

УДК 621.835 + 621.8.02

СИНТЕЗ ПРОФІЛЮ КУЛАЧКА МЕХАНІЗМУ ПРИВОДА ПУАНСОНА В ОБЛАДНАННІ ОБ'ЄМНОГО ФОРМУВАННЯ КАРТОННИХ ПАКОВАНЬ

О. О. Котовський, А. Б. Коломієць, П. В. Топольницький

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

Запропоновано схеми механічного привода пуансона-формувача, що виконує проштовхування картонної розгортки у «тунель» в машинах-автоматах для виконання операції об'ємного формування коробок і лотків. Розглянуто будову і роботу одного з представлених комбінованих механізмів. Розроблено метод його геометричного і кінематичного синтезу, виведені математичні залежності, необхідні для побудови профілю нерухомого кулачкового програмоносія. Виконано синтез обраного механізму для випадку програмування короткочасної циклової паузи та порівняння застосування різних законів руху пуансона. Отримані результати наочно демонструють відмінності розрахованих геометричних параметрів ланок та центрових профілів корегувального кулачка для різних законів руху, що дало змогу виробити рекомендації для проектування механічного привода пуансона-формувача. Запропонований метод синтезу може бути застосований для пристрою не тільки на основі механічного, а й інших типів привода.

Ключові слова: *картон, об'ємне формування, коробка, лоток, пуансон, привод, комбінований механізм, кулачок.*

Постановка проблеми. Зручність, економічність та екологічність споживчого пакування — основні вимоги сучасних покупців. Власники брендів і друкарні пакувань до них прислухаються.

Популярність упаковки з гофрокартону стрімко зростає завдяки великому різноманіттю продуктів та практичності. Згідно зі звітом Technavio Research Reports (Лондон, Великобританія) світовий ринок вторинного пакування за останні роки зріс у геометричній прогресії та суттєво впливає на ринок упаковки загалом. Висічена тара — найпопулярніший вид упаковки для роздрібної торгівлі, оскільки її легко транспортувати і вона привертає увагу до бренду, вона становить 52 % від усієї тари.

Застосування машин об'ємного формування гофрокартонних коробок обмежується швидкістю механізмів їх виведення і формування, тому їхнє удосконалення є актуальним [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Застосування комбінованих механізмів для трансформації рівномірного обертового руху у рух згідно із циклограмою, під час якого переміщення робочої ланки здійснюється за певними законами руху та містить паузи у крайніх положеннях, розглянуто у багатьох працях, наприклад у [2, 3].

Розглянемо схеми циклових механізмів для удосконалення привода пуансона-формувавача. Наприклад, запропоновано застосувати комбінований механізм (рис. 1, а). Таким чином отримуємо переміщення робочого органу (формувальної колодки, пуансона) за потрібним законом періодичного руху (ЗПР) та паузами згідно з циклограмою, необхідні для подачі наступної розгортки під пуансон.

Проте застосування комбінованого механізму має, окрім переваг, деякі недоліки. Для його роботи характерними є значні габарити коромисла у коромислово-кулісному контурі за потреби отримати «глибоку» коробку або лоток. Це призводить до виникнення значних інерційних навантажень у крайніх положеннях колодки формувавача.

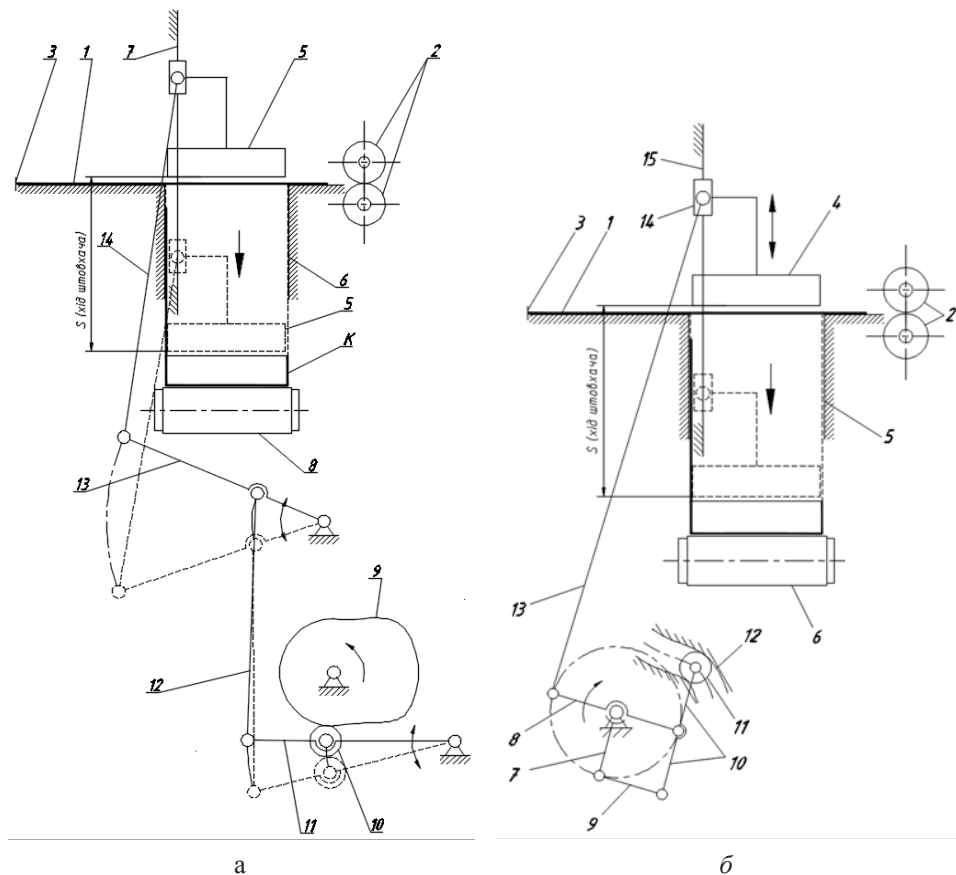


Рис. 1. Кінематичні схеми механізму привода пуансона-формувавача

Більш компактним є інший привід (рис. 1, б), де зворотно-поступальний рух формувальної колодки надається від комбінованого кулачково-важільного механізму згідно з [4]. Комбінований механізм складається з двох контурів: шарнірного чотириланкового з веденою ланкою з програмно трансформованим рухом (води́ла) та коромислово-повзунного механізму (КПМ).

Обертвий рух від головного вала машини надається кривошипу 7, що вільно розташований на горизонтальному валу. Рух від кривошипа 7 передається двоплечому водилові 8 через шатун 9 та двопроменеє коромисло 10. Завдяки переміщенню ролика 11 двопроменевого коромисла 10 у нерухомому криволінійному пазу 12, закріпленого на стінці машини, обертвий рух з постійною швидкістю коромисла 7 програмно трансформується у рух із змінною обертовою швидкістю двоплечого водила 8. Друге плече водила 8 одночасно є вхідною ланкою для коромислово-повзунного механізму. Обертвий рух водила 8 через тягу 13 трансформується у зворотно-поступальний рух повзунів 14 із встановленою на них колодкою формувача 4. Повзуни рухаються вздовж вертикальних осей 15, закріплених на станині автомата з обох боків від столу машини. Закон руху формувальній колодці 4 задає криволінійний паз 12.

Змінна формувальна колодка 4 встановлюється на вертикальну вісь формувача, вона виконана у формі внутрішніх поверхонь гофрокартонної коробки. Під час руху донизу колодка 4 контактує з розгорткою 1 і проштовхує її у фігурний тунель 5 на столі машини. При подальшому русі донизу у картонній розгортці поступово складаються клапани завдяки наявності інструментів тунелю.

Наявність кулачково-важільного контуру у комбінованому механізмі забезпечує паузу у роботі механізму, необхідну для подачі чергової картонної розгортки. Застосування запропонованого механізму дає змогу збільшити продуктивність, спростити його обслуговування та зменшити металоємкість.

Мета статті — відповідно до принципів комплексності, достовірності та наукової об'єктивності, що ґрунтуються на пріоритеті теорії машин і механізмів, наукових досліджень в галузі та практичного досвіду представити методику розрахунку механізму привода пуансона-формувача для здійснення операції об'ємного формування картонних коробок і лотків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Синтез механізму привода пуансона-формувача потрібно розпочинати із синтезу коромислово-повзунного або кривошипно-повзунного контуру, що складається з ланок 8, 13, 14, 15. Порядок і математичні залежності синтезу подібного механізму описані у публікації [5].

Як початкові дані задаємо технологічно-необхідні поточні значення положення повзуна 14 (відповідно, і положення формувальної колодки пуансона) в інваріантному вигляді:

$$s_i = S_0 - a_k \cdot S_\Sigma. \quad (1)$$

Відповідні залежності для повзуна 14 (рис. 1):

$$s_i = a_k \cdot [R_k], \quad V_i = b_k \cdot [R_k \omega_1], \quad W_i = c_k \cdot [R_k \omega_1^2],$$

де ω_1 — кутова швидкість вхідної ланки механізму.

Технологічно необхідні поточні положення коромисла O_2D :

$$\gamma_i = \delta_i + \arctg\left(\frac{e}{s_i}\right). \quad (2)$$

Кутові швидкість ω_2 і прискорення ε_2 коромисла (або кривошипа з нерівномірним обертанням та паузою) 8 визначаємо за відомими залежностями як похідні від його поточних кутових переміщень γ_i .

Наступною стадією синтезу механізму привода пуансона є *синтез важільно-кулачкового контуру механізму* переміщення напівфабрикатів, який відомий з [6]. За потреби можливо також застосовувати планетарні кулачкові механізми іншої будови, які описані в [7].

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 2) рух від кривошипа O_1A до веденого двоплечого кривошипа O_1C передається через важелі AB і BC . Корегування руху здійснюється завдяки обкочуванню ролика з центром D вздовж центрального профілю нерухомого кулачка. Тобто кут ψ між кривошипами програмно змінюється так, щоб забезпечити вихідній ланці 8 комбінованого механізму необхідний ЗПР. У результаті обкочування ролика вздовж центрального профілю нерухомого кулачка коромисло CD хитається на кут $\Delta\phi_i$.

Розрахунки виконуємо, наприклад, для циклового кута паузи 30° та частоти обертання вала кривошипа $n = 80$ об/хв.

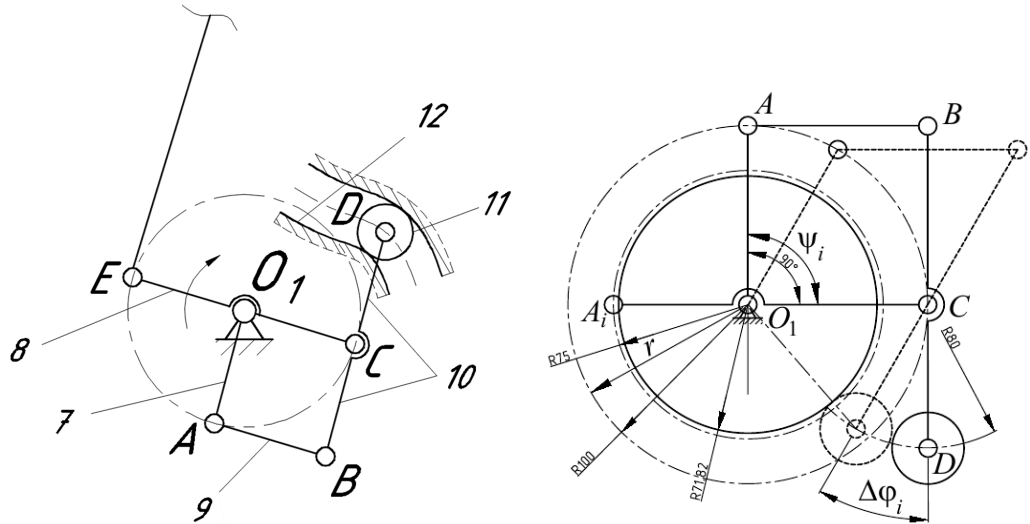


Рис. 2. Кінематична та розрахункова схеми модуля трансформації руху

$$\text{Кутова швидкість ведучого кривошипа } \omega_1 = n \frac{\pi}{30} = 8,378 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{Цикл обертання вала } O_1 \text{ } T_{np} = \frac{\phi_{np} \cdot 60}{n \cdot 2\pi} = 0,75 \text{ с.}$$

