



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

39(1)

Харчова
ПРОМИСЛОВІСТЬ

Заснований у 1965 р.

Київ НУХТ 2026

- Полицук Г. С., Терещук М. В., Іващенко О. М. 124 *Polishchuk G., Tereshchuk M., Ivashchenko O.* Current trends in cream cheese production
Сучасні тренди у виробництві крем-сиру
- Прибыльський В. Л., Дулька О. С., Бондар М. В., 138 *Prybyl'skyi V., Dulka O., Bondar M., Boiko P.* Artificial intelligence and intellectual property
Бойко П. М. Інтелектуальна власність як складова формування академічної доброчесності
- Гусятинська Н. А., Потапчук І. М., Крапивницька І. О. 148 *Husiatynska N., Potapchuk I., Krapivnytska I.* Microbiological containment monitoring and sanitary and hygiene measures in sugar production
Моніторинг мікробіологічної забрудненості та санітарно-гігієнічні заходи у виробництві цукру
- Бойко О. О., Андріюк О. П. 159 *Boiko O., Andriiuk O.* Scientific substitution of the concept of critical infrastructure of the food industry, its classification and analysis of current threats to its functioning
Наукове обґрунтування класифікації об'єктів критичної інфраструктури харчової промисловості та аналіз актуальних загроз для її функціонування

РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Процеси харчових виробництв

Ощипок І. М. Обґрунтування енергоефективності параметрів пароконтактного термокоагулятора з розподіленим вводом пари

Обладнання та устаткування

Кривопляс-Володіна Л. О., Костін В. Б., Деренівська А. В. Кінематичний аналіз важільного механізму укладальника пляшок

Кохан А. А., Володін С. О., Гурський П. В., Малик І. Я., Токарчук С. В. Імовірнісний підхід до визначення раціональних параметрів транспортно-накопичувальних модулів ліній пакування штучних харчових виробів у споживчу упаковку

Бондарчук Д. С., Якобчук Р. Л. Обґрунтування вибору продукту для сушіння в малогабаритних сушильних апаратах з дисковим пристроєм розпилення

Харченко Є. І., Шаран А. В. Моделювання втрат тиску у вертикальній пневмотранспортній установці з розгінною ділянкою

Зьоменко О. С., Житнецький І. В., Власов М. І., Губеня О. О., Чепелиук О. О. Вплив фізичних властивостей сировини та закону руху пуансонів на якісні показники таблетки

SECTION 2. PROCESSES AND EQUIPMENT

Processes of Food Industries

169 *Oshchypok I.* Justification energy-efficient of the parameters of a steam-contact thermocoagulator with distributed steam injection

Equipment and machinery

180 *Kryvoplias-Volodina L., Kostin V., Derenivska A.* Kinematic analysis of the lever mechanism of the bottle stacker

187 *Kokhan A., Volodin S., Gurskyi P., Malyk I., Tokarchuk S.* Probability approach to determining rational parameters of transport and storage modules of packaging lines of piece food products in consumer packaging

196 *Bondarchuk D., Yakobchuk R.* Justification of product selection for drying in small-sized dryers with disk spraying device

211 *Kharchenko Y., Sharan A.* Modeling of pressure loss in a vertical pneumatic conveying unit with an acceleration section

222 *Zomenko O., Zhytnetskyi I., Vlasov M., Gubenia O., Chepeliuk O.* Effect of physical properties of raw materials and law of punch movement on quality indicators of tablets

KINEMATIC ANALYSIS OF THE LEVER MECHANISM OF THE BOTTLE STACKER

L. Kryvoplias-Volodina, ORCID ID: 0000-0001-9906-6381

V. Kostin, ORCID ID: 0009-0006-6040-2476

A. Derenivska, ORCID ID: 0000-0003-0032-7583

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Keywords:

bottle manipulators for case, packing, gripping head, kinematic parameters, glass bottle arrays

Article history:

Received 09.12.2025

Received in revised form 10.01.2026

Accepted 22.01.2026

Published 27.02.2026

Corresponding author:

A. Derenivska

E-mail:

kafedrampt@gmail.com

DOI: 10.24263/2225-2916-2026-39-1-20

ISSN 2225-2916



Abstract

This article continues the research on the kinematics of a bottle packer's executive mechanism. It focuses on the final, third stage of the process: the vertical lowering of the gripping head with an array of bottles into a transport container. The study begins by building a detailed mathematical model for this movement. It derives equations for the velocity and acceleration of the suspension point of the gripping head, which are crucial for understanding the dynamic behavior of the mechanism.

