

**КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ
ПРИВОДА ЛАНЦЮГОВОГО ТРАНСПОРТЕРА
В МАШИНІ НЕЗШИВНОГО СКРІПЛЕННЯ**

О. Б. Книш

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

Розроблено конструкцію експериментального стенда для досліджень енергосилових параметрів привода ланцюгового транспортера машини незшивного скріплення. Проаналізовано причини виникнення динамічних коливань у ньому. Досліджено кількісні та якісні показники зміни моментів від тягового зусилля за умови обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою. За результатами експериментальних досліджень шляхом апроксимації отриманих кривих виведено аналітичні залежності для розрахунку роботи, що витрачається під час обробки корінців циліндричною фрезою, та потужності привода транспортера, необхідної для її виконання. Для цього з'ясовано значення коефіцієнтів полінома для усіх досліджуваних випадків обробки книжкових блоків. Досліджено вплив швидкості їх переміщення та виду паперу, з якого вони виготовлені, на потужність привода транспортера. Встановлено, що застосування циліндричної фрези для обробки корінців книжкових блоків у разі зменшує енергоємність процесу.

Ключові слова: *книжковий блок, тягове зусилля, потужність, привод, ланцюговий транспортер, швидкість.*

Постановка проблеми. Один із напрямів покращення якості незшивного клейового скріплення книжкової продукції — удосконалення засобів обробки корінців. Для цього пропонуються різноманітні за конструкцією інструменти, покликані створити передумови міцного і довговічного скріплення. На кафедрі комп'ютеризованих комплексів поліграфічного і пакувального виробництв УАД проводять роботи щодо застосування для обробки корінців інструментів без індивідуального електромеханічного привода [1]. У такому випадку важливо дослідити вплив технологічних навантажень на енергосилові параметри привода транспортера машини незшивного скріплення, що переміщує книжкові блоки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У праці [2] викладено методику комплексного дослідження ланцюгового транспортера. Запропоновано рекомендації щодо зменшення негативного впливу динамічних явищ на роботу конвеєрів, зокрема динамічність вимушених коливань, для чого пропонується зменшити крок ланцюга, збільшити швидкість ланцюгів, конструкції ланцюгів, що дадуть змогу мінімізувати негативний вплив коливань на динамічні процеси в конвеєрі. Автори [3]

досліджують вплив матеріалу зірочок та ланцюга (металу і полімерних композитів) на динаміку ланцюгового транспортера. За результатами експериментальних досліджень визначено середнє значення динамічних навантажень ланцюга, що уможливає розрахунок потужності привода, вибір кроку та рядності ланцюга. У публікації [4] автор наводить результати експериментальних досліджень обрізування книжкових блоків нерухомими плоскими криволінійними ножами. Досліджувались складові сил різання, зусилля транспортування. Однак вплив технологічних зусиль на потужність привода транспортера книжкових блоків не досліджувався.

У працях [5, 6, 7] наведено результати аналітичних досліджень кінематики та динаміки ланцюгових транспортерів. Встановлено, що найбільший вплив на вібрацію ланцюга здійснює кількість зубів і крок зірочок.

У статті Кулешова М. В., Сиромятникова В. С. [8] розглядається застосування комп'ютерного моделювання для імітації роботи привода конвеєра за умови випадкової зміни навантаження. Цікавим є дослідження залежності потужності привода як функції зміни тягового зусилля. Однак отримані результати стосуються стрічкових транспортерів і до машин незшивного скріплення не можуть бути застосовані.

У статті група авторів [9] наводить методику розрахунку привідних ланок ланцюгових конвеєрів, виведені аналітичні залежності для визначення силових, конструктивних і кінематичних параметрів приводних ланок та навантажувальної здатності конвеєра загалом.

У праці [10] автор наводить методику та результати досліджень тягового зусилля, горизонтальної складової сили різання за умови застосування пасових транспортерів. Однак потрібно відзначити, що на сьогодні такі системи транспортування не застосовуються у машинах незшивного скріплення. Також у цьому дослідженні відсутня оцінка енергоефективності, а саме вплив технологічних навантажень на зміну потужності привода транспортера за умови застосування нерухомих різальних інструментів.