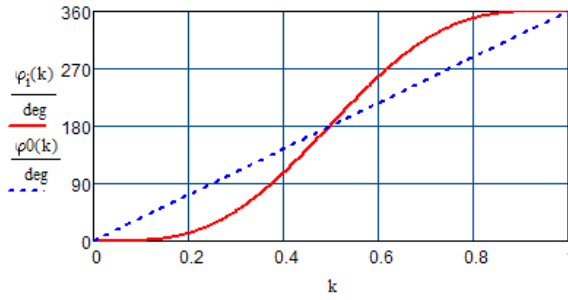
$$\text{Поточний кут обертання вала } O_1 \text{ } \phi_0(k) = \phi_i(0) + \omega_1 \cdot k \cdot T_{np}.$$

Поточні положення коромисла CD корегувального кулачкового механізму обчислюються як різниця $\Delta\phi_i$ між необхідними поточними кутами веденого кривошипа і поточним кутом обертання вала O_1 (рис. 3).

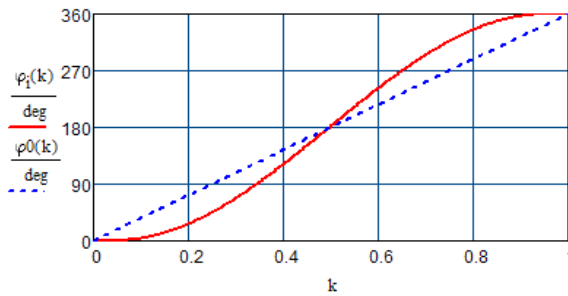
Необхідний розмах коромисла CD корегувального кулачкового механізму:

$$\Delta\psi = \Delta\phi_{\max} - \Delta\phi_{\min}.$$

Для ЗПР C_0 $\Delta\psi = 129,8^\circ$, за тих самих умов для ЗПР K_0 $\Delta\psi = 93^\circ$.



а



б

Рис. 3. Положення ведучого O_1A і веденого кривошипа O_1C корегувального комбінованого механізму протягом циклу для ЗПР: а — «синусоїда»; б — «косинусоїда»

Проводимо розрахунок механізму з параметрами, що обрані з технологічних та конструкційних міркувань:

- кут між ведучим і веденим кривошипами на початку циклу $\psi_0 = 135^\circ$;
- довжини ланок корегувального ШЧМ: $CB = 0,15$ м, $AB = 0,15$ м;
- радіус ведучого кривошипа $O_1A = 0,15$ м;
- радіус веденого кривошипа $O_1C = 0,15$ м;
- довжина коромисла кулачка: $CD = 0,06$ м.

Поточний радіус-вектор корегувального кулачка розраховуємо згідно з рекомендаціями [8], м:

$$\rho_i = \sqrt{O_1C^2 + CD^2 - 2O_1C \cdot CD \cdot \cos(\psi_0 + \Delta\phi_i)}. \tag{5}$$

Кут між радіус-вектором корегувального кулачка і кривошипом:

$$\mu_0 = \arcsin \frac{CD \cdot \sin(\psi_0 + \Delta\phi_i)}{\rho_i} \tag{6}$$

Розрахунки виконувались у середовищі *Mathcad* з використанням програмного забезпечення [8]. Вигляд і габарити отриманих в центрових профілів корегувальних кулачків для забезпечення під час руху пуансона-формувача ЗПР C_0 та K_0 та циклового кута паузи у верхньому положенні у 60° (рис. 4).

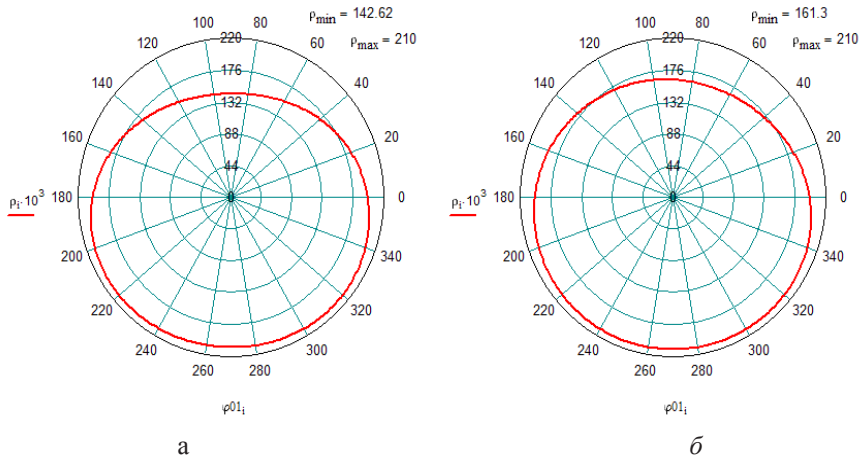


Рис. 4. Центрові профілі корегувальних кулачків для ЗПР:
а — «синусоїда»; б — «косинусоїда»

Висновки. Проведений аналіз наявних технологій свідчить, що застосування машин для здійснення операції об'ємного формування картонної тари набуло широкого поширення. Привод базового механізму формувача-пуансона у цьому обладнанні потребує удосконалення.

Розроблено кінематичні схеми привода, що містять принципово новий комбінований механізм. Рух ведучого кривошипа, що обертається з постійною швидкістю, трансформується у програмований нерівномірний обертвий рух веденого кривошипа завдяки наявності важільно-кулачкового механізму з нерухомим кулачком. Результатом корекції руху ланок є виконавча ланка механізму (повзун із закріпленням на ньому пуансоном-формувавцем) переміщується за необхідним законом з паузою у крайньому положенні.

Запропоновано методику розрахунку та синтезовані розміри ланок механізму, що дає змогу обрати раціональний закон руху пуансону-формувавчу. Запропонований метод синтезу може бути застосований під час проектування пристрою не тільки на основі механічного, а й інших типів привода.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kolomiets A. B., Kotovskii O. O. Improvement of the cardboard tray and case forming mechanisms. *Collection of scientific reports. VI International scientific and technical conference devoted to problems in higher education and science "Progressive directions of technological complexes development"* ТК-2020. Lutsk, 2020. June 2–4. Pp. 197–199.
2. Кіницький Я. Т., Харжевський В. О., Марченко М. В. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посіб. Хмельницький : ХНУ, 2014. 295 с.
3. Sclater N. Mechanisms and mechanical devices sourcebook. McGraw-Hill, 2011. 560 p.
4. Пристрій для об'ємного формування картонних паковань і тари : пат. №121776 Україна. МПК В31В 50/26, В65D 5/00, В26F 1/38, F16Н 21/22. №а201801165 ; заяв. 07.02.2018 ; опубл. 27.07.2020, Бюл. №14/2020.

5. Коломиєць А. Б., Стеців Я. Б. Синтез нових механізмів перемещення полуфабрикатів в самонакладах поліграфічного і упаковочного обладнання. Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- і медіатехнології. Мінськ : БГТУ, 2017. № 1 (195). С. 21–27.
6. Кулачково-важільний механізм : пат. №97334 Україна. МПК F16H 25/02, F16H 53/00. № a201104492 ; заявл. 12.04.11 ; опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2/2012.
7. Senkus V., Kolomiets A., Behen P., Kotovskii O. Planetary cam mechanisms of one-directional movement with a stop. *Scientific foundations of solving engineering tasks and problems: collective monograph* / Demchyna B., Vozniuk L. etc. International Science Group. Boston : Primedia eLaunch, 2021. 758 p. Pp. 577–585. DOI: 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-577-585.
8. Полюдов О. М., Кузнецов В. О., Коломиєць А. Б. Розрахунки циклових механізмів поліграфічних і пакувальних машин на персональному комп'ютері (теорія, програми, інструкції) : навч. посіб. Львів : УАД, 2004. 94 с.

