

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**ПАВЛОВ
СЕРГІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ**



УДК 621.798.43

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПАКУВАЛЬНОГО
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ З РОБОЧИМИ
ЕЛЕМЕНТАМИ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Соколенко Анатолій Іванович,
Національний університет харчових технологій, завідувач кафедри технічної механіки і пакувальної техніки, заслужений діяч науки і техніки України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Пушанко Микола Миколайович,
Національний університет харчових технологій, професор кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

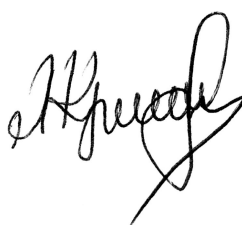
кандидат технічних наук,
Лензійон Валентин Йосипович,
головний інженер ЗАТ "Київський завод шампанських вин "Столичний".

Захист відбудеться "28" листопада 2012 р. о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових технологій за адресою: 01033, м.Київ-33, вул. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68

Автореферат розісланий " " жовтня 2012 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент



Кривопляс-Володіна Л.О.

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. Розвиток обладнання для перевезення тари, напівфабрикатів і готової продукції привів до пакет-піддонних технологій. В їх основу покладено піддони, на яких формуються групові упаковки, ящики або окремі вироби. Найбільш поширеним є варіант скріплення таких пакетів-піддонів за допомогою розтягнутої плівки. Машинне оформлення операції обтягування супроводжується обертанням пакет-піддону і в результаті сполучення особливостей геометрії і кінематики швидкість змотування плівки з бобіни є змінною, що приводить до нерівномірного натягу плівки і до порушення умов стійкості при складуванні і транспортуванні таких вантажних одиниць. Окрім кінематичних збурень має місце поступова і стрибкоподібна зміна жорсткості робочої ділянки плівки. Аналогічні проблеми мають місце в операціях обандеролювання і створення групових упаковок. Ідея створення пристрою, що забезпечує рівномірний натяг плівки при формуванні пакет-піддонів або групових упаковок і стрічок при обандеролюванні може базуватись на спеціальних приводах, гасниках коливальних процесів або на використанні спеціальних вузлів. На основі цієї ідеї формулюється мета і задачі роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетного напрямку робіт НУХТ на 2006-2010 рр. "Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових та переробних галузей АПК" (схвалено Вченою Радою НУХТ, протокол № 7 від 25.03.2006 р.), плану науково-дослідної роботи кафедри технічної механіки і пакувальної техніки "Розробка наукових основ складових процесів виготовлення упаковки, стабілізаційної обробки пакувальних матеріалів та харчової продукції, синтезу механізмів та машин для фасування, пакування та створення збільшених вантажних одиниць і Програми Кабінету Міністрів "Україна-2001" (проект 4 – "Технологічне та технічне оновлення виробництва").

Мета роботи полягає в удосконаленні методів розрахунку і обладнання для формування групових і збільшених вантажних одиниць харчової промисловості.

Задачі дослідження:

а) здійснити кінематичний аналіз операції обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується, в пакетобгортальних машинах, створити фізичну модель процесу і на основі останнього здійснити перехід до математичних моделей;

б) на основі розв'язання рівнянь руху, в яких враховуються змінні параметри і дисипативні явища, здійснити поетапний аналіз системи, оцінити впливи окремих параметрів, розробити пропозиції по усуненню недоліків в роботі обладнання для обтягування пакет-піддонів плівкою;

в) створити математичні моделі динаміки робочих процесів змотування стрічки в обандеролювальних машинах з урахуванням параметричних колива-

льних процесів навантаження, розробити пропозиції по усуненню недоліків;

г) розробити завершені методи розрахунків названого обладнання з визначенням співвідношень між геометричними, кінематичними та динамічними параметрами та їх програмне забезпечення;

д) здійснити впровадження теоретичних розробок та експериментальну перевірку їх положень;

е) поглибити теоретичну базу динаміки машин в частині, що стосується параметричних коливань систем з кінематичними збуреннями.

Об'єктами досліджень є технологічне обладнання для одержання транспортних і збільшених вантажних одиниць.

Предметом дослідження є вузли для скріплення вантажних одиниць в пакетоформувальних і обандеролюючих машинах.

Методи досліджень включають аналітичне моделювання систем на основі стандартних припущень і положень класичної механіки, експериментальні безконтактні методи вимірів кінематичних параметрів ведених мас та комп'ютерну обробку аналітичних і експериментальних моделей.