Книш О. В. у статті [11] визначає потужність привода секції обробки корінців за результатами експериментальних досліджень. Використано методику опису експериментальних графіків поліномами 4-го степеня. Однак потрібно відзначити, що для більшої точності розрахунків доцільно було б використати поліном більшого степеня.

Отже, за результатами аналізу наукових досліджень щодо вивчення тягового зусилля та потужності привода ланцюгових транспортерів, зокрема машин незшивного скріплення, констатуємо, що наявні результати лише частково розкривають природу коливань елементів транспортування, водночас аналіз технологічних навантажень на потужність привода транспортерів відсутній.

Мета статті — дослідження впливу тягового зусилля на потужність привода ланцюгового транспортера машини незшивного скріплення за умови обробки книжкових блоків циліндричною фрезою.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для експериментальних досліджень обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою було спроектовано

дослідний стенд, змонтований на машині незшивного клейового скріплення Trendbinder-18 (фірма «Muller Martini», Швейцарія). Фрагмент 3D-моделі машини із закріпленим до неї експериментальним стендом зображено на рис. 1. Книжкові блоки *КБ* переміщуються каретками 1 по замкненій траєкторії повз технологічні секції (на рис. 1. зображено лише одну секцію — обробки корінців циліндричною фрезою 2). Ланцюговий транспортер складається із 18 кареток, ведучою 3 та веденою 4 зірочок радіусом $R = 283$ мм. Як ведучий орган транспортера використано роликівий ланцюг із кроком $p = 25,4$ мм. Потужність привода транспортера машини Trendbinder-18 становить 5,5 кВт.

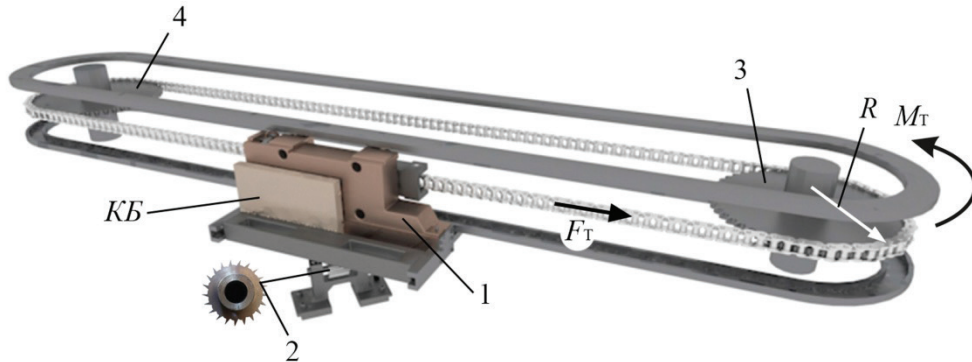


Рис. 1. 3D-модель експериментального стенда для дослідження обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою

Оскільки у циліндричній фрези відсутній індивідуальний привод, а її обертання відбувається внаслідок прокочування по корінцю книжкового блока, то важливо визначити вплив технологічного навантаження на потужність привода ланцюгового транспортера машини.

Перший етап експериментальних досліджень передбачав вимірювання тягового зусилля F_T під час обробки корінців циліндричною фрезою. Методика цих досліджень та отримані результати є предметом іншої статті і в цій публікації не розглядаються.

Наступний етап передбачав визначення залежності моменту M_T тягового зусилля від кута φ повороту ведучої зірочки (рис. 1) та розрахунок споживаної приводом транспортера потужності. Для цього за відомими табличними значеннями тягового зусилля F_T та поточного часу t визначали моменти від тягового зусилля $M_T = F_T \cdot R$ та поточні кути повороту зірочки $\varphi = t \cdot \omega_1$. Тут $R = 283$ мм — плече дії тягового зусилля, ω_1 — кутова швидкість зірочки.