REFERENCES

1. Kolomiets, A. B., & Kotovskii, O. O. (2020). Improvement of the cardboard tray and case forming mechanisms. *Collection of scientific reports*. VI International scientific and technical conference devoted to problems in higher education and science “Progressive directions of technological complexes development” TK-2020. Lutsk, June 2–4, 197–199 (in English).
2. Kinyts'kyu, Ya. T., Kharzhevs'kyu, V. O., & Marchenko, M. V. (2014). Teoriya mekhanizmiv i mashyn v systemi Mathcad. Khmel'nyts'kyu : KhNU (in Ukrainian).
3. Sclater, N. (2011). Mechanisms and mechanical devices sourcebook. McGraw-Hill (in English).
4. Prystryi dlya ob'yemnoho formuvannya kartonnykh pakovan' i tary : pat. №121776 Ukrayina. МПК B31B 50/26, B65D 5/00, B26F 1/38, F16H 21/22. №a201801165 ; zayav. 07.02.2018 ; opubl. 27.07.2020, Byul. №14/2020 (in Ukrainian).
5. Kolomiec, A. B., & Steciv, Ja. B. (2017). Sintez novykh mekhanizmiv peremeshhenija polufabrikatov v samonakladah poligraficheskogo i upakovochного oborudovaniya: Trudy BGTU. Ser. 4, Print- i mediatehnologii. Minsk : BGTU, 1 (195), 21–27 (in Russian).
6. Kulachkovo-vazhil'nyy mekhanizm : pat. №97334 Ukrayina. МПК F16H 25/02, F16H 53/00. № a201104492 ; zayavl. 12.04.11 ; opubl. 25.01.2012, Byul. № 2/2012 (in Ukrainian).
7. Senkus, V., Kolomiets, A., Behen, P., & Kotovskii, O. (2021). Planetary cam mechanisms of one-directional movement with a stop. *Scientific foundations of solving engineering tasks and problems: collective monograph* / Demchyna B., Vozniuk L. etc. International Science Group. Boston : Primedia eLaunch, 577–585. DOI: 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II-577-585 (in English).
8. Polyudov, O. M., Kuznetsov, V. O., & Kolomiyets', A. B. (2004). Rozrakhunky tsyklovykh mekhanizmiv polihrafichnykh i pakuval'nykh mashyn na personal'nomu komp'yuteri (teoriya, prohramy, instruktsiyi). L'viv : UAD (in Ukrainian).

doi: 10.32403/2411-3611-2021-1-39-71-78

SYNTHESIS OF CAM PROFILE OF PUNCH DRIVE MECHANISM IN EQUIPMENT FOR VOLUMETRIC FORMATION OF CARDBOARD PACKAGING

O. O. Kotovskii, A. B. Kolomiets, P. V. Topolnitskii

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

The methodological basis of the study is the principles of complexity, reliability and scientific objectivity, based on the priority of the theory of machines and mechanisms, research in the field and practical experience in production. To determine the degree of development of the topic there have been included some general scientific methods — analysis, comparison, synthesis, which have made it possible to identify the most important factors influencing the effectiveness of the mechanism.

In the study (based mainly on unpublished data) there have been offered few schemes of the mechanical drive of the forming punch which carries out pushing of a cardboard one-up in “tunnel” in automatic machines for perform the operation of volumetric formation of boxes and trays. The work of one of the presented combined mechanisms is considered. The synthesis of the selected mechanism have been performed for the case of programming a short cycle pause and an application of different laws of forming punch motion have been compared. The obtained results clearly demonstrates the differences between the calculated geometrical parameters of the links and the center profiles of the adjusting cam, which allowed to develop recommendations for the design of the forming punch mechanical drive.

The scientific novelty of the results lies in the fact that there have been developed method of geometric and kinematic synthesis of the new compact mechanism. The mathematical dependences have been deduced, which are necessary for construction of a profile of the motionless cam program carrier.

Application of the considered combined mechanism calculation method allows achieving optimum-rational geometrical parameters at designing. The proposed method of synthesis can be applied to the device as for mechanical so also for other types of drive.

Keywords: *cardboard, volumetric formation, box, tray, forming punch, drive, combined mechanism, cam.*

Стаття надійшла до редакції 06.05.2021.

Received 06.05.2021.