Furthermore, the authors propose a simplified analytical model. This model provides approximate values for key parameters, making it practical for real-world engineering calculations and design optimization. The research also identifies the specific angles of rotation for the crank and connecting rod during each of the three operational stages: the first stage (from 42 to 71 degrees), the second stage (from 71 to 251 degrees), and the third stage (from 251 to 303 degrees).

A critical finding of the research is the importance of ensuring a guaranteed reversible movement of the connecting rod to prevent the mechanism from jamming. This is achieved by maintaining the critical tilt angle of the connecting rod to the vertical within a narrow range of 2 to 3 degrees. The results show that during the third stage, the velocity of the gripping head's hinge increases from 0.13 m/(time unit) to a peak of 0.27 m/(time unit) before decreasing to 0.21 m/(time unit).

The acceleration, on the other hand, rises from 0.013 to 0.16 before dropping to -0.33 m/(time unit)². By providing this comprehensive analysis of the kinematic parameters, the study offers a methodology for optimizing the design and smoothness of the packing equipment's executive mechanisms. This helps avoid soft impacts, which are a major concern when handling glass bottles, thereby ensuring the reliability and continuous operation of the entire packaging line.

УДК 621.869.8

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ УКЛАДАЛЬНИКА ПЛЯШОК

Л. О. Кривопляс-Володіна, д-р техн. наук, ORCID ID: 0000-0001-9906-6381

В. Б. Костін, канд. техн. наук, ORCID ID: 0009-0006-6040-2476

А. В. Деренівська, канд. техн. наук, ORCID ID: 0000-0003-0032-7583

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Безвідмовне функціонування пакувальних ліній залежить від ефективної роботи модулів, які виконують операції переміщення, переорієнтування та позиціонування упаковки. Об'єктом дослідження є технологічний процес переорієнтування масиву скляних пляшок зі стола-накопичувача в транспортну тару. Отримано математичні залежності для характерних етапів переміщення, які описують кінематичні параметри руху підвіски захватної головки, що дає змогу оптимізувати конструкцію укладальника і технологічний процес переорієнтування масиву скляних пляшок.

Ключові слова: пристрій для укладання упаковок, механізм переміщення, захватна головка, кінематичні параметри.

Вступ. Надійне функціонування лінії пакування залежить від ефективного виконання операцій переміщення, переорієнтування та позиціонування упаковки.

Розробка та виготовлення укладальників пляшок, які забезпечують ці умови, не можливі без побудови імітаційних моделей і виконання розрахунків різного призначення: розробка структурних, кінематичних та силових параметрів [1—6].

Одним із характерних модулів є виконавчий механізм укладальника скляних пляшок, кінематична схема роботи якого зображена на рис. 1.

У попередній статті [7] були розглянуті кінематичні параметри переміщення шарніра захватної головки для перших двох етапів:

етап I — вертикальна ділянка підйому захватної головки з масивом пляшок,

$$\varphi_{\text{поч1}} \leq \varphi_1 \leq \varphi_{\text{поч2}};$$

етап II — радіальна ділянки переорієнтування масиву пляшок захватною головою, $\varphi_{\text{поч2}} \leq \varphi_1 \leq \varphi_{\text{поч3}};$

етап III — вертикальна ділянка опускання захватної головки з масивом пляшок, $\varphi_{\text{поч3}} \leq \varphi_1 \leq \varphi_{\text{кін3}}.$

Мета статті: дослідження, визначення та обґрунтування кінематичних параметрів процесу вертикального опускання масиву скляних пляшок у транспортну тару за допомогою захватної головки укладальника.

Матеріали і методи. Методи дослідження — аналіз, синтез, графічне моделювання траєкторії переміщення ланок і шарніра захватної головки укладальника, математичне моделювання кінематичних параметрів переміщення шарніра захватної головки та граничних умов.

Об'єкт дослідження — технологічний процес переорієнтування масиву скляних пляшок зі стола накопичувача в транспортну тару.

Предмет дослідження — часові характеристики етапів переміщення та кінематичні параметри руху шарнірів і ланок під час роботи укладальника скляних пляшок.

Результати дослідження. Розрахункова схема для визначення параметрів руху захватної головки на ділянці опускання пляшок у тару (етап III) представлена на рис. 2.

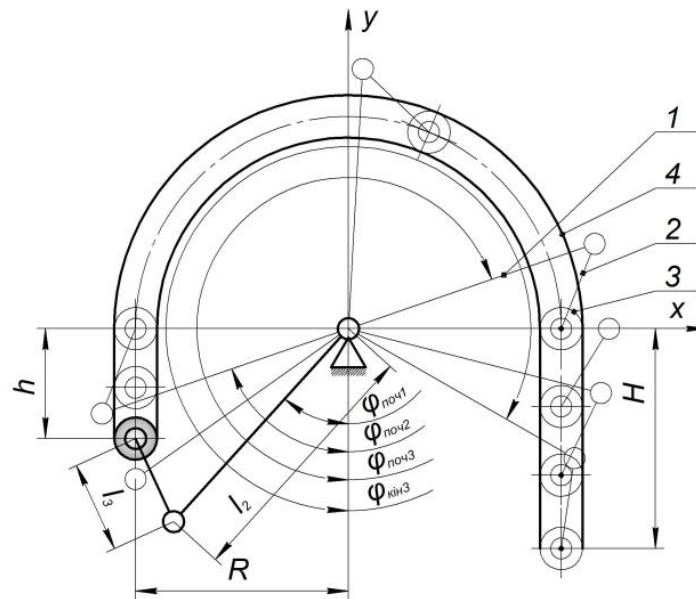


Рис. 1. Кінематична схема переміщення шарніра кріплення захватної головки:
1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — шарнір кріплення захватної головки; 4 — напрямна

Для проведення дослідження кінематичних параметрів руху точки В (підвіски захватної головки) необхідно визначити залежність кута повороту шатуна від кута повороту кривошипа.

Робочий кут повороту кривошипа під час вертикального опускання захватної головки з масивом пляшок знаходиться в межах:

$$\varphi_{\text{поч3}} \leq \varphi_3 \leq \varphi_{\text{кін3}}, \quad (1)$$

де φ_3 — кут повороту кривошипа на III етапі; $\varphi_{\text{поч3}} = \varphi_{\text{кін2}}$ — початкове значення кута повороту кривошипа на III етапі; $\varphi_{\text{кін2}}$ — кінцеве значення кута повороту кривошипа на II етапі; $\varphi_{\text{кін3}} = \frac{\pi}{2} - \varphi_0$ — кінцеве значення кута повороту кривошипа на III етапі.

Величина переміщення кривошипа до горизонтального положення на першому підетапі третього етапу становить:

$$\varphi_{3\text{max}} = \arccos\left(\frac{R^2 + l_2^2 - l_3^2}{2Rl_2}\right),$$

де R — радіус криволінійної траєкторії переміщення шарніра захватної головки на другому етапі, l_2 — довжина кривошипа 1, l_3 — довжина шатуна 2.

Величина переміщення кривошипа до кінцевого положення захватної головки під час вкладання шару пляшок в транспортну тару на другому підетапі третього етапу визначається з рівняння отриманого за допомогою проєктування відповідних відрізків (рис. 2) на вісь OY:

$$l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}}) = R + l_3 \cdot \sin(\psi_{3\text{пот}}) \quad (2)$$

за прийняття умови забезпечення гарантованого реверсивного руху шатуна без заклинювання механізму переорієнтування та значенням кута нахилу шатуна до вертикалі $\psi_{3\text{пот}}$ рівного критичному $\psi_{3\text{кр}} = 2 \dots 3^\circ$.