Як наслідок отримали залежність $M_T = f(\varphi)$ (рис. 2), яку засобами MS Excel замінюємо лінією тренда — поліномом 6-го степеня:

$$M_T = A_6\varphi^6 + A_5\varphi^5 + A_4\varphi^4 + A_3\varphi^3 + A_2\varphi^2 + A_1\varphi + A_0, \quad (1)$$

де A_i — коефіцієнти полінома.

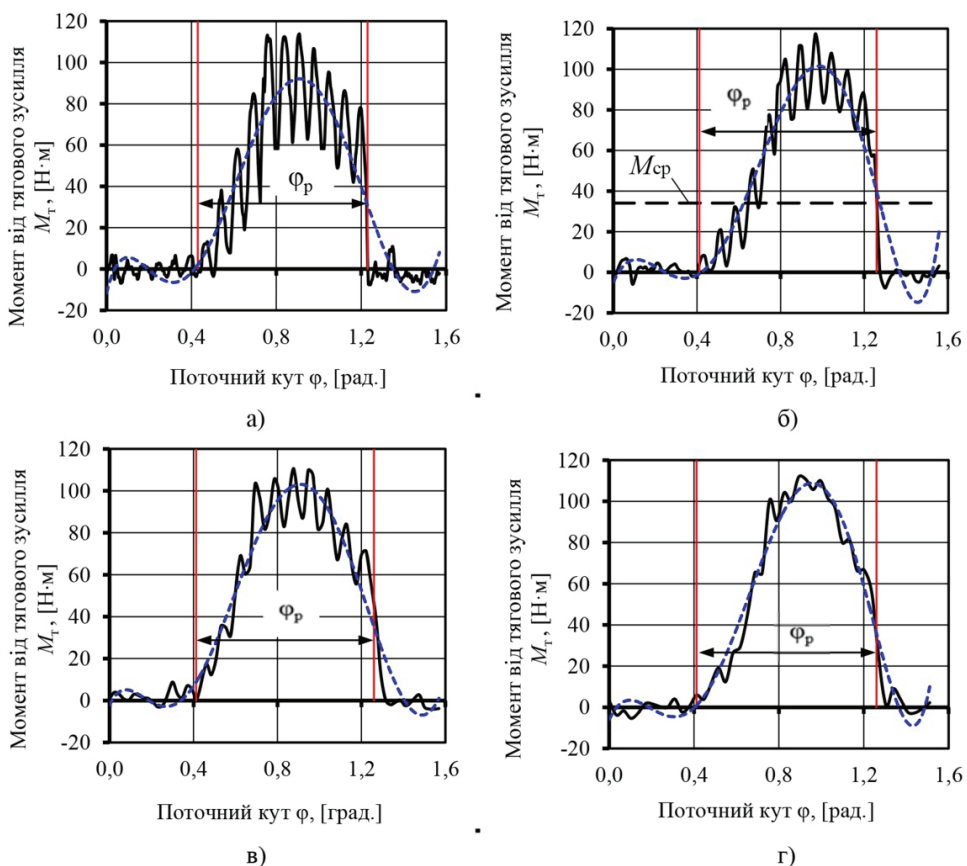


Рис. 2. Графіки залежності моменту тягового зусилля (суцільна лінія) від кута повороту приводної зірочки ланцюгового транспортера машини незшивного скріплення та відповідні лінії тренда (штрихова лінія) за швидкості переміщення книжкових блоків:
 а) — 0,3 м/с; б) — 0,6 м/с; в) — 0,8 м/с; г) — 1,2 м/с

На рис. 2 як приклад наведено експериментальні залежності моменту тягового зусилля від кута повороту приводної зірочки для 4 значень швидкості переміщення книжкових блоків: $V_B = 0,3; 0,6; 0,8; 1,2$ м/с. Результати отримані для книжкових блоків завтовшки $B = 20$ мм, завдовжки $L = 240$ мм, які виготовлені із крейдованого паперу масою 85 г/м².

