

# ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ДИНАМІКИ, МІЦНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВОГО УСТАТКУВАННЯ

УДК 621.867.52

В. М. Корендій, О. В. Гаврильченко, В. С. Шенбор  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра механіки та автоматизації машинобудування

## ВІБРАЦІЙНІ ТРАНСПОРТНО-МАНІПУЛЮЮЧІ КОНВЕЄРИ ДЛЯ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

© Корендій В. М., Гаврильченко О. В., Шенбор В. С., 2018

Обґрунтовано переваги вібраційних конвеєрів з електромагнітними приводами коливань та еліптичними вібраціями. Переваги таких конвеєрів – відсутність пар тертя, мала споживана потужність, реверсивне і складне вібротранспортування. Проаналізовано можливості застосування вібраційних транспортних і транспортно-маніпулюючих конвеєрів для пакувального обладнання, наприклад, формування груп виробів, касетування виробів, маніпулювання виробами на площині тощо. На основі структурних і принципних схем вібраційних однокоординатних і багатокординатних конвеєрів з незалежним збудженням коливань створено вібраційний транспортно-маніпулюючий модульний конвеєр, сконструйований за тримасовою коливальною схемою із застосуванням ґраткових і плоских пружин, що забезпечують горизонтальні коливання транспортувальної площини у будь-якому напрямі. Описано конструкцію транспортно-маніпулюючого модуля, принцип його роботи та подано рекомендації щодо вибору робочої частоти пристрою. Розроблено методику розрахунку пружної системи модуля на жорсткість. Рекомендовано співвідношення коливальних мас для створення оптимальних моделей відповідного обладнання. Описано транспортно-технологічні можливості розробленого модуля, а саме одно-, дво- і багатокординатне транспортування деталей, обертання деталей на площині, складне транспортування виробів за будь-якими координатами площини з обертанням у будь-якій зоні площини. Запропоновано вібраційну систему щільного і нещільного укладання керамічних виробів після мокрого пресування на рухомому стрічку конвеєра з використанням одно- і двокоординатних конвеєрів з еліптичними коливаннями. Обґрунтовано технологічні можливості укладання виробів і подано залежності для забезпечення щільного і нещільного укладання виробів. Розглянуто можливості застосування вібраційних маніпулюючих систем укладання виробів для різних галузей промисловості та обґрунтовано напрями подальших досліджень за цією тематикою.

Ключові слова: вібраційний транспортер, транспортно-маніпулюючий модуль, електромагніт, якір, ґраткова пружина, плоска пружина, укладання виробів.

The advantages of vibratory conveyors with electromagnetic drives of oscillation and elliptical vibrations are substantiated. The advantages of such conveyors are the absence of friction pairs, low power consumption, reversible and complex vibration transportation. It has been analysed the possibilities of application of vibratory transporting and manipulating conveyors for packaging equipment, for example, for formation of product groups and cassettes, product manipulation on a plane, etc. On the basis of structural and principal diagrams of vibratory single-coordinate and multi-coordinate conveyors with independent oscillation excitation, a vibratory transporting and manipulating module conveyor is developed. This conveyor is designed according to the three-mass oscillation scheme with the use of lattice and flat springs, which provide horizontal fluctuations of the

transporting plane in any direction. The design of the transporting and manipulating module, the principles of its operation and the recommendations for choosing the operation frequency are described. The technique of calculating the elastic system of the module is developed. The ratios of oscillating masses are recommended to develop optimal models of the corresponding equipment. It is described the transporting and technological possibilities of the developed module, namely, single-, two- and multi-coordinate transportation of parts, rotation of parts on a plane, complex transportation of products at any coordinate of a plane with rotation on any zone of a plane. The vibration system of dense and loose laying of ceramic products after wet pressing on a moving conveyor belt using one- and two-coordinate conveyors with elliptical oscillations is proposed. The technological possibilities of packing products are substantiated and the dependences for providing dense and loose packing of products are given. The possibilities of implementation of vibratory manipulating systems of products packaging for various industries are considered, and the directions of further research are considered.

**Key words:** vibratory conveyor, transporting and manipulating module, electromagnet, anchor, lattice spring, flat spring, arrangement of products.