$$\varphi_{3\text{кін}} = \arccos\left(\frac{R + l_3 \cdot \sin(\psi_{3\text{кр}})}{l_2}\right). \quad (3)$$

Поточне значення кута нахилу шатуна до вертикалі аналогічно з рівнянням (2):

$$\psi_{3\text{пот}} = -\arcsin\left(\frac{R - l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}})}{l_3}\right). \quad (4)$$

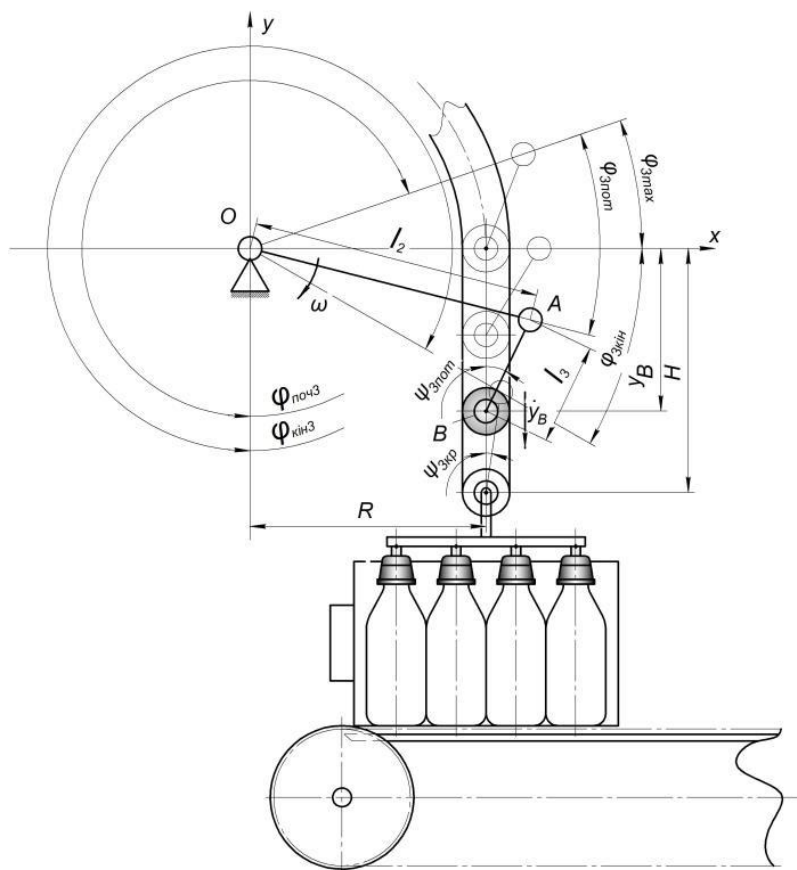


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення параметрів руху захватної головки на ділянці опускання пляшок в тару: 1 — напрямна; 2 — шарнір кріплення захватної головки

На першому підетапі переміщення кривошипа на кут $\varphi_{\text{почз}} \leq \varphi_3 \leq 270^\circ$ величина переміщення, після проектування відповідних відрізків на вісь OY , описується залежністю:

$$\begin{cases} 0 \leq \varphi_{3\text{пот}} \leq \varphi_{3\text{max}} \\ y_B = l_3 \cdot \cos(\psi_3) - l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}), \end{cases} \quad (5)$$

де $\varphi_{3\text{пот}}$ — величина кута переміщення кривошипа на третьому етапі.