Як бачимо з отриманих залежностей, зі збільшенням швидкості переміщення книжкових блоків характер коливань моментів від тягового зусилля суттєво відрізняється. Це пояснюється тим, що внаслідок значної маси (понад 15 кг) кареток транспортера при їхньому повороті навколо зірочки виникає відцентрове прискорення, яке спричинює додатковий натяг ланцюга. За малої швидкості відцентрові сили є меншими, що призводить до «провисання» ланцюга і, як наслідок,

значних його коливань під дією технологічного зусилля від обробки корінців циліндричною фрезою. Під час збільшення швидкості ланцюга його постійний натяг зростає, внаслідок чого зменшується час на вибирання зазорів у пальцях ланцюга, що покращує динаміку його руху.

Для розрахунку потужності визначаємо роботу моменту від технологічного зусилля [11]:

$$A_T = \int_0^{\varphi} M_T d\varphi = \int_0^{\varphi} (A_6\varphi^6 + A_5\varphi^5 + A_4\varphi^4 + A_3\varphi^3 + A_2\varphi^2 + A_1\varphi + A_0) d\varphi, \quad (2)$$

де $\varphi = \pi/2$ — кут повороту зірочки, протягом якого записувались експериментальні дані.

У результаті інтегрування (2) за φ отримаємо:

$$A_T = \left[\frac{A_6}{7}\varphi^7 + \frac{A_5}{6}\varphi^6 + \frac{A_4}{5}\varphi^5 + \frac{A_3}{4}\varphi^4 + \frac{A_2}{3}\varphi^3 + \frac{A_1}{2}\varphi^2 + A_0\varphi \right]. \quad (3)$$

Для розрахунку споживаної електродвигуном потужності визначаємо середній крутний момент M_{CP} на валу приводної зірочки протягом періоду обробки одного книжкового блока (рис. 2б):

$$M_{CP} = \frac{2 \cdot A_T}{\pi}. \quad (4)$$

Тоді потужність привода транспортера, що затрачається на переміщення книжкового блока під час його обробки циліндричною фрезою, становитиме:

$$N = \frac{M_{CP}\omega_1}{\eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (5)$$

де ω_1 — кутова швидкість зірочки транспортера, $\eta_1 = 0,9$ — коефіцієнт корисної дії ланцюгового транспортера, $\eta_2 = 0,95$ — коефіцієнт корисної дії кочення підшипників каретки за напрямними транспортера.

Після підстановки (3) і (4) у (5) отримаємо кінцеву залежність для визначення споживаної потужності привода транспортера машини незшивного скріплення за умови обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою без індивідуального привода:

$$N = \frac{2 \cdot \omega_1}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{A_6}{7}\varphi^7 + \frac{A_5}{6}\varphi^6 + \frac{A_4}{5}\varphi^5 + \frac{A_3}{4}\varphi^4 + \frac{A_2}{3}\varphi^3 + \frac{A_1}{2}\varphi^2 + A_0\varphi \right]. \quad (6)$$

Під час експериментальних досліджень застосувалися книжкові блоки завтовшки 20 мм, завдовжки 240 мм, виготовлені із 5 видів паперу: друкарського ма-сою 1-го м² 55 г, офсетного (70 г/м²), офсетного (75 г/м²), крейдованого (85 г/м²), крейдованого (125 г/м²). Кут встановлення фрези становив $\beta = 45^\circ$. За результатами експериментів отримано лінії тренда, описані поліномом 6-го степеня, визначено коефіцієнти A_i полінома для кожного досліджуваного випадку. Встановлено, що коефіцієнт достовірності апроксимації експериментальних кривих лінією тренда становить $k = 0,92-0,97$, що дає підстави стверджувати про достовірність результатів, отриманих шляхом аналітичної обробки ліній тренда поліномом 6-го степеня.

Результати досліджень впливу швидкості переміщення книжкових блоків на зміну споживаної потужності приводом транспортера машини Trendbinder за умо-ви обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою зображені на рис. 3.

Як бачимо із графіків, збільшення швидкості переміщення книжкових блоків спричинює зростання потужності привода транспортера. Така тенденція очевидна і пояснюється пропорційним зростанням кутової швидкості ведучої зірочки. Ще одним фактором, що впливає на зростання потужності, є незначне зростання моменту від технологічного зусилля під час збільшення швидкості переміщення блоків (рис. 2). Також, як видно із рис. 3, максимальна потужність затрачається на обробку книжкових блоків, виготовлених із найбільш «жорсткого» паперу (крейдованого 125 г/м^2). Це пояснюється більшими технологічними зусиллями, що виникають у такому випадку, а тому необхідністю затратити більшу потужність для транспортування книжкових блоків.

За результатами дослідження енергосилових параметрів обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою, можна стверджувати, що за відсутності індивідуального електромеханічного привода циліндричної фрези максимальна потужність привода транспортера машини незшивного скріплення, що витрачається на транспортування книжкових блоків, становить 180 Вт для досліджуваних книжкових блоків. Можна припустити, що під час збільшення формату книжкових блоків до максимального, що може оброблятися на машинах незшивного скріплення (товщина 50 мм , довжина — 400 мм), необхідна потужність привода транспортера зростає і становитиме $700\text{--}750 \text{ Вт}$. З огляду на той факт, що за умови традиційної обробки корінців книжкових блоків різноманітними торшонуєчими фрезами потужність їх привода становить $2,5\text{--}3,0 \text{ кВт}$, можна стверджувати, що застосування циліндричної фрези без індивідуального привода забезпечує зменшення енергоємності процесу в $3,5\text{--}4,0$ рази, а саме на $1,5\text{--}2,2 \text{ кВт}$.

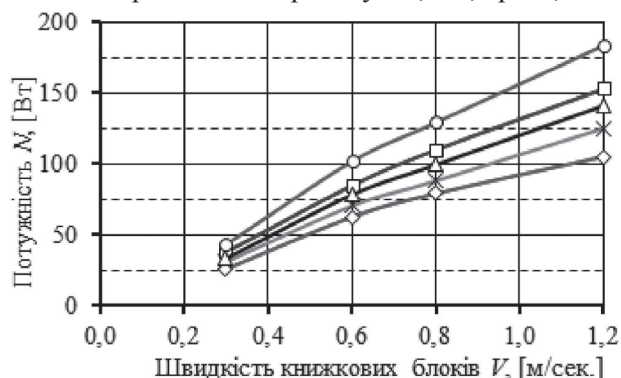


Рис. 3. Графік залежності потужності привода ланцюгового транспортера машини незшивного скріплення від швидкості переміщення книжкових блоків, виготовлених з паперу: \diamond — друкарського (55 г/м^2); \times — офсетного (70 г/м^2); Δ — офсетного (75 г/м^2); \square — крейдованого (85 г/м^2); \circ — крейдованого (125 г/м^2)

Висновки. У результаті експериментальних досліджень обробки корінців книжкових блоків циліндричною фрезою визначено якісні і кількісні характеристики зміни моментів від тягового зусилля. Встановлено, що під час збільшення швидкості переміщення блоків динаміка руху ланцюгового транспортера покращується, що