**Вступ.** Вібраційні конвеєри з електромагнітними приводами з успіхом застосовують у різних галузях промисловості. У пакувальному обладнанні вони незамінні для подавання кускових і штучних продуктів у модулі пакування. На основі вібраційних однокоординатних конвеєрів створено багатокординатні пристрої, які розширюють функціональні можливості відомих конструкцій. Ці розробки розширили діапазон наукових і технічних пошуків у цьому напрямі вібротехніки.

**Постановка проблеми.** Під час створення вібраційної техніки важливим завданням є максимальне використання можливостей, які надають механічні багатомасові коливальні системи з електромагнітним приводом коливань і багатоконтактними пружними системами різних типів. Тому перед розробниками постають доволі складні проблеми удосконалення відомих або створення нових структурних і конструктивних схем вібраційних пристроїв з метою розширення їх технологічних можливостей, покращення параметрів та удосконалення методик розрахунків.

У процесах пакування штучних виробів виникає потреба в автоматичному маніпулюванні виробами на площині, наприклад, необхідно: формувати ряди (групи) виробів і передавати їх на наступні технологічні операції, касетувати вироби, готувати вироби до пакування.

Ці операції можна ефективно виконувати за допомогою вібраційних транспортно-маніпулюючих конвеєрів з електромагнітним приводом у багатомасових коливальних системах. Проблеми створення нових моделей і удосконалення відомих завжди актуальні й потребують ефективних рішень.

**Аналіз інформаційних джерел за тематикою досліджень.** Кафедра механіки та автоматизації машинобудування і науково-дослідна лабораторія НДЛ-40 Львівської політехніки тривалий час ведуть дослідження у галузі вібраційної техніки і технології. Результатом цих робіт став значний прорив у цій галузі. Особливо ефективними були роботи зі створення засобів орієнтування, сепарування, лічення виробів і деталей, вібраційного транспортування, вібраційного технологічного оброблення деталей.

Ця публікація стосується вібраційного транспортування. Першими моделями пристроїв вібротранспортування з електромагнітними приводами й еліптичними коливаннями, що впроваджені у виробництво, були розробки початку 80-х років ХХ ст. НДЛ-40 Львівської політехніки, створені творчим колективом наукових співробітників під керівництвом проф. В. О. Повідайла. Роботи ґрунтувалися на двох авторських свідоцтвах СРСР [1, 2]. Вони започаткували дослідження зі створення цілої гами вібраційних реверсивних транспортерів і вібраційних транспортно-маніпулюючих модулів. Ці пристрої були застосовані за автоматизації та механізації виробництва і для робототехнічних систем [3–5].

Пристрої створюють за структурними схемами транспортерів з незалежним багатоконтактним збудженням коливань і електромагнітним приводом у дво-, три- і багатомасових коливальних системах з комбінованими пружними системами. Особливості таких пристроїв – їх широка універсальність,

можливість створення різних режимів вібротранспортування, відсутність пар тертя у пристроях, дуже мала споживана потужність, дистанційне або програмне керування роботою модулів і систем. Транспортні та транспортно-маніпулюючі операції можна здійснювати над легкоушкоджуваними деталями, мініатюрними деталями і виробами, покриття та фарбування яких здійснено за допомогою “делікатних” (еліптичних) вібрацій і безвідривних режимів роботи. Окрім того, транспортні й транспортно-маніпулюючі модулі можна легко вмонтовувати в комплекси автоматизованого і механізованого обладнання та гнучкі виробничі системи, замінюючи складні маніпулятори та роботи.

**Мета і завдання роботи.** Завдання цієї публікації – удосконалення транспортно-маніпулюючого модуля [2], створення методики розрахунку пружних систем модуля на жорсткість та розроблення й обґрунтування структурних схем укладання виробів на рухомому стрічку конвеєра.