На другому підетапі з переміщенням кривошипа на кут $270^\circ \leq \varphi_3 \leq (270^\circ + \varphi_{3\text{кін}})$:

$$\begin{cases} 0 \leq \varphi_{3\text{пот}} \leq \varphi_{3\text{max}} ; \\ y_B = l_3 \cdot \cos(\psi_3) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}). \end{cases} \quad (6)$$

Наближене значення швидкості руху захватної головки отримаємо диференціюванням залежностей для визначення переміщення y_B із систем рівнянь (5), (6). При цьому використано такі перетворення та припущення:

швидкість:

$$V_B = \dot{y}_B = \frac{dy_B}{dt} = \frac{dy_B}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \cdot \frac{dy_B}{d\varphi}, \quad (7)$$

де $\frac{d\varphi}{dt} = \omega = \text{const}$ — кутова швидкість кривошипа;

прискорення:

$$a_B = \ddot{y}_B = \frac{dV_B}{dt} = \frac{dy_B}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \cdot \frac{d^2y_B}{d\varphi^2}. \quad (8)$$

Використовуючи рівняння (4), (5), (6), шляхом диференціювання та введення заміни були визначені всі кінематичні параметри переміщення т. В — шарніра захватної головки в залежності від кута переміщення кривошипа на третьому етапі:

перший підетап:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{\text{поч3}} \leq \varphi_3 \leq 270^\circ; \\ 0 \leq \varphi_{3\text{пот}} \leq \varphi_{3\text{max}}; \\ y_B = l_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{R - l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}})}{l_3}\right)^2} - l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}); \\ \dot{y}_B = \omega \cdot \left(l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}}) + \frac{l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}) \cdot A}{l_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} \right); \\ \ddot{y}_B = \omega \cdot \left(l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}) - \frac{l_2^2}{l_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} \cdot [\sin^2(\varphi_{3\text{пот}}) + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{A \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}})}{l_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} + \frac{A^2 \cdot \sin^2(\varphi_{3\text{пот}})}{l_3^2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} \right]; \\ A = R - l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}}), \end{array} \right. \quad (9)$$

другий підетап:

$$\left\{ \begin{array}{l} 270^\circ \leq \varphi_3 \leq \varphi_{\text{кін3}}; \\ \varphi_{\text{кін3}} = (270^\circ + \varphi_{3\text{кін}}); \\ 0 \leq \varphi_{3\text{пот}} \leq \varphi_{3\text{кін}}; \\ y_B = l_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{R - l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}})}{l_3}\right)^2} + l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}); \\ \dot{y}_B = \omega \cdot \left(l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}}) - \frac{l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}) \cdot A}{l_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} \right); \\ \ddot{y}_B = \omega \cdot \left(\frac{l_2^2}{l_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} \cdot \left[\frac{(l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}}) - R) \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}})}{l_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} - \dots \right. \right. \\ \left. \left. \dots - \sin^2(\varphi_{3\text{пот}}) + \frac{A^2 \cdot \sin^2(\varphi_{3\text{пот}})}{l_3^2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A}{l_3}\right)^2}} \right] - l_2 \cdot \sin(\varphi_{3\text{пот}}) \right); \\ A = R - l_2 \cdot \cos(\varphi_{3\text{пот}}). \end{array} \right. \quad (10)$$

Подальше дослідження кінематичних параметрів переміщення проведено з використанням безрозмірних коефіцієнтів.

Кут повороту кривошипа визначається за формулою:

$$\varphi_3 = \varphi_{\text{поч3}} + \omega \cdot k_t. \quad (11)$$

Безрозмірний коефіцієнт приросту часу $k_t \in [0,1]$:

$$k_t = \frac{t_{\text{пот3}}}{T_3}, \quad (12)$$

де $t_{\text{пот3}}$ — поточний час переміщення кривошипа на першому етапі, T_3 — загальний час переміщення кривошипа на третьому етапі.

Результати проведеного математичного моделювання процесу переорієнтування масиву пляшок за допомогою захватної головки важільним механізмом наведено на рис. 3.

Узагальнений графік зміни кінематичних параметрів на всіх трьох етапах переміщення шарніра захватної головки залежно від кута повороту кривошипа зображено на рис. 4.

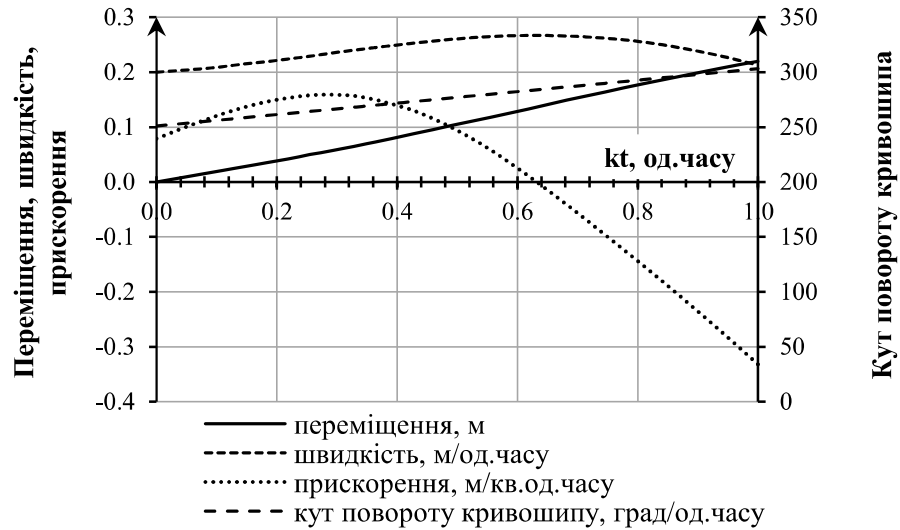


Рис. 3. Графіки зміни кінематичних параметрів переміщення шарніра захватної головки залежно від безрозмірного коефіцієнта приросту часу на третьому етапі

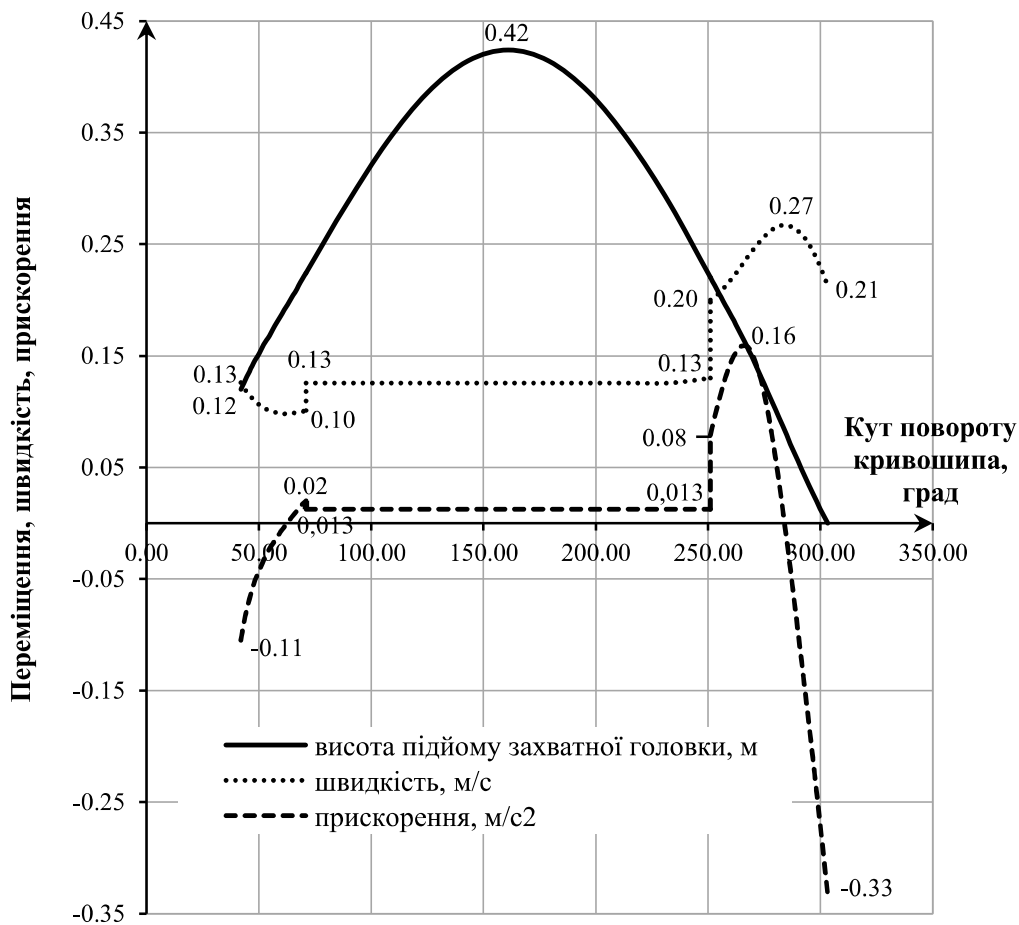


Рис. 4. Узагальнений графік зміни кінематичних параметрів переміщення шарніра захватної головки залежно від кута повороту кривошипа

