

УДК 621.01

Васильківський К., к.т.н., доцент

Національний університет харчових технологій (НУХТ) / Україна

Гіджеліцький В., к.т.н., доцент

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини / Україна

Лапін А., студент

Національний університет харчових технологій (НУХТ) / Україна

### **ДИНАМІКА І ЕНЕРГЕТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ В ЛІНІЯХ ПАКУВАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

**Анотація:** робота пов'язана з пошуками можливостей використання внутрішніх енергетичних ресурсів в транспортно-технологічних системах на прикладі ліній пакування харчової продукції, фасованої у скляну тару. Тенденції переходу на лінії високої продуктивності привели до необхідності їх устаткування транспортними системами подвійного призначення. Очевидно, що першим завданням є забезпечення переміщень штучних виробів на відповідних ділянках між одиницями технологічних машин, а друга складова їх задачі – виконання ролі накопичувальних пристроїв у сукупності з необхідністю перебудов масових потоків. Таке поєднання завдань привело до виключного застосування в транспортних системах замкнутих ланцюгових контурів з двома площинами тертя. Між тим відомо, що енергетичні витрати в механічних системах пов'язані з необхідністю досягнення заданих рівнів кінетичної енергії рухомих мас за подолання сил шкідливих і корисних опорів. Особливістю роботи таких транспортних систем є постійна присутність перехідних процесів і динамічних складових навантажень.

Дослідження доповнює відомі динамічні прояви новими співвідношеннями показників для можливості енергетичної рекуперації.

**Ключові слова:** транспортування, пакування, тертя, кінематика, динаміка, енергетична рекуперація.

#### **ВСТУП**

Сучасне підприємство харчової і переробної промисловості об'єднує технологічне обладнання, обладнання, що забезпечує рух сировинних, енергетичних, тарних потоків, потоків пакувальних матеріалів та інших в єдину транспортно-технологічну систему (ТТС). Взаємодія потоків визначає кінцевий результат у вигляді готової продукції та економічну ефективність виробництва. При цьому в значній більшості випадків виробництво організовано як безперервні потоки, а тому важливе значення має вибір і забезпечення

параметрів, що визначають синхронізацію їх і якість технологічних впливів (обробки) по кожній з позицій. Тимчасові відмови окремих одиниць технологічного або транспортного забезпечення визначають загальний результат, а тому сучасне виробництво будується як система, яка має в собі накопичувачі матеріальних потоків. Це в значній мірі нівелює значимість окремих негативних впливів на загальний результат.

У зв'язку з цим важливе значення має теорія синтезу таких систем і оптимізація кожної із складових ТТС по різним параметрам. До їх числа відносяться частота і подовженість відмов, досягнення швидкодії, обмеження силових і кінематичних параметрів, втрат сировини і готової продукції, зменшення питомих матеріальних і енергетичних ресурсів, трудових витрат і а кінцевому результаті зменшення собівартості продукції.

На цьому шляху виникають задачі аналізу діючого обладнання, розробка пропозицій по його удосконаленню, по синтезу принципово нових рішень при створенні ТТС і прогнозуванню перспективних шляхів розвитку.

#### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

Актуальними є проблеми динаміки машин, обмеження силових дій, розробка теоретичних положень, що стосуються наукового забезпечення задач синтезу окремих систем і обладнання в цілому. Особливо це стосується перехідних процесів. Однак і усталені режими потрапляють у зону інтересів дослідників [1-3], одночасно з пошуком взаємозв'язків між кінематичними, геометричними параметрами зірочок і ланцюгів та умов виникнення відносного ковзання між виробами і рухомими опорними площинами.

Розробка пропозицій щодо обмеження недоліків обладнання для транспортування склотари і склотарної харчової продукції потребує подальшого поглиблення і осучаснення синтез транспортно-технологічних систем, основних їх складових, статички і динаміки накопичувачів, розформувачів масивів виробів, вибору оптимального параметра обладнання тощо [9-12]. Розвиток і удосконалення всього комплексу обладнання харчових виробництв має завданням підвищення пропускної спроможності при виконанні всіх інших показників технологічних процесів. Окрім того сучасні ТТС, що здійснюють операції із склянню тарою, базуються на конструктивних рішеннях, які забезпечують найбільш можливу мінімізацію втрат склотари і готової продукції [13, 14].

Розвиток і вдосконалення всього комплексу обладнання харчових виробництв базується на підвищенні пропускної спроможності (продуктивності) при виконанні всіх інших показників технологічних процесів. При цьому просте збільшення значень кінематичних параметрів для нарощування пропускної здатності не може привести до успіхів в силу складностей протікання перехідних процесів, обмеження навантажень взаємодії робочих органів з виробами тощо. Пошуки розв'язання названих протиріч у більшості випадків привели до використання принципів і елементів створення роторно-конвеєрних ліній, до яких можна віднести і лінії пакування рідких харчових продуктів у скляну та інші види тари.

Збільшення пропускної здатності транспортно-технологічної системи, в яку входить лінія фасування, пов'язана з необхідністю вводити в її склад різні

накопичувальні пристрої, які перетворюють ТТС в систему з гнучкими зв'язками [3], що приводить до зменшення впливу зупинок основних автоматів і до підвищення в цілому пропускної спроможності. Також для збільшення останньої вводяться додатково розширені виробничі площі складів тари і готової продукції, а також зони завантаження і розвантаження транспортних засобів. Разом з тим досягнення оптимальної продуктивності такої ТТС зі збільшенням названого показника стає всі більш проблематичним. Пов'язано це зі збільшенням взаємного впливу короткострокових зупинок всього комплексу обладнання і неповною компенсацією втрат за рахунок введення накопичувачів ящиків, піддонів, порожніх і заповнених пляшок тощо. Введення до складу ТТС названого обладнання приводить до зниження темпів росту економічної ефективності. Тому можливо передбачити екстремум в даній залежності. Його положення буде визначатися у тому числі і такими показниками, як матеріало- і енергоємність, кількість персоналу для обслуговування, зайнята площа, надійність і довговічність і т.п. кожної одиниці обладнання

Іншим обмеженням в нарощуванні пропускної спроможності ТТС є те, що в лініях фасування відбувається значна трансформація вантажопотоків, здійснюється накопичення, укрупнення і зменшення масивів, що пов'язано з необхідністю зупинок вантажопотоків і пояснює циклічність роботи виконавчих органів. Поєднання циклічності з необхідністю швидкодії приводить до того, що в такому обладнанні перехідні процеси переважають над усталеними режимами. Це означає, що суттєво збільшуються динамічні навантаження як на робочі органи, так і на вироби [9, 10].

Аналіз досліджень з динаміки машин показує, що обмеження силових параметрів може досягатися за рахунок варіювання швидкостями ведучих, ведених або проміжних мас системи, жорсткостями пружних елементів, виконання систем зі змінною жорсткістю, реалізації режимів послідовного навантаження тощо. Сучасний рівень досліджень процесів переміщення штучних вантажів або масивів базується на теорії тертя [2], врахуванні кінцевої жорсткості елементів приводів. При цьому ставиться задача розроблення оптимізованих систем за різними критеріями оптимізації. До останніх частіше за все відносять часові параметри (реалізується режим швидкодії), значення кінематичних параметрів [5]. Разом з тим при створенні обладнання повинні бути враховані такі критерії, як безпечність, ефективність, відповідність іншому обладнанню транспортно-технологічної системи. Вибір критеріїв оптимізації сам по собі є складною задачею, оскільки поєднання різних вимог суперечне. Так в протиріччі знаходяться показники швидкодії і силові параметри, надійність обладнання, вартість тощо.

У зв'язку з цим потрібно забезпечувати умови зберігання тари і готової продукції, точності позиціонування вантажів, що переміщуються відносно робочих органів, уникнення явищ затороутворення, оптимізацію розмірів обладнання. Для забезпечення умов експлуатації обладнання ТТС за рахунок зниження значень кінематичних параметрів використовуються багатопотокові системи, дублювання технологічних машин однакового призначення і у зв'язку з цим виникає необхідність використання подільників потоків, пристроїв для

формування ряду або кількох рядів недетермінованих і детермінованих масивів, пристроїв для поділу в одному або кількох рядах тощо. Часто вирішення таких задач покладається на недетерміновані принципи, але ці спроби не завжди відповідають необхідним результатам. Тому передбачаються пошуки альтернативних рішень, спрямованих на визначеність у виконанні технологічних процесів. Це стосується у першу чергу необхідності формування масивів виробів циліндричної форми перед завантаженням транспортної тари або пастеризаторів. Наприклад, в конструкціях вітчизняних і закордонних вкладальників пляшок для отримання окремих рядів використовують багатопотокові конвеєри з поздовжніми подільниками, заповнення яких здійснюється з нормально або паралельно розташованих до них конвеєрів, на яких вироби знаходяться в контакті один з одним. Оскільки транспортування і перевантаження пляшок відбувається за рахунок сил тертя їх з рухомими опорними поверхнями конвеєрів, то силова взаємодія між виробами і між виробами і напрямними є завжди. В результаті значної кількості місць, де відбувається контакт виробів з нерухомими елементами конструкцій, імовірність виникнення заторів є високою і виникає необхідність встановлення додаткових засобів для їх подолання, наприклад, штовхачі, вібратори тощо. Тому габарити пристроїв та їх матеріало- та енергоємність збільшуються.

Перша спроба визначити причини виникнення заторів і взаємозв'язки між силовими, геометричними і кінематичними параметрами накопичувачів описана в роботах [7, 8].

Організація всієї транспортно-технологічної системи може бути досягнута при наявності можливостей варіювання величиною пропускної спроможності кожної одиниці обладнання, яка входить до складу ТТС. При цьому швидкість руху вантажів в ТТС на окремих ділянках може бути різною, можливі навіть короткочасні зупинки вантажопотоків. Для того, щоб такі місцеві порушення нормального ритму роботи не приводили до зниження пропускної здатності системи в цілому використовуються відповідні накопичувачі. Наступне доведення до номінального рівня міжопераційних запасів пов'язано з можливістю збільшення пропускної здатності окремих ділянок ТТС при максимальному обмеженні динамічних параметрів взаємодії між робочими органами і виробами.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Показники роботи транспортно-технологічних систем в значній мірі визначаються рівнем механізації і автоматизації, якістю технологічних і транспортних засобів, тари і засобів для створення збільшених вантажних одиниць, приладів контролю за якістю стану елементів ТТС, можливістю автоматичного керування, рівнем підготовки обслуговуючого персоналу тощо. Відповідність ТТС вказаним потребам є необхідною умовою їх подальшого розвитку.

Транспортне обладнання ліній пакування склотарної продукції у своїй основі ґрунтується на використанні сил тертя, які одночасно виступають в ролі рушійних факторів і факторів опору. Очевидно, що в нашому випадку вони є проявом взаємодій окремих виробів між собою за взаємних переміщень, між

виробами і рухомими елементами тощо. Наслідок таких взаємодій в кінцевому результаті підпадає під розуміння одного єдиного фізичного процесу безпосереднього перетворення різних форм руху в тепловий рух. з цієї точки зору поняття "тертя" має розповсюджуватися на рідинні і газові потоки, електричний струм, теплопередавання тощо. Таким чином генерування тертям теплової енергії робить процеси незворотними. Останнє означає, що всі комплекси тертя в транспортно-технологічних системах визначають рівень незворотних енергетичних втрат. Це означає доцільність звертання до складових сил тертя і енергетичних втрат, пов'язаних з ними, тим більше, що вони мають як негативні, так і позитивні прояви.

Основою роботи конвеєрів, накопичувальних пристроїв, систем формування масивів скляних виробів, перебудови потоків виробів є рухомі опорні у більшості випадків горизонтальні площини або з відносно обмеженими ухилами до лінії горизонту, створювані кількарядними замкнутими контурами з пластинчастими ланцюгами з кроком  $\sim 50$  мм. Цей геометричний параметр за обмеженого числа зубців ведучої зірочки  $z$  навіть за її сталої кутової швидкості є причиною руху ланцюгів зі змінними швидкостями. Останнє визначає інерційні навантаження в системах транспортування, прояви м'яких динамічних ударів, ускладнює динаміку взаємодій між опорними площинами і вантажами зі збільшенням дисипативних втрат.

За призначенням і технічними умовами існування тертя реалізується у двох горизонтальних площинах. Пластини петльових ланцюгів спираються на полімерні підкладки металевого каркаса, що утворює стаціонарну площину тертя, а між виробами і опорною рухомою площиною у формі сукупності пластин, створюється площина циклічної дії. Якщо відносно першої слід очікувати доцільності забезпечення умов рідинного тертя з обмеженням силових показників і відповідно енергетичних витрат, то тертя в другій площині виступає рушійними фактором, який забезпечує переміщення масиву виробів. Однак за технологічної зупинки виробів тертя в цій площині перетворюється в складову опору рухомої опорної площини.

Перелік названих особливостей приводить до висновку про наявність двох причин виникнення перехідних процесів, а максимальні енергетичні витрати мають визначатися за сумою опорів в обох площинах.

На рис. 1 наведено розрахункову схему і кінематичні параметри руху опорної площини, які в аналітичній формі відображуються залежностями:

$$V_r = \omega R \cos \varphi = \omega R \cos \omega \tau; \quad a_r = \omega^2 R \cos \omega \tau, \quad (1)$$

де:  $V_r$  і  $a_r$  – відповідно горизонтальні складові швидкості і прискорення руху ланцюга (опорної площини), м/с і м/с<sup>2</sup>;

$R$  – радіус діляльного кола зірочки, м;

$\omega$  – кутова швидкість зірочки, с<sup>-1</sup>;

$\tau$  – час перебігу процесу, с.

При цьому

$$V_{r \max} = V = \omega R; \quad a_{r \max} = \omega^2 R \sin \varphi_{\max} = \omega^2 R \sin \frac{360}{2z}. \quad (2)$$

Наявність або відсутність відносних переміщень вантажу по опорній площині визначається співвідношенням прискорення  $a_r$  і величини  $fg$ , де  $f$  – коефіцієнт тертя в парі "вантаж-опорна площина" і  $g$  – прискорення вільного падіння. Проковзуванню відповідає умова  $|a_r| > |fg|$ , а визначення відповідних ділянок здійснимо на основі графічних побудов (рис. 2). Прийmemo наступні значення параметрів:  $V = 1$  м/с;  $z = 6$ ;  $R = 0,05$  м;  $f = 0,1$ .

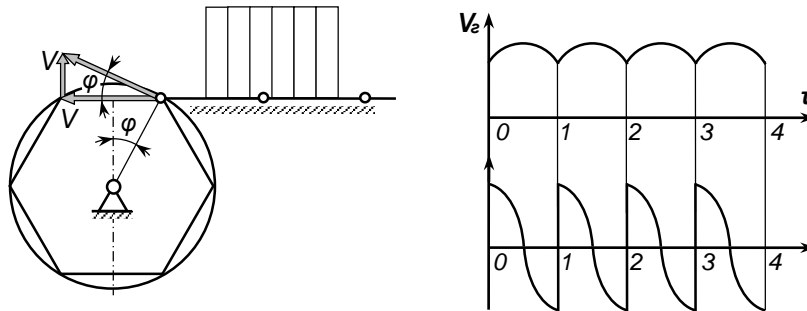


Рис. 1. Розрахункова схема і кінематичні параметри руху ланцюга

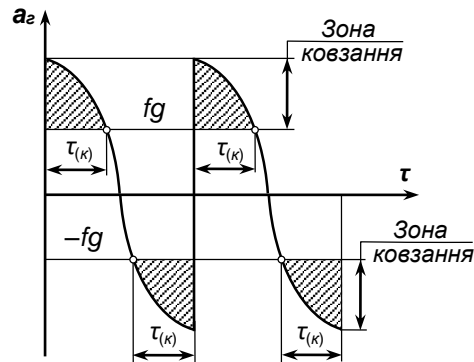


Рис. 2. Ілюстрація до визначення параметрів ковзання

Тоді кутова швидкість зірочки:

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{1,0}{0,05} = 20 \text{ с}^{-1}; \quad a_{r \text{ max}} = 20^2 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = 10 \text{ м/с}^2.$$

При цьому  $fg = 0,1 \cdot 9,81 = 0,981 \text{ м/с}^2$ . Оскільки існує зона, на якій виконується умова  $|a_r| > |fg|$ , то це означає існування проковзування, час перебігу якого визначиться з умови:

$$a_{r \text{ max}} = \omega^2 R \sin \omega \tau_{(k)} = fg. \quad (3)$$

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

$$\text{Звідси} \quad \sin \omega \tau_{(k)} = \frac{fg}{\omega^2 R} \quad \text{і} \quad \tau_{(k)} = \frac{\arcsin fg / \omega^2 R}{\omega}. \quad (4)$$

За відомого часу перебігу ковзання  $\tau_{(k)}$  одержуємо можливість знайти відповідне відносне переміщення

$$S_{(k)} = \int_0^{\tau_{(k)}} \omega R \cos \omega \tau \, d\tau = R \sin \omega \tau_{(k)}, \quad (5)$$

яке в періоди прискореного руху опорної площини має зворотний напрямок, а за сповільненого руху – співпадає з напрямком її переміщення. Це означає, що за симетричних законів прискорення  $a_r$  відносні переміщення взаємно компенсуються, однак вони мають прояви в динамічних навантаженнях ланцюгів і приводів транспортних систем. На ділянках прискореного руху в режимах ковзання динамічні навантаження зростають на величину сил тертя масиву виробів з опорною площиною, в періоди переміщень без проковзування додаткове навантаження відсутнє, а на ділянках сповільненого руху опорної площини за наявності ковзання динамічні складові навантажень обмежуються.

Оцінку енергетичних потенціалів при таких переміщеннях можливо здійснити за відомих значень переміщень в режимах ковзання і сил тертя. В першому наближенні будемо вважати, що одержану залежність (5) можливо розповсюдити на весь масив виробів, що знаходяться на рухомій опорній площині. Оскільки в режимі повороту ведучі зірочки на кутовий крок відносно ковзання відбувається двічі, то йому відповідає переміщення  $2S_{(k)}$ , а повному оберту зірочки при  $z = 6$  одержуємо значення:

$$S = 12S_{(k)}, \text{ м/об}, \quad (6)$$

або з врахуванням (5) маємо:

$$S = 12R \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ м/об}. \quad (7)$$

Цьому показнику відповідає кількість дисипованої теплової енергії, яку оцінюємо на рівні роботи проти сил тертя у формі:

$$E_0 = 12fmgR \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Дж/об}. \quad (8)$$

Тоді за числа  $n$  обертів ведучої зірочки за одну хвилину маємо:

$$E = 12nfmgr \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Дж/хв}. \quad (9)$$

За значень  $z \neq 6$  одержуємо:

$$E = 2znmgr \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Дж/хв}. \quad (10)$$

Перехід до оцінки дисипованої потужності дозволяє записати:

$$N = \frac{zn}{30} fmgR \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Вт}. \quad (11)$$

Одержані математичні формалізації особливостей явища проковзування масиву виробів на опорній рухомій площині приводить до можливості визначення параметрів впливу щодо динаміки і енергетичних показників, які стосуються випадків транспортування масивів виробів без загального

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

проковзування з примусовим гальмуванням.

Проте за останньої умови фізичні передумови перебігу процесів інші і відповідають випадках тертя у двох площинах, за яких набір факторів впливу виступає стабілізованим. Останнє стосується рушійних факторів, факторів опору і приведених мас системи.

Наявність дисипативних енергетичних втрат у випадках регулярних проковзувань виробів і опорних площин приводить до висновку про доцільність реалізації систем за їх відсутності. При цьому набір геометричних і кінематичних параметрів повинен бути таким, щоб виконувалась умова:

$$a_{r \max} \leq fg, \quad (12)$$

граничному значенню якої відповідає умова  $a_{r \max} = fg$ .

Звернувшись до раніше обраного значення  $fg = 0,981 \text{ м/с}^2$ , одержуємо:

$$\omega^2 R \sin \frac{360}{2z} = 0,981 \text{ м/с}^2, \quad (13)$$

і визначаємо: 
$$\omega = \sqrt{\frac{0,981}{0,05 \cdot 0,5}} = 6,264 \text{ с}^{-1}. \quad (14)$$

Така кутова швидкість ведучої зірочки відповідає лінійній швидкості опорної площини:

$$V_r = \omega R = 6,264 \cdot 0,05 = 0,314 \text{ м/с}. \quad (15)$$

Оскільки в значеннях  $fg$  варіації можливі за рахунок коефіцієнтів тертя, то оцінку можливих впливів на значення параметрів наведено в таблиці.

**Таблиця 1**

*Співвідношення кінематичних параметрів за варіацій  
коефіцієнтами тертя*

f	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
fg, м/с <sup>2</sup>	0,981	1,47	1,962	2,453	2,943	3,434
ω, с <sup>-1</sup>	6,264	7,67	8,86	9,9	10,85	11,72
V, м/с	0,314	0,384	0,434	0,495	0,543	0,586

Очевидно, що необхідність обмеження швидкостей опорних рухомих площин має у собі одночасно і позитивні і негативні наслідки. До позитивних відносяться відсутність проковзування як наслідку кінематики, обмеження загального рівня кінетичної енергії рухомих мас, динамічних навантажень у випадках ударних взаємодій в перехідних процесах, можливість представлення мас опорної рухомої площини і вантажів сукупною приєднаною масою в розрахункових динамічних моделях. Одночасно недоліком системи зі знизженими значеннями швидкості є обмеження пропускної здатності. Цей недолік в сучасних системах розв'язується за рахунок збільшення рядності замкнутих ланцюгових контурів (рис. 3).





Рис. 3. Компенсатор (накопичувач) в системі транспортування виробів

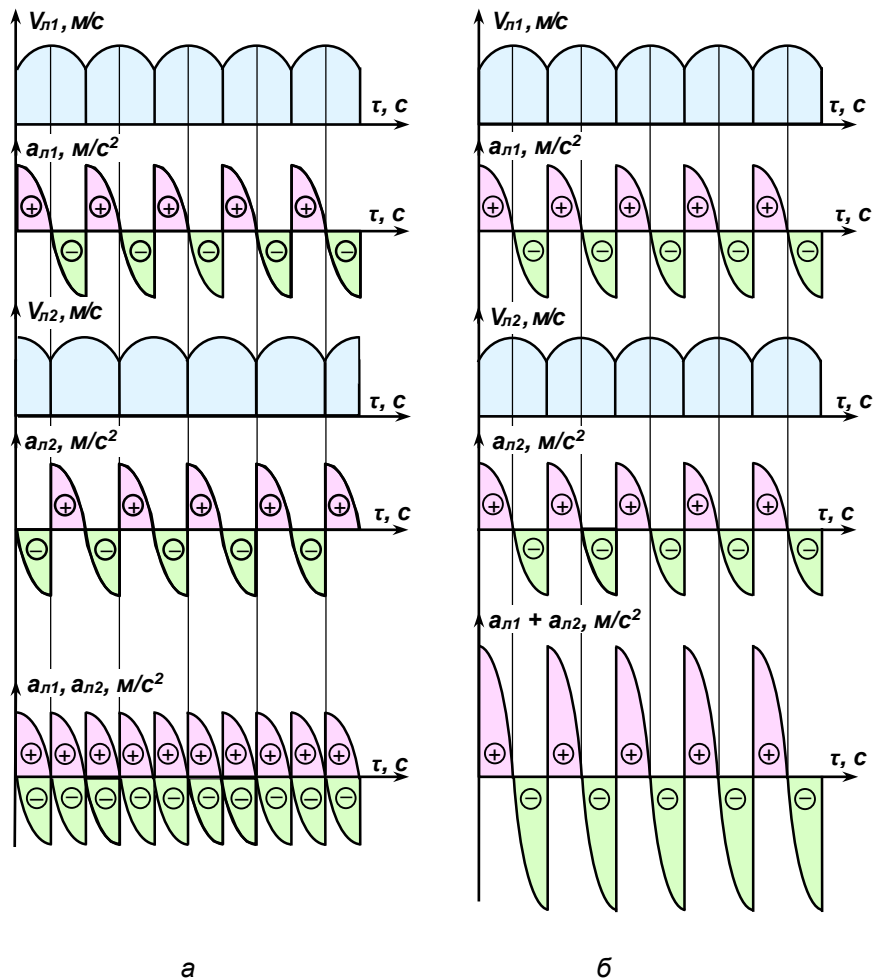
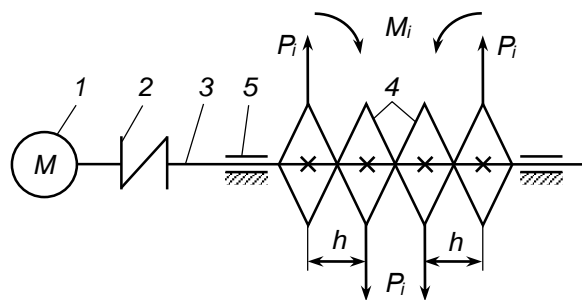


Рис. 4. Кінематичні діаграми переміщення і діаграми сил інерції двох ланцюгів: а – ланцюги встановлено зі зміщенням зірочок; б – ланцюги встановлено без зміщення зірочок

Окрім ланцюгових контурів до складу накопичувальних пристроїв входять каркас, ведучі і ведені зірочки, змонтовані на валу і осі. Для таких випадків досяжною є попарна синхронізація ланцюгів, за явою прискорені рухи одного збігаються зі сповільненими рухами іншого за рахунок відносного зміщення зірочок на ведучому валу на крок  $\alpha = 360/z$ , де  $z$  – число зубців. Такому випадку відповідають діаграми на рис. 4. З діаграм прискорень витікає, що за кожного переходу зубця на новий шарнір має місце м'який удар, який вилучити з системи неможливо. Проте зміщення зірочок на вказаний кут забезпечує різноспрямованість ударних імпульсів. За попарного зміщення зірочок другої пари можливо нівелювати значення моментів сил інерції (рис. 5).



**Рис. 5.** Схема приводного вузла чотирирядного конвеєра: 1 – мотор-редуктор; 2 – муфта; 3 – ведучий вал; 4 – ведучі зірочки; 5 – підшипникові вузли

## ВИСНОВКИ

1. В системах транспортування склотарної продукції харчових виробництв рушійні фактори у більшості випадків представлені силами тертя. Одночасно замикання кінематичних пар між виробами і опорними рухомими площинами здійснюється за рахунок сил тяжіння, що за випадків неспівпадіння їх швидкостей приводить до утворення додаткової площини тертя з відповідним зростанням енергетичних витрат і динамічних складових навантажень.

2. Нерівномірність швидкостей переміщення ланцюгів замкнених контурів супроводжується додатковими відносними переміщеннями за певних співвідношень кінематичних і геометричних параметрів. Відповідним набором параметрів досяжною є ліквідація цих додаткових переміщень масивів виробів відносно опорних площин і обмеження енергетичних витрат.

3. Використання жорстких кінематичних зв'язків в паралельних системах дозволяє здійснити зміни швидкостей в протифазах і забезпечити енергетичну рекуперацію. За стабілізованих кінематичних параметрів порівняно з однопотоковими системами досягається більший рівень навантажень двигунів приводів з підвищеною продуктивністю.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Пристрій для переміщення вантажів: патент 58946 UA: МПК В65В 5/10 (2006.01). / Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А., Максименко І.Ф., Шевченко А.О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № u201012737; заявл. 27.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8, 2011 р.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- [2] Соколенко А.І., Васильківський К.В., Костюк В.С. Про можливість рекуперації кінетичної енергії в машинах і механізмах // Харчова промисловість. 2016. № 19. С. 92-99.
- [3] Теория механизмов и механика машин: учеб. для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов Г.А. Тимофеев; под. Ред. Г.А. Тимофеева. Изд. 6-е испр. и доп. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 688 с.
- [4] Соколенко А.І., Васильківський К.В., Степанець О.І. Рекуперация кінетичної енергії в технологічних машинах // Харчова промисловість. 2016. № 20. С. 138-145.
- [5] А. Терехова, А. Соколенко, К. Васильківський. Перспективи рекуперації кінетичної енергії в технологічних машинах // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 85 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, 11-12 квітня 2019 р. Ч 2. Київ: НУХТ. С. 127.
- [6] А. Лапін, А. Соколенко, Ю. Ступак. Особливості динаміки технологічних машин циклічної дії // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 85 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, 11-12 квітня 2019 р. Ч 2. Київ: НУХТ. С. 128.
- [7] Шевченко О.Ю. Дослідження і оптимізація робочих процесів обладнання для роботи з масивами склотари в лініях розливу: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.18 / наук. кер. Соколенко А.І. Київ: УДУХТ, 1995. 213 с.
- [8] Васильківський К.В. Моделювання і оптимізація робочих процесів і вдосконалення обладнання транспортно-технологічних систем в харчовій промисловості: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.09 / наук. кер. Соколенко А.І. Київ: УДУХТ, 1997. 204 с.
- [9] Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів: монографія / М.В. Якимчук, О.М. Гавва, А.П. Беспалько та ін. Київ: Видавництво "Сталь", 2017. 515 с.
- [10] Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару. Київ: ІАЦ "Упаковка", 2008. 436 с.
- [11] Гавва О.М., Кривопляс-Володіна А.І., Волчко А.І. Методологія синтезу компоновочних рішень // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. 2013. № 3. С. 178-182.
- [12] Функціонально-модульне компонування пакувальних машин: монографія / Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Токарчук С.В. та ін. Київ: Видавництво "Сталь", 2015. 548 с.
- [13] Основи САПР пакувального обладнання: навч. посіб. / Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Валецький Б.П. та ін. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2008. 160 с.
- [14] Пальчевський Б.О., Власюк С.В. Структурна оптимізація автоматизованих ліній пакувального виробництва // Упаковка. 2004. № 3. С. 20-23.

### **DYNAMICS AND ENERGY PROVISION OF CARGO TRANSPORTATION SYSTEMS IN FOOD PACKING LINES**

**Vasytkivsky K.**, PhD., Assoc.  
Professor.

**National University of Food  
Technologies / Ukraine**

**Gidzhelitsky V.**, PhD., Assoc.  
Professor

**Pavlo Tychyna Uman State  
Pedagogical University / Ukraine**

**Lapin A.**, student

**National University of Food  
Technologies/ Ukraine**

**Abstract:** *the work is related to the search for the possibilities of using internal energy resources in transport and technological systems by the example of food packaging lines packed in glass containers. Trends in switching to high-performance*

lines have led to the need for their equipment with dual-purpose transport systems. Obviously, the first task is to ensure the movement of artificial products in the respective sections between units of technological machines, and the second component of their task - to fulfill the role of storage devices in combination with the need for restructuring mass flows. This combination of tasks has led to the exclusive use of closed circuit circuits with two friction planes in transport systems. Meanwhile, it is known that energy costs in mechanical systems are associated with the need to achieve the specified levels of kinetic energy of the moving masses in order to overcome the forces of harmful and useful resistance. The peculiarity of such transport systems is the constant presence of transients and dynamic components of loads.

The study complements the known dynamic manifestations with new ratios of indicators for the possibility of energy recovery.

In the transportation systems for glass production of foodstuffs, the driving factors in most cases are represented by friction forces. Simultaneously, the closure of kinematic pairs between the products and the supporting moving planes is due to gravity forces, which, in cases where their velocities do not coincide, leads to the formation of an additional friction plane with a corresponding increase in energy costs and dynamic components of the loads.

The uneven velocity of the closed circuit circuits is accompanied by additional relative displacements at certain ratios of kinematic and geometric parameters. An appropriate set of parameters is achievable by eliminating these additional displacements of the product arrays relative to the reference planes and limiting energy costs.

The use of rigid kinematic bonds in parallel systems allows for changes in velocities in counter-phases and provides energy recovery. With stabilized kinematic parameters, compared to single-stream systems, higher loads of drive motors with improved performance are achieved.

**Keywords:** transportation, packaging, friction, kinematics, dynamics, energy recovery.

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Sokolenko, A.I., Shevchenko, O.J., Poddubny, V.A., Maksimenko, I.F., & Shevchenko, A.A. (2011). *Patent for invention No. 58946*. Ukraine. (in Ukrainian).
- [2] Sokolenko, A.I., Vasytkivsky, K.V., & Kostyuk, V.S. (2016). On the possibility of kinetic energy recovery in machines and mechanisms. *Food industry, 19*, 92-99. (in Ukrainian).
- [3] Frolov, K.V., Popov, S.A., Musatov, A.K., & Timofeev, G.A. (2009). *The theory of mechanisms and mechanics of machines: textbook for universities*. Moscow: MG TU Publishing House. NE Bauman. (in Russian).
- [4] Sokolenko, A.I., Vasytkivsky, K.V., & Stepanets, O.I. (2016). Recovery of kinetic energy in technological machines. *Food industry, 20*, 138-145. (in Ukrainian).
- [5] Terekhov, A., Sokolenko, A., & Vasytkivsky, K. (2019, April 11-12). Prospects for kinetic energy recovery in technological machines. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the XXI century: materials of 85th Anniversary International Scientific Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students, dedicated to the 135th anniversary of the National University of Food Technologies, Part 2* (127). Kiev: NUFT. (in Ukrainian).
- [6] Lapin, A., Sokolenko, A., & Stupak, Y. (2019, April 11-12). Features of the dynamics of technological machines of cyclical action. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the XXI century: materials of 85th Anniversary International Scientific Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students, dedicated to the 135th anniversary of the National University of Food Technologies, Part 2* (128). Kiev: NUFT. (in Ukrainian).

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- [7] Shevchenko, O.Yu. (1995). *Research and optimization of work processes of equipment for work with glassware arrays in bottling lines*: diss.Cand. tech. Sciences. Kiev. 213. (in Ukrainian).
- [8] Vasykivsky, K.V. (1997). *Modeling and optimization of work processes and improvement of equipment of transport and technological systems in the food industry*: diss. Cand. tech. Sciences. Kiev. 204. (in Ukrainian).
- [9] Yakimchuk, M.V., Gavva, O.M., & Bezpalko, A.P. (2017). *Design of packing equipment from mechatronic modules: monograph*. Kiev: Steel Publishing House.
- [10] Gavva, O.M., Bezpalko, A.P., & Volchko, A.I. (2008). Equipment for packing products in consumer packaging. *"Packing"*. Kyiv. (in Ukrainian).
- [11] Gavva, O.M., Krivoplyas-Volodina, A.I., & Volchko, A.I.(2013). Methodology for synthesis of layout solutions. *Bulletin of the National University of Technology and Design of Kiev*, 3, 178-182. (in Ukrainian).
- [12] Gavva, O.M., Krivoplyas-Volodina, L.A., & Tokarchuk, S.V. (2015). *Functional-modular layout of packing machines: a monograph*. Kiev: Steel Publishing House. (in Ukrainian).
- [13] Palchevsky, B.O., Krestyanpol, O.A., & Valetsky, B.P. (2008). *Fundamentals of CAD Packaging Equipment*. Lutsk: LNTU. (in Ukrainian).
- [14] Palchevsky, B.O., & Vlasjuk, S.V. (2004). Structural optimization of automated packaging production lines *"Packing"*, 3, 20-23. (in Ukrainian).

**Стаття надійшла до редакції 30.10.2019**