**Виклад основного матеріалу.** Транспортно-маніпулюючий модуль розроблений та сконструйований за тримасовою коливальною схемою [2, 6] (рис. 1) і має три коливальні маси  $m_1$ ,  $m_2$  і  $m_3$ , що з’єднані між собою комбінованими пружними системами. Робоча (транспортувальна) маса  $m_1$  складається з транспортувальної площини 1 квадратної (прямокутної, кругової чи будь-якої іншої) форми. Транспортувальна поверхня може бути покрита харчовими плівками, мати напилення або різні покриття. Площина 1 жорстко з’єднана з круговим барабаном 5, на внутрішній круговій поверхні якого через  $90^\circ$  закріплені чотири якорі 2 для створення поздовжньо-поперечних коливань конструкції. До дна барабана закріплений якір 3 для створення вертикальних коливань і чотири кронштейни 4 для закріплення граткових пружин 12 поздовжньо-поперечних коливань (за координатами  $x-x$  і  $y-y$ ). Проміжна маса  $m_2$  складається з барабана 6 з привареними до нього через  $90^\circ$  двома парами електромагнітів 7 поздовжньо-поперечних коливань і чотирьох кронштейнів 8 для закріплення граткових пружин 12. Реактивна маса  $m_3$  складається із товстостінної труби 9 і закріпленого до неї знизу електромагніта вертикальних коливань 10. Робоча  $m_1$  і проміжна  $m_2$  маси з’єднані між собою за допомогою чотирьох плоских граткових пружин 12 (рис. 2), розміщених через  $90^\circ$  у вертикальній площині, які уможливають коливання мас у будь-якому напрямку горизонтальної площини.

Проміжна  $m_2$  і реактивна  $m_3$  маси з’єднані між собою за допомогою восьми плоских пружин 11 (рис. 3), розміщених у горизонтальних площинах по чотири на торцях мас  $m_2$  і  $m_3$ . Пружини 11 уможливають коливання мас у вертикальній площині. Віброізоляція модуля здійснюється через чотири гумові демпфери 13, якими модуль спирається на нерухому опору 14. Пристрій може працювати з робочими частотами 50, 25 і 12,5 Гц. Деталі, встановлені на площині, можна транспортувати за координатами  $x-x$  або  $y-y$  (рис. 4, а); за будь-якою координатою транспортувальної площини (рис. 4, б); деталі можна обертати навколо їхньої осі в будь-якій зоні площини (рис. 4, в) та транспортувати за будь-якою координатою та обертати (рис. 4, г). Коливальні маси модуля  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  в динаміці працюють як дві двомасові коливальні системи. За горизонтальних коливань маса  $m_3$  приєднується до маси  $m_2$ , оскільки жорсткість пружної системи, яка їх з’єднує, у горизонтальному напрямку значно перевищує жорсткість пружної граткової системи горизонтальних коливань. Тому зведена маса за поздовжньо-поперечних коливань дорівнює:

$$M_{\Gamma} = \frac{m_1 \cdot (m_1 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}. \quad (1)$$

За вертикальних коливань пристрою додаються маси  $m_1$  і  $m_2$ , оскільки жорсткість пружної системи, що їх з’єднує, у вертикальному напрямку прямує до нескінченності. Тоді зведена маса за вертикальних коливань визначається за формулою:

$$M_B = \frac{(m_1 + m_2) \cdot m_3}{m_1 + m_2 + m_3}. \quad (2)$$

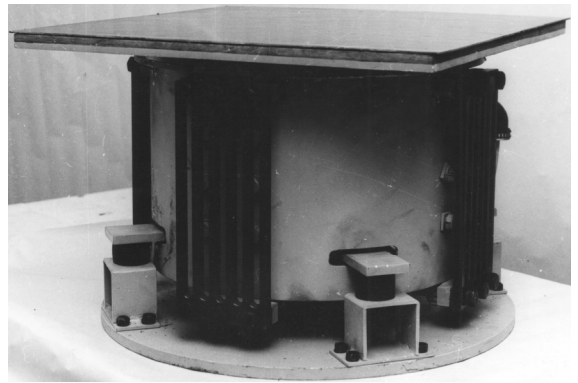
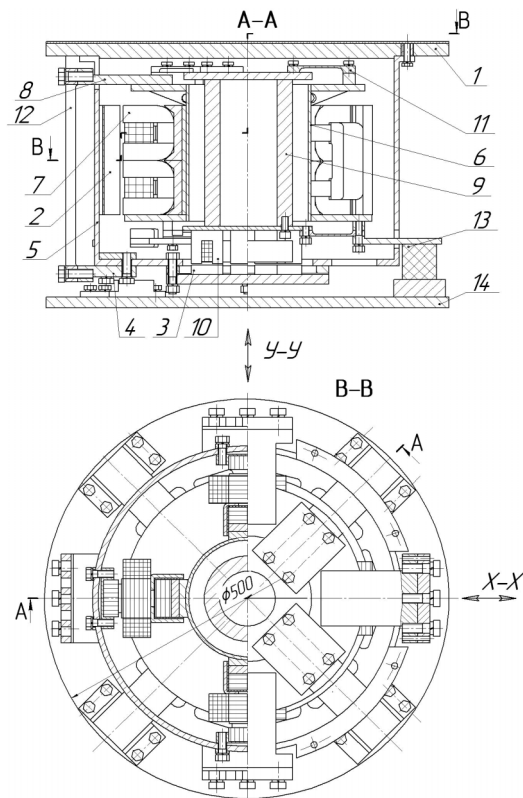


Рис. 1. Вібраційний транспортно-маніпулюючий модуль  
(на вигляді В-В площина 1 знята)

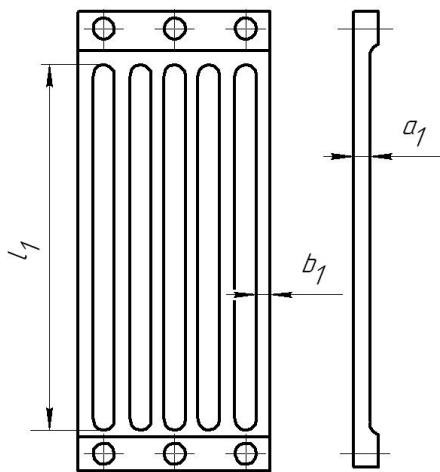


Рис. 2. Конструктивна схема граткової пружини

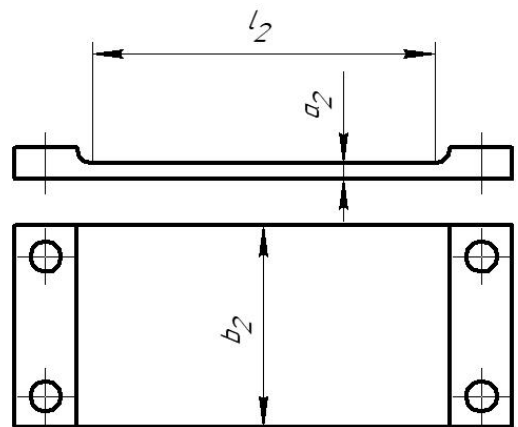


Рис. 3. Конструктивна схема плоскої пружини

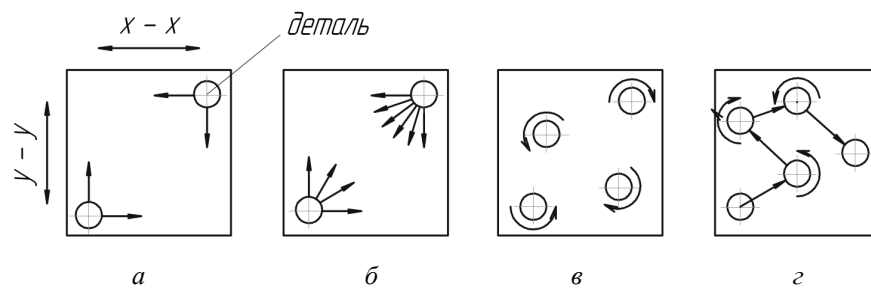


Рис. 4. Способи вібротранспортування виробів транспортувальною площиною модуля

Прийmemo таку послiдовнiсть розрахунку пружної системи конструкцiї.

1. Вибираемо робочу частоту коливань модуля  $\nu$ . Для транспортувальних площин з розмірами, бiльшими за 500×500 мм, доцiльнi частоти 12,5 i 25 Гц, а для менших значень площини приймають  $\nu = 50$  Гц.

