

УДК 621.867.42.001

Н.Кравець

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ СКЛЯНОЇ ТАРИ НА ПОДІЛЬНИКУ ПОТОКУ ЛІНІЙ РОЗЛИВУ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Резюме.* Представлено математичну модель складного руху виробів уздовж бічних напрямних на ланці розподілу потоку пластинчастими конвеєрами на лініях розливу та здійснено експериментальну перевірку отриманих теоретичних залежностей. Результати розрахунків добре узгоджуються з результатами моделювання та експерименту.

*Ключові слова:* подільник потоку, лінія розливу, математична модель.

N.Kravets

## RESEARCH OF THE PROCESS OF GLASS CONTAINER FORMISION ON THE DIVIZOR STREAM OF BOTTLES LINES IN THE PHARMACEUTICAL INDUSTRY

*The summary.* Presented mathematical model of difficult motion of wares along the lateral sending on the link of distributing of stream by plate conveyers on the lines of overflow and experimental verification of the got theoretical dependences is carried out. The results of calculations are in a good agreement with simulation and experiment results.

*Key words:* divizor stream, bottles lines, mathematical model.

**Постановка проблеми.** У фармацевтичній промисловості все більшу роль відводять стану транспортно-технологічних систем (ТТС) на лініях розливу та фасування ліків. Це пов'язано зі зростаючим об'ємом продукції, яка випускається [1]. Найважливішою умовою при цьому є збільшення пропускної здатності при утриманні значень технологічних показників на необхідному рівні.

Характерною особливістю ліній розливу є використання однопотоківих пластинчастих конвеєрів. Це викликано проектуванням ТТС із мінімальним числом транспортних операцій, що обмежує зростання продуктивності [2]. Пластинчасті конвеєри на лініях розливу є тихохідними (0,02-0,1м/с), бо швидкість проходження процесу розливу ліків суттєво залежить від пропускної здатності дозувальних пристроїв. Аналіз застосування типів і конструкцій дозувальних пристроїв поршневого типу, які використовуються на лініях розливу ліків, показав, що за їхніми технологічними параметрами є можливість здійснювати розлив у ємності місткістю 10-150мл. Відповідно, час наповнення флаконів ліками різний. Це призводить до затримки тари на підвідних транспортерах, відповідно зростають навантаження на конструктивні елементи конвеєра, які, не забезпечивши терміну напрацювання, потребують ремонту чи заміни під час експлуатації. Зменшення швидкісних параметрів ліній транспортування суттєво знижує продуктивність.

Вирішити цю проблему можливо за умови використання системи з кількома потоками. При цьому слід враховувати, що на лініях розливу ліків використовуються різні типорозміри склотари, а площі, щодо специфіки фармацевтичної галузі, обмежені за санітарно-гігієнічними стандартами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел із поставленої проблеми проводився за двома напрямками: вибір та аналіз обладнання для переходу на двопотокове транспортування скляної тари та складність математичного апарату для аналізу кінематичних і динамічних залежностей.

Позиції апаратної реалізації при розподілі потоку присвячені роботи А.І.Соколенка, О.Ю. Шевченко, С.М.Кожевнікова, Ф.К. Іванченка, Я.Г.Пановко [3-5]. В означених джерелах показано, що перехід від однопотокового до двопотокового позиціонування тари здійснюється за допомогою привідних або непривідних подільників. У першому випадку ділення потоку здійснюється примусово, під дією робочого органу, рух якого задається, а в непривідних – обкочуванням різних направляючих, планок і т.д. при переміщенні склотари за рахунок сил тертя між ними і несучим елементом транспортера. Автори зазначають, що використання привідних подільників використовується лише при детермінованому потоці руху вантажів; у випадку недетермінованого потоку задача ускладнюється. Також застосування дискових подільників потоку розраховано на встановлений діаметр тари циліндричної форми.

За випадків детермінованих підходів процеси розформування масивів організовуються на певних закономірностях за рахунок, наприклад, жорстких кінематичних зв'язків і послідовностей у виконанні окремих операцій. Недетерміновані підходи визначаються непрогнозованою послідовністю взаємодій між виробами, виробами та бічними напрямними, рухомими та нерухомими упорами і т.д. Але у цьому випадку необхідно знайти такі конструктивні рішення, які б реалізовували задану пропускну здатність.

У зв'язку з цим є актуальним питання встановлення оптимальних кінематичних параметрів при використанні двопотокових ТТС, підвищення стабільності транспортування і зменшення питомої енергоємності та витрат на ремонт, забезпечуючи необхідну продуктивність.

**Метою роботи** є встановлення залежностей між швидкісними характеристиками руху тари та конструктивними параметрами подільника потоку для унеможливлення затороутворення.

**Публікації і результати досліджень.** Для проведення досліджень з вирішення поставленого завдання використано запропонований автором пристрій [6] для розподілу потоку виробів, який містить підвідний і відвідні транспортери, нерухомі напрямні та орієнтатор (рис.1). Відповідно до винаходу, орієнтатор виконано у вигляді додаткового транспортера, розміщеного між відвідними транспортерами в продовження підвідного, причому привод додаткового транспортера кінематично зв'язаний з приводами відвідних з передаточним відношенням між додатковим і відвідними транспортерами більше 1, а саме  $1,1 \div 1,3$ .

Пристрій для розподілу потоку виробів (рис.1) складається з підвідного транспортера 1, перевантажувальної ланки 2, двох відвідних транспортерів 3, обмежувачів потоку 4, подільника потоку 6 та додаткового транспортера 5, встановленого в продовження підвідного транспортера 1 і розміщеного між відвідними транспортерами 3, причому додатковий транспортер 5 зв'язаний з відвідними транспортерами кінематичним вузлом з передаточним відношенням  $1,3 \div 1,8$ .

Коротко опишемо роботу. Потік виробів на підвідному транспортері 1 розміщується у „шахматному” порядку, тобто ширина транспортера становить  $1,5$  діаметра тари, що транспортується. Вироби з підвідного транспортера 1 за допомогою додаткового транспортера 5 подаються на відвідні транспортери 3. При цьому додатковий транспортер 5 утворює розподільчу поверхню, яка за рахунок допоміжного кінематичного вузла, що має передаточне відношення  $1,1 \div 1,3$ , забезпечує додатковий імпульс руху виробів почергово на відвідні транспортери, тобто підвищення швидкості їх переміщення на відвідних транспортерах 3. Внаслідок цього на транспортерах 3 унеможливується виникнення заторів. Окрім того, на відвідних транспортерах 3 можуть одночасно виконуватися різні технологічні процеси.

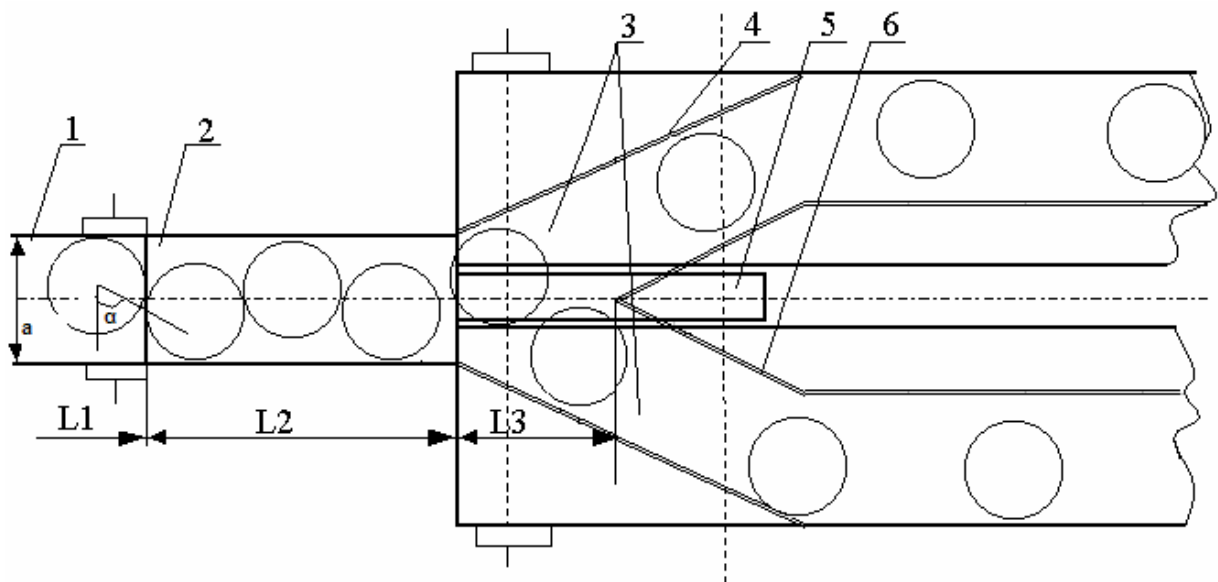


Рис. 1. Схема пристрою для розподілу потоку виробів

**Визначення кінематики переміщення флакона вздовж косої напрямної.** На етапі розподілу з подільником потоку з використанням додаткового конвеєра рух флакона контактує з опорною площиною за дугою кола й одночасно здійснює обертальний рух із частотою  $\omega$  та поступальний рух зі швидкістю центра мас (рис.1).

На рисунку 2 зображено розрахункову схему для визначення рушійного моменту та моменту сил тертя опору з опорною площиною.

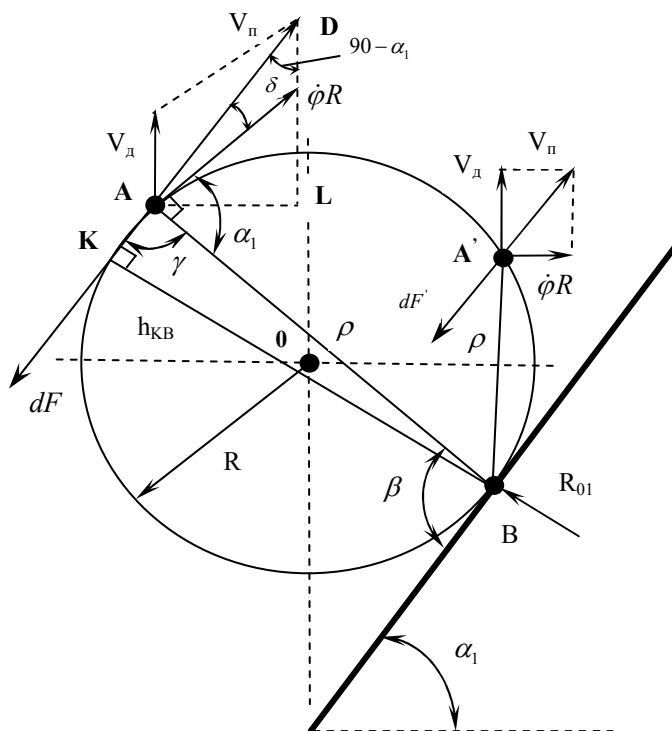


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення параметрів руху флакона на подільнику потоку

В точках А та А' лінії контакту флакона з опорною площиною виберемо елементарні ділянки довжиною  $dl$ . Числове значення сили тертя знайдемо з виразу

$$dF = f_0 \cdot q \cdot dl, \quad (1)$$

де  $f_0$  – коефіцієнт тертя з опорною площиною;  $q$  – питомий тиск:  $q = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot R}$ ,  $R$  – радіус кола контактної лінії.

Тоді

$$dF = \frac{f_0 \cdot m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot R} dl. \quad (2)$$

Елементарний момент від сили тертя  $dF$

$$dM = dF \cdot h_{KB}, \quad (3)$$

де  $h_{KB}$  – відстань від точки В контакту флакона з напрямною до лінії дії вектора елементарної сили тертя. Підставивши (2) в (3), отримаємо

$$dM = \frac{f_0 \cdot m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot h_{KB} dl. \quad (4)$$

У виразі (4) змінною є величина  $h_{KB}$ , яка залежить від  $\beta$ ,  $R$ ,  $V_d$ ,  $\dot{\varphi}R$ , де  $\dot{\varphi}$  – кутова швидкість обертального руху флакона.

Як бачимо з рис.2, елементарна складова сили тертя  $dF$  створює протидіючий обертанню момент, а в точці  $dF'$  – рушійний. Для нашого випадку маємо

$$\vec{V}_n = \vec{V}_d + \vec{\varphi} \vec{R}. \quad (5)$$

Так як напрямок і значення швидкості  $\vec{V}_d$  є фіксованими, плече елементарної сили  $dF$  ( $h_{KB}$ ) знайдемо за виразом

$$h_{KB} = \rho \cdot \sin(\gamma), \quad (6)$$

де  $\rho$  – радіус-вектор обертання флакона вздовж бічної напрямної. Як бачимо з рис.2,

$$\gamma = 90 - \delta. \quad (7)$$

Для трикутника  $ADL$  кут при вершині  $D$  дорівнює  $90 - \alpha_1$ , тобто використавши теорему синусів, отримуємо

$$\frac{\dot{\varphi}R}{\sin(90 - \alpha_1)} = \frac{V_d}{\sin(\delta)}, \quad (8)$$

звідки

$$\delta = \arcsin\left(\frac{V_d \cdot \sin(90 - \alpha_1)}{\dot{\varphi}R}\right) = \arcsin\left(\frac{V_d \cdot \cos(\alpha_1)}{\dot{\varphi}R}\right). \quad (9)$$

Підставивши вираз (9) у (7), з наступною підстановкою у вираз (6), вираз для плеча елементарної сили  $dF$

$$h_{KB} = \rho \cdot \sin\left(90^\circ - \arcsin\left(\frac{V_d \cdot \cos(\alpha_1)}{\dot{\varphi}R}\right)\right). \quad (10)$$

Довжину радіуса-вектора  $\rho$  як функції кута  $\beta$  у межах зміни рушійної сили як складової  $V_d$  від  $0^\circ$  до  $\frac{3}{4}\pi - \alpha_1$  визначаємо

$$\rho = 2R \cos(90^\circ - \beta) = 2R \sin(\beta). \quad (11)$$

Для кутів  $d\beta$  можна вважати:  $dl = \rho d\beta$ , тоді значення моменту рушійної сили знайдемо за виразом

$$M_{руш} = \frac{2f_1 mg}{\pi} \int_0^{\frac{3}{4}\pi - \alpha_1} \sin^2(\beta) \cdot \sin\left(90^\circ - \arcsin\left(\frac{V_d \cdot \cos(\alpha_1)}{\dot{\varphi}R}\right)\right) \cdot d\beta. \quad (12)$$

Якщо позначити реакції бічної  $R_{01}$  (рис.2), то момент опору переміщення кочення

$$M_{\text{оп}} = f_1 \cdot R_{01}, \quad (13)$$

де  $f_1$  – коефіцієнт тертя кочення.

Рівняння руху флакона на подільнику потоку записуємо у вигляді

$$I\ddot{\varphi} = M_{\text{руш}} = \frac{2f_1mg}{\pi} \int_0^{\frac{3}{4}\pi - \alpha_1} \sin^2(\beta) \cdot \sin\left(90^\circ - \arcsin\left(\frac{V_d \cdot \cos(\alpha_1)}{\dot{\varphi}R}\right)\right) \cdot d\beta - f_1R_{01}. \quad (14)$$

Розв'язання рівняння (14) виконується за початкових умов

$$t_{(n)} = 0; \varphi_{(n)} = 0; \dot{\varphi}_{(n)} = 0. \quad (15)$$

Рівняння (15) розв'язуємо методом послідовних наближень, задавши величину  $\dot{\varphi}$ , та здійснюємо розв'язання рівняння руху.

**Методика проведення експериментальних досліджень і результати.** Визначення кінематичних параметрів подільника потоку з застосуванням додаткового конвеєра проводили на лабораторному стенді (схема - рис.1) з використання отриманих результатів виразу (15).

Дослідження полягали у визначенні часу переходу флаконів на відповідний конвеєр для встановлення необхідного позиціонування флакона на відповідному конвеєрі, а також середньої швидкості переміщення флаконів уздовж бічної напрямної.

Дослідження проводили за такою схемою (рис.1):

- а) приводився в рух підвідний конвеєр;
- б) встановлювався кут бічної напрямної  $\alpha = 45^\circ$ ;
- в) приводився в рух відвідний конвеєр. Швидкість відвідного конвеєра плавним регулюванням встановлювалась по чергово після виконання 5 досліджень на кожній зі швидкостей відповідно до швидкості підвідного конвеєра  $V_d = 1,1V_n; V_d = 1,2V_n; V_d = 1,3V_n$ ;

г) змінювалась швидкість привідного конвеєра в діапазоні  $V_{\pm n} = 0,025 \div 0,04 \text{ м/с}$  із кроком  $\Delta V = 0,005 \text{ м/с}$ ; виконувались дослідження за пунктом в);

д) встановлювався кут нахилу бічної напрямної  $\alpha = 60^\circ$ ; виконувались дослідження за пунктами в) та г).

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що оптимальне співвідношення між швидкісними параметрами «підвідний конвеєр–додатковий конвеєр» становить  $V_d = 1,2 \cdot V_n$ .

Залежність часу переміщення флакона по нерухомій площині від швидкості підвідного конвеєра  $V_n$  при оптимальному значенні кута  $\alpha_{\text{опт}} = 17^\circ$  (рис.1) для флаконів різного діаметра зображено на рис. 3.

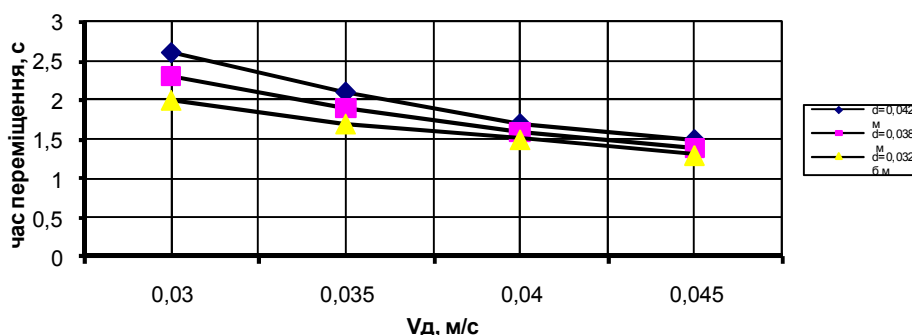


Рис. 3. Залежність часу переміщення флакона по бічній напрямній від швидкості додаткового конвеєра  $V_d$  ( $V_d = 1, 2 \cdot V_n$ ) для флаконів різного діаметра

**Висновки.** Отримано рівняння складного руху виробів уздовж бічних напрямних на ланці розподілу потоку та здійснено експериментальну перевірку теоретичних положень. Знайдено, що для випадку поступального та зворотно-обертального руху флаконів уздовж бічної напрямної швидкості переміщення центрів мас практично співпадають. Щодо кінцевого результату, то можна зробити висновок, що використання додаткового конвеєра при розподілі потоку може мати своє технічне застосування. Хоча слід відзначити, що організація процесів переміщення вантажів з поступальним рухом енергетично вигідніша, бо в цьому випадку відсутня кінетична енергія зворотно-обертального руху.

#### **Література**

1. Промышленная технология лекарств/ [М.Е. Чернов, М.М.Хохлова, Л.И. Богуславская и др.]; под ред. В.И.Чуешова. [3-е изд]. – Х.: Основа, – 1999. – 704 с.
2. Губський Т.П. Організація та економіка фармацевтичної справи / Т.П. Губський. – К: Вища школа, 1988. – 230с.
3. Погрузочно-разгрузочное и транспортное оборудование в перерабатывающей промышленности. Справочник [Сторишко И.И., Ярешко В.П., Валиулин Г.Р., Юхно М.И.]; под ред. А.И. Соколенко. – К: Урожай, 1990. – 152с.
4. Балашов В.Е. Механизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ в пивобезалкогольной промышленности / [Балашов В.Е., Верховский А.С., Моговой В.С.]. – Москва.: Пищевая промышленность, 1978. – 142с.
5. Резнік В.Г. Удосконалення методів розрахунку і обладнання ліній розливу: автореф. дис. на здобуття наук ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.09 "Машини харчової, мікробіологічної та фармацевтичної промисловості" / В.Г.Резнік. – Київ, 1999. – 20с.
6. Патент 70461А. Україна МПК 7 В65В5/10. Пристрій для розподілу потоку виробів / Кравець Н.О., Рогатинський Р.М.; заявник і патентовласник Тернопільський державний технічний університет ім. І.Пулюя; – №2003098777; заявл. 26.09.2003; опубл. 15.10.2004, Бюл. №10.

*Отримано 02.09.2010 р.*