пояснюється збільшенням натягу ланцюга, спричиненого зростанням інерційних навантажень від маси кареток транспортера. Застосування для обробки корінців циліндричної фрези без індивідуального електромеханічного привода забезпечує зменшення енергоємності процесу в 3,5–4,0 рази, а саме: на 1,5–2,2 кВт, порівняно з традиційною технологією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полодов О. М., Книш О. Б. Сучасні тенденції удосконалення засобів та пристроїв обробки корінця книжкового блока при незшивному клейовому скріпленні. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2014. № 3 (48). С. 63–68.
2. Udovytyskiy O., Soltys I. Дослідження динамічних процесів під час транспортування ланцюговим транспортером. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. № 27 (4). С. 144–147. URL: <https://doi.org/10.15421/40270432> (дата звернення 14.05.2019).
3. Pilipenko O., Poluyan A. Dynamics of three mass chain drive in metal and polymeric implementation. International scientific and practical conference world Science Proceedings of the conference Innovative technologies in science. 2015. Vol. I. Rost Publishing (february 21-22). Dubai, 2015. URL: <http://archive.ws-conference.com/dynamics-of-three-mass-chain-drive-in-metal-and-polymeric-implementation> (дата звернення 15.05.2019).
4. Козар В. Д. Методика експериментальних досліджень обрізування книжково-журнальних блоків плоскими різальними інструментами з криволінійним профілем крайки леза. Поліграфія і видавнича справа. 2014. № 4 (68). С. 26–31.
5. Fuglede Niels and Thomsen Jon Juel. Kinematic and dynamic modeling and approximate analysis of a roller chain drive. Journal of Sound and Vibration. 2016. Vol. 366. Pp. 447–470. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.12.028> (дата звернення 12.05.2019).
6. Fuglede Niels, Thomsen Jon Juel. Kinematics of roller chain drives – Exact and approximate analysis. Mechanism and Machine Theory. 2016. Vol. 100. Pp. 17–32. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2016.01.009> (дата звернення 12.05.2019).
7. Huo Junzhou, Yu Shiqiang, Yang Jing and Li Tao. Static and Dynamic Characteristics of the Chain Drive System of a Heavy Duty Apron Feeder. The Open Mechanical Engineering Journal. 2013. Vol. 7. Pp. 121–128. URL: <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOMEJ/TOMEJ-7-121.pdf> (дата звернення 16.05.2019).
8. Кулешов М. В., Сыромятников В. С. Оптимизация параметров привода конвейера при случайном изменении нагрузки. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 10 (691). С. 69–76. URL: <http://izvuzmash.ru/catalog/nes/hidden/1478.html> (дата звернення 15.09.2019).
9. Особливості розрахунку привідних ланок ланцюгового конвеєра / Гевко Б. М., Ляшук О. Л., Комар Р. В., Диня В. І., Олексин О. В. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2011. № 31. С. 71–74.
10. Топольницький П. В. Обрізування книжкових блоків під час транспортування. Системи транспортування : монографія. Львів : УАД, 2009. 132 с.
11. Книш О. Б. Розрахунок потужності привода механізму ножа при обробці корінця дискретно-дотичним способом. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2009. № 5. С. 77–80.