Висновки. Проведені дослідження кінематики укладального пристрою визначають відповідні характерні кути повороту групи ланок — кривошипа і шатуна. Режим роботи укладальника за заданою розрахунковою схемою передбачає зміну залежностей кінематичних параметрів при проходженні наступних етапів, під час яких кривошип обертається: для першого етапу — від 42 до 71 град, для другого етапу — від 71 до 251 град, для третього етапу — від 251 до 303 град.

Результати дослідження кінематичних параметрів залежно від безрозмірного коефіцієнта приросту часу, відповідно до трьох етапів переміщення кривошипа, показали:

- перший етап. Швидкість переміщення шарніра захватної головки спадає від 0,13 до 0,1 м/(од. часу); прискорення зростає з 0,11 до 0,02 м/(од. часу)², при цьому змінюючи свій напрямок при досягненні кривошипом кута 62 град;

- другий етап. Швидкість і прискорення переміщення шарніра захватної головки не змінюються і складають, відповідно, 0,13 м/(од. часу) та 0,0126 м/(од. часу)²;

- третій етап. Швидкість переміщення шарніра захватної головки зростає з 0,13 м/(од. часу) до 0,2 миттєво, потім максимально до 0,27, а після чого спадає до 0,21 м/(од. часу); прискорення зростає з 0,013 до 0,16 після чого падає до 0,33 м/(од. часу)². Однією з важливих умов виконання третього етапу є забезпечення гарантованого реверсивного руху шатуна без заклинювання механізму. Це досягається за допомогою прийняття критичного значення кута нахилу шатуна до вертикалів у діапазоні 2...3 градусів.

Для збереження цілісності споживчої, транспортної тари та деталей рухомих елементів механізму укладальника й забезпечення необхідної продуктивності, використовуючи наведену методика визначення та аналізу кінематичних параметрів руху кривошипа, шатуна та точки кріплення шарніра захватної головки, можна визначити не тільки їх реальні значення, а й провести порівняльний аналіз щодо пошуку раціональних.

Результати цього дослідження можуть бути використані для оптимізації конструкції та плавності роботи виконавчих механізмів пакувального обладнання з метою уникнення м'яких ударів. Це, у свою чергу, дозволить забезпечити надійне та безперебійне функціонування всієї лінії пакування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов, С. П., Лінгур, В. М. (2019). Навчальний посібник з дисципліни «Маніпулятори та промислові роботи». Одес. нац. політех. ун-т. Одеса.
2. Kaltsoukalas, K., Makris S., Chryssolouris, G. (2015). On generating the motion of industrial robot manipulators. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 32, 65—71.
3. Abderrahim, M., Khamis, S., Garrido, L. (2024). Accuracy and calibration issues of industrial manipulators. *Industrial robotics: programming, simulation and application*, 131—146.
4. Павленко, І. І. (2016). *Промислові роботи та РТК*: монографія. Кропивницький.
5. Павленко І. І., Годунко, М. О. (2014). *Захватні пристрої роботів*: навчальний посібник. Кіровоград.
6. Губарев, О. П., Ганпанцурова, О. С. (2016). *Мехатроніка: циклічно-методичний підхід до вирішення практичних задач автоматизації*. Київ: КПІ.
7. Кривопляс-Володіна, Л. О., Костін, В. Б., Деренівська, А. В., Костюк, В. Б. (2024). Дослідження кінематики виконавчого механізму укладальника пляшок (частина 1). *Харчова промисловість*, 36, 124—132. Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/aa844a8f-3828-460c-9636-13820dadcf07>.