2. Амплiтуду горизонтальних поздовжньо-поперечних коливань транспортувальної площини визначаемо за максимальною заданою швидкiстю транспортування  $V_{\max}$  (м/с) [7]:

$$A_{\Gamma 1} = \frac{V_{\max}}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot k_{uu}}, \quad (3)$$

де коефiцiєнт швидкостi для елiптичних коливань  $k_{uu} = 0,65 \dots 0,75$ .

3. Робочу транспортувальну масу  $m_1$  вiдносно сумарної маси ( $m_2 + m_3$ ) приймаемо як:

$$\frac{m_1}{m_2 + m_3} = \frac{1}{2 \dots 4}. \quad (4)$$

Масу  $m_3$  вiдносно сумарної маси ( $m_1 + m_2$ ) приймаемо за сiввiдношенням

$$\frac{m_3}{m_1 + m_2} = \frac{1}{4 \dots 6}. \quad (5)$$

4. Вертикальну складову амплiтуди коливань  $A_{B1}$  робочої маси за горизонтального розмiщення транспортувальної поверхнi визначаемо з залежностi [8]:

$$\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot \nu^2 \cdot A_{B1}}{g} = 1. \quad (6)$$

5. Виконуемо розрахунок пружних елементiв на жорсткiсть. Визначаемо розмiри поперечного перерiзу ґраткових пружин за їх квадратної форми. Момент iнерцiї перерiзу квадрата дорiвнює

$$I_1 = a_1^4 / 12, \quad (7)$$

де  $a_1$  – сторона квадрата.

Сумарна жорсткiсть зацемлених по кiнцях ґраткових пружин за [8]:

$$C_{\Gamma} = \frac{12 \cdot E \cdot I_1 \cdot k_3}{l_1^3} \cdot i_1, \quad (8)$$

де  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Па – модуль пружностi пружинної сталi;  $i_1$  – загальна кiлькiсть ґраток ґраткових пружин;  $l_1$  – робоча незачемлена довжина пружини;  $k_3$  – коефiцiєнт зацемлення ( $k_3 \approx 0,8 \div 0,95$ ; точне значення можна визначити тiльки за допомогою експерименту, який враховує сiввiдношення мiж дiйсним та iдеальним зацемленням пружини [9]).

За [6, 9] жорсткiсть пружної системи запишемо

$$C_{\Gamma} = 4 \cdot \pi^2 \cdot \nu_{0\Gamma}^2 \cdot M_{\Gamma}, \quad (9)$$

де  $\nu_{0\Gamma}$  – власна частота системи у горизонтальному напрямку:  $\nu_{0\Gamma} = \nu / Z$ ;  $Z = 0,94 \dots 0,96$  – коефiцiєнт резонансного налагодження.

Зiставивши (8) i (9), отримаемо залежнiсть (10) для визначення розмiру пружини у випадку квадратної форми, який забезпечить однаковi власнi частоти пристрою у поздовжньому i поперечному напрямках

$$a_1 = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot \nu_{0\Gamma}^2 \cdot M_{\Gamma} \cdot l_1^3}{E \cdot i_1 \cdot k_3}}. \quad (10)$$

Розрахунок плоских пружин аналогiчний, як i для ґраткових, з урахуванням їх кiлькостi  $i_2$ , ширини  $b_2$  i робочої довжини  $l_2$ . Момент iнерцiї перерiзу плоскої пружини [6, 7]:

$$I_2 = \frac{a_2^3 \cdot b_2}{12}, \quad (11)$$

а зведена маса за вертикальних коливань визначається за формулою (2). Врахувавши, що рекомендоване відлаштування від резонансу вертикальних коливань  $Z_B = 0,8 \dots 0,9$  [6], робочу товщину пружин вертикальних коливань визначимо із залежності:

$$a_2 = l_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot v_{0B}^2 \cdot M_B}{E \cdot b_2 \cdot i_2 \cdot k_3}}, \quad (12)$$

де  $v_{0B} = v/Z_B$  – необхідна власна частота вертикальних коливань. Ширину  $b_2$  і довжину  $l_2$  вибирають з конструктивних міркувань.

Одним із найефективніших застосувань комбінацій цих пристроїв стала доволі складна операція щільного укладання керамічних виробів на рухому стрічку конвеєра після операції мокрого пресування. Особливістю пресування є легка ушкоджувальність виробів після операції пресування і необхідність, за технологічним процесом, щільного або нещільного укладання виробів на рухому стрічку конвеєра для подавання деталей до сушильної печі. Вирішити завдання можливо завдяки застосуванню підвісних однокоординатних і двокоординатних конвеєрів (конвеєрів-маніпуляторів). Для цього розроблено мобільні транспортний і транспортно-маніпулюючий модулі з незалежними еліптичними коливаннями, що утворюють у комбінації з маніпулятором, лічильником і системою керування робототехнічну вібраційну систему укладання виробів (рис. 5).

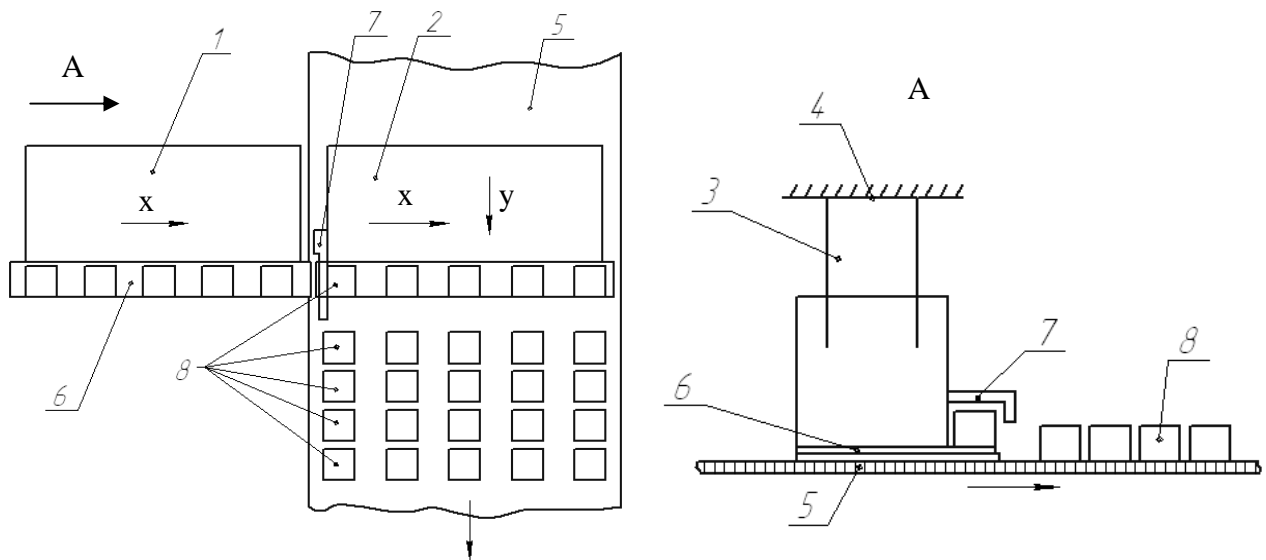


Рис. 5. Вібраційна система укладання виробів на рухому стрічку конвеєра

У систему входить однокоординатний подавальний транспортер 1, розподільний двокоординатний транспортно-маніпулюючий транспортер 2, підвіска транспортерів 3, рама підвіски 4, рухома стрічка конвеєра 5, деки транспортерів 6, лічильник виробів 7, деталі 8. Маніпулятор (на рис. 5 не показаний) встановлює деталі на деку подавального транспортера. Деталі транспортуються за координатою  $x$  і подаються на транспортно-маніпулюючий транспортер. Лічильник, встановлений між транспортерами, здійснює відлік виробів. Упор, встановлений на деці модуля, обмежує вихід деталей з транспортера. Група деталей нагромаджується на модулі 2 в один ряд. Щільність деталей у ряду залежить від продуктивності пресування та елементів циклу. За нагромадження на деці модуля 2 необхідної, наперед заданої кількості виробів, автоматично здійснюється перемикання транспортера на транспортування за координатою  $y$ , яка збігається з напрямком руху стрічки 5. Ряд (група) деталей плавно передаються на 5 завдяки невеликому зазору між декою 2 і стрічкою 5 та малій товщині деки

модуля 2. Якщо швидкість стрічки 5 дорівнює добутку габариту деталі  $L$  на час нагромадження партії деталей  $t_{нагр}$ , то

$$V_c = L \cdot t_{нагр}, \quad (13)$$

і тоді за напрямком руху стрічки укладання між рядами буде щільним.

У випадку

$$V_c > L \cdot t_{нагр}, \quad (14)$$

між рядами будуть певні проміжки.

За умови

$$V_c < L \cdot t_{нагр}, \quad (15)$$

робота системи неприпустима, оскільки ряд буде накладатись на ряд. Комбінуючи швидкість стрічки, кількість виробів у ряді, продуктивність видавання деталей з преса, можна забезпечити укладання з необхідною щільністю за довжиною і шириною стрічки. Щільне укладання виробів показано на рис. 6.

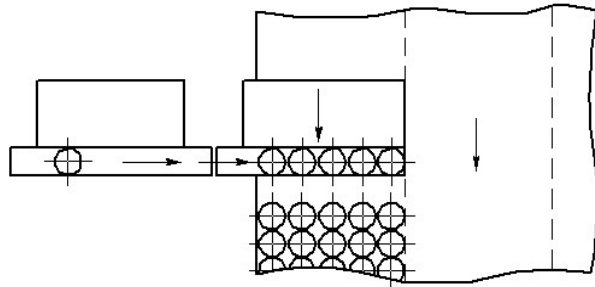


Рис. 6. Система щільного укладання виробів

**Висновки.** Система, аналогічна показаній на рис. 5, 6, може бути застосована у пакувальній галузі, механоскладальному виробництві, у разі лакофарбування, у фармацевтичній і хімічній промисловостях та інших галузях. Такі системи можна створювати тільки завдяки транспортерам із незалежними багатокоординатними коливаннями та електромагнітним віброзбудникам коливань. Завдяки застосуванню цих пристроїв можна створювати такі й аналогічні системи, не обмежуючись кількістю модулів у системі. Використовуючи сучасні системи керування, програмовані контролери та інші засоби й елементи сучасної електроніки, створювані системи забезпечать гнучкість виробництва та значно розширять можливості вібраційної техніки.

1. А. с. 1033393, СССР. Вибрационный конвейер / В. А. Повидайло // Бюл. изобрет. № 29. 1983. 2. А. с. 1033395, СССР. Вибрационное устройство автоматического группового ориентирования изделий / Повидайло В. А. // Бюл. изобрет. № 29. 1983. 3. Боровець В., Шенбор В., Боровець І. Міжопераційні вібраційні модулі для транспортування і маніпуляції деталями // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення та експлуатації машинобудівних конструкцій: праці конференції. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2008. – С. 209–211. 4. Шенбор В. С. Віброманіпуляційний комплекс автоматичного укладання виробів / В. С. Шенбор, В. М. Боровець, І. М. Мельничук // Дев'ятий Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: праці симпозіуму. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2009. – С. 319–320. 5. Шенбор В., Брусенцов В., Шенбор Ю. Синтез гнучких вібраційних транспортно-технологічних систем // Тринадцятий Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: праці симпозіуму. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2017. – С. 185–186. 6. Повидайло В. Вібраційні процеси та обладнання: навч. посіб. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2004. – 248 с. 7. Гаврильченко О. В., Шенбор В. С. Вібраційні конвеєри для пакувального обладнання // Упаковка. – 2002. – № 4. – С. 28–29. 8. Гаврильченко О. В., Шенбор В. С. Вібраційні конвеєри з незалежними коливаннями // Упаковка. – 2003. – № 3. – С. 30–32. 9. Shenbor V., Koruniak P., Korendiy V., Brusentsov V., Brusentsova M. Analysis and Improvement of Two-Mass Vibrating Tubular Conveyers with Two-Cycle Electromagnetic Drive // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. – 2016. – Vol. 2, No. 1. – P. 55–64.