REFERENCES

1. Poliudov, O. M., & Knysh, O. B. (2014). Suchasni tendentsii udoskonalennia zasobiv ta pryst-roiv obrobky korintsia knyzhkovoho bloka pry nezshyvnomu kleiovomu skriplenni: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 3 (48), 63–68 (in Ukrainian).
2. Udovytskyi, O., & Soltys, I. (2017). Doslidzhennia dynamichnykh protsesiv pid chas transportuvannia lantsiuhovym transporterom: Naukovi visnyk NLTU Ukrainy, 27 (4), 144–147. Retrieved from <https://doi.org/10.15421/40270432> (data zvernennia 14.05.2019) (in Ukrainian).
3. Pilipenko, O., & Poluyan, A. (2015). Dynamics of three mass chain drive in metal and polymeric implementation. International scientific and practical conference world Science Proceedings of the conference Innovative technologies in science. 2015. Vol. I. Rost Publishing (february 21-22). Dubai. Retrieved from <http://archive.ws-conference.com/dynamics-of-three-mass-chain-drive-in-metal-and-polymeric-implementation> (дата звернення 15.05.2019) (in English).
4. Kozar, V. D. (2014). Metodyka eksperymentalnykh doslidzhen obrizuvannia knyzhkovozhurnalnykh blokiv ploskymy rizalnymy instrumentamy z kryvoliniinym profilem kraiky leza: Polihrafiia i vydavnycha sprava, 4 (68), 26–31 (in Ukrainian).
5. Fuglede, Niels, & Thomsen, Jon Juel. (2016). Kinematic and dynamic modeling and approximate analysis of a roller chain drive. Journal of Sound and Vibration. Vol. 366, 447–470. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.12.028> (дата звернення 12.05.2019) (in English).
6. Fuglede, Niels, & Thomsen, Jon Juel. (2016). Kinematics of roller chain drives – Exact and approximate analysis. Mechanism and Machine Theory. Vol. 100, 17–32. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2016.01.009> (дата звернення 12.05.2019) (in English).
7. Huo, Junzhou, Yu, Shiqiang, Yang, Jing, & Li, Tao. (2013). Static and Dynamic Characteristics of the Chain Drive System of a Heavy Duty Apron Feeder. The Open Mechanical Engineering Journal. Vol. 7, 121–128. Retrieved from <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOMEJ/TOMEJ-7-121.pdf> (дата звернення 16.05.2019) (in English).
8. Kuleshov, M. V., & Syromiatnikov, V. S. (2017). Optimizatciia parametrov privoda konveiera pri sluchainom izmenenii nagruzki. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii: Mashinostroenie, 10 (691), 69–76. Retrieved from <http://izvuzmash.ru/catalog/hidden/1478.html> (data zvernennia 15. 09. 2019) (in Russian).
9. Hevko, B. M., Liashuk, O. L., Komar, R. V., Dynia, V. I., & Oleksyshyn, O. V. (2011). Osoblyvosti rozrakhunku pryvidnykh lanok lantsiuhovoho konveiera: Mizhvuzivskyi zbirnyk «Naukovi notatky», 31, 71–74 (in Ukrainian).
10. Topolnytskyi, P. V. (2009). Obrizuvannia knyzhkovykh blokiv pid chas transportuvannia. Systemy transportuvannia. Lviv : UAD (in Ukrainian).
11. Knysh, O. B. (2009). Rozrakhunok potuzhnosti pryvoda mekhanizmu nozha pry obrobtsi korintsia dyskretno-dotychnym sposobom: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 5, 77–80 (in Ukrainian).

COMPLEX EVALUATION OF ENERGY-POWER PARAMETERS OF CHAIN CONVEYOR DRIVE IN PERFECT BINDING MACHINE

O. B. Knysh

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
knolehb@gmail.com*

The article establishes the actuality of the research of energy-power parameters of book block processing by tools without an individual drive. An experimental test bench has been designed with purpose to perform the research of conveyor drive of perfect binding machine upon a condition of use the cylindrical milling cutter without an electromechanical drive. The experimental test bench has been mounted on perfect binding machine Trendbinder (Muller-Martini, Switzerland). Such an approach gives grounds to assert the maximum approach of experiment conditions to production. The article shows the character of torques change depending on tractive effort. The author has discovered that the increase of book block transportation velocity causes the dynamic improvement of chain conveyor vibrations. The study analyses the reasons of onset of vibrations in conveyor chain of perfect binding machine and substantiates their decrease with chain velocity increasing. The article shows that maximum torque values on drive sprocket increase with velocity increase of book block transportation. Analytical dependencies of work computation needed for blocks spine processing by cylindrical milling cutter have been achieved by the approximation of experimental curves. The reliability coefficient of experimental curves approximation by trend line is $k=0.92-0.97$ gives reasons to assert reliability of results got by analytical processing of trend line by polynomial of the six degree. The study evaluates polynomial coefficients for the studied book blocks. The author evaluates dependencies for power calculations of conveyor drive upon a condition of book blocks spine processing by the cylindrical milling cutter without an individual drive. The article analyses the impact of blocks transportation velocity and paper type on conveyor drive power. The study shows that use of the cylindrical milling cutter without an individual drive for book blocks processing reduces the process energy consumption by 1.5–2.2 kW compared to traditional technology.

Keywords: *book block, tractive effort, power, drive, chain conveyor, velocity.*

Стаття надійшла до редакції 08.04.2019.

Received 08.04.2019.