Наукова новизна. Розкрито закономірності динаміки систем, в яких поєднуються кінематичні збурення від руху ведучих мас і динамічні збурення, пов'язані з поступовою і стрибкоподібною зміною жорсткості. Встановлено аналітичні залежності по визначенню жорсткості ведучої ділянки плівки в процесі обгортання пакет-піддону. Розроблено методику визначення швидкості змотування плівки, що абстрагується в поняття швидкості руху ведучої маси. Одержання залежностей по визначенню кінематичних параметрів ведучої маси здійснено на основі геометричних зв'язків системи. Встановлено присутність динамічних ударів в переходах від одного ведучого ребра пакет-піддону до іншого. Одержано залежності по визначенню частоти власних коливань системи та досягнута оцінка можливості гасіння коливальних процесів за рахунок рідинних демпферів. Розроблено математичні моделі процесів обандеролювання групових упаковок.

На захист виносяться:

- математична модель системи, в якій поєднуються кінематичні і динамічні збурення;
- аналітичні залежності для визначення параметрів систем;
- результати досліджень динаміки та закономірностей руху ведучих і ведених мас пакетообгортальних та обандеролюючих машин;
- методики інженерних розрахунків з наближенням параметрів систем до оптимальних.

Методи досліджень містять в собі теорію динаміки пружних систем, теорію механізмів і машин, прикладної механіки, методи математичної статистики.

Достовірність результатів визначається використанням стандартних припущень, основних положень класичної механіки та підтверджується співпадінням теоретичних і експериментальних досліджень та результатами промислових випробувань впроваджених розробок.

Практична цінність:

- сформульовано принципи вдосконалення пристроїв для обтягування пакет-піддонів плівкою та обандеролюючих машин;
- запропоновані методики розрахунку параметрів, взаємозв'язків між геометрією пакет-піддонів, кінематикою їх обертання і динамічними навантаженнями, що виникають в плівці;
- показано можливості обмеження нерівномірності натягу плівки за рахунок ліквідації інерційних вибігів бобіни з плівкою;
- розроблено конструкції вузлів для ліквідації нерівномірного натягу плівки, новизна яких захищена патентом України;
- одержана методика розрахунку частоти власних коливань системи "пакет-піддон – плівка – бобіна", що дає можливість уникати наближення до резонансу у порівнянні з частотою кінематичних збурень;

Реалізація роботи. Розроблена конструкція вузла стабілізації натягу плівки, придатного для використання в пристроях різних фірм, яка впроваджена на зразках обладнання. Отримані результати використовуються в навчальному процесі при читанні курсів "Теорія механізмів і машин", "Автоматизовані поточкові лінії", "Математичне моделювання процесів пакування", в курсовому та дипломному проектуванні, при виконанні магістерських робіт.

Здійснено впровадження пристрою по стабілізації швидкості змотування плівки на Красноармійському м'ясокомбінаті.

Особистий внесок здобувача полягає в критичному аналізі технологій і обладнання, які використовуються при одержанні збільшених вантажних одиниць та транспортних упаковок, формулюванні задач досліджень, складанні і аналізі математичних моделей, організації, проведенні експериментальних досліджень і обробці їх результатів, розробці методів розрахунку вузлів, в яких взаємодіють ведуча та ведена маси та плівка або стрічка, розробці конструкції по модернізації обладнання та їх впровадженню.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались на 76-й та 77-й наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", міжнародній науково-практичній конференції "Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи" (м. Київ, НУХТ, 2010 р.), на семінарах кафедри технічної механіки і пакувальної техніки НУХТ та на науково-технічних нарадах інженерних працівників м'ясокомбінату (м. Красноармійськ, 2010, 2011 рр.), на семінарі міжнародної виставки "INPRODMASH – UPAKOVKA" "Ресурсо- та енергозберігаючі технології виробництва та пакування харчової продукції – основні складові її конкурентоспроможності" (м. Київ, 12.09.2012 р.)

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць, в тому числі 7 статей у фахових виданнях, 5 тез наукових конференцій, отримано 3 патенти України.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу,

п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Основний зміст дисертаційної роботи виконано на 110 сторінках машинописного тексту. Робота містить 71 рисунок і 11 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 119 найменувань.

Основний зміст роботи

У вступі обґрунтована доцільність і актуальність дисертаційної роботи. Відмічено необхідність створення наукового підґрунтя, на якому базується розвиток вітчизняної техніки для забезпечення машинного формування збільшених вантажних одиниць.

В першому розділі наведено аналіз літературних джерел, який стосується машин для створення групових упаковок і збільшених вантажних одиниць, сучасних методів моделювання подібних систем і відслідковано розвиток методів розрахунку обладнання.

За результатами аналізу літературних джерел зроблено такі висновки.

1. Переробні галузі України зорієнтовані на використання пакет-піддонних технологій зі скріпленням пакетів розтягнутою плівкою. Поряд з імпортними поставками обладнання продовжується накопичення теоретичного потенціалу на різних рівнях і створення машинобудівної галузі в цих напрямках національними виробниками.

2. Досвід експлуатації імпортного та вітчизняного обладнання для обгортання пакет-піддонів плівкою вказує на суттєвий недолік, пов'язаний з нерівномірним натягом плівки, який утворюється в технологічному процесі і проявом якого є недостатня стійкість пакет-піддонів. Це негативне явище пов'язано з геометричними параметрами пакет-піддону, кінематикою виконання технологічного процесу, інерціальними, пружними, коливальними та дисипативними властивостями системи "пакет-піддон – плівка – бобіна".

3. Розв'язання задачі по стабілізації натягу плівки звичайно шукають на шляху збільшення моменту сил опору обертання бобіни. Це збільшує статичну складову навантаження плівки, проте не впливає на динамічні складові навантажень. За досягнення можливості уникнення від'ємних натягів, однак, стабілізація натягів чи хоча б наближення до стабілізації не досягається.

4. Плівкові матеріали мають допустимі напруження, які обмежують статичні складові навантажень. Останнє лімітує можливості регулювання системи за їх рахунок. Вибір плівкових матеріалів більшої товщини приводить до зростання погонної маси і вартості, зростає жорсткість, що в свою чергу призводить до збільшення динамічних складових навантажень.

5. Довжина ділянки плівки, яка з'єднує ведучий і ведений елементи змінюється в процесі ведення одним ребром пакета поступово, а з переходом від одного ребра до іншого – стрибкоподібно.

6. Аналіз теорії коливальних процесів в загальній постановці дозволяє намітити такі шляхи удосконалення обладнання:

- регулювання швидкості обертання пакет-піддону з метою стабілізації швидкості змотування плівки з бобіни;
- оптимізаційний вибір параметрів системи з метою обмеження динамічних складових навантажень;
- збільшення дисипативних властивостей систем з метою гасіння коливальних процесів;
- використання динамічних віброгасників;
- стабілізація системи за рахунок регулювання кутової швидкості бобіни з плівкою.

7. Досліджувані системи підпадають під випадок нелінійних параметричних коливальних систем, що викликає необхідність їх поглибленого аналізу. До таких систем відносяться обандеролювальні машини, піднімально-опускні пристрої, пакетоформувальні та інші машини.

Вирішення вказаних задач потребує комплексної оцінки впливів різних факторів і використання накопиченого наукового підґрунтя, яке стосується динаміки машин, сучасних комп'ютерних технологій, теорії машин і механізмів та відповідних розділів математики. Враховуючи це в дисертаційній роботі сформульовано завдання досліджень і розробок.

Другий розділ присвячений розробці методик досліджень. Врахування конструктивної побудови досліджуваних машин приводить до висновку, що їх динамічні моделі слід віднести до двомасових систем і загальні аспекти теорії останніх цілком можуть бути використані в інтересах роботи. В основу складання фізичних і математичних моделей покладено стандартні припущення класичної механіки.

До числа особливостей динаміки пружних систем, що вивчаються, є поєднання кінематичних і динамічних збурень, тому фактори, які їх відображають, повинні входити відповідними складовими в рівняння руху. Стрибкоподібні зміни жорсткості пружних елементів пропонується врахувати на основі кількостетного опису динаміки.

В розділі викладається послідовність складання і аналізу аналітичних моделей, а також формулюються задачі і методи експериментальних досліджень. Останні заплановано провести в режимі пасивних експериментів з використанням безконтактних методів виміру кінематичних параметрів ведених ланок. Наведено дані, які стосуються методів обробки експериментальних даних, одержаних з допомогою телевізійної зйомки.

У **третьому розділі** виконано дослідження кінематики і динаміки обтягування плівкою пакет-піддонів. Звичайно пакет-піддон має форму паралелепіпеда і машинне обтягування здійснюється за рахунок його обертання та змотування плівки з бобіни, якій надається зворотно-поступальний рух по вертикальній напрямній для отримання гвинтової намотки.

Зміