaluate analytical results, a virtual simulation of the milling cutter's motion was performed using the Dynamic Simulation module of CAD Autodesk Inventor. This made it possible to obtain the results of the kinematic parameters through a virtual experiment. A comparative analysis of the results of analytical studies and virtual simulation showed their absolute identity. Based on the results of the studies, a 3D sketch of the end cam was constructed.

Analytical studies of the cylindrical milling cutter axial displacement kinematic parameters lay the groundwork for further research. The next stages involve construction of the physical experimental stand, its installation on the Trendbinder perfect binding machine, and investigation of the energy-force parameters of the process as well as the quality indicators of the perfect binding.

Keywords: book block; perfect binding; periodic motion law; end cam; velocity; acceleration; drive; computer-aided design system.

Fig.: 6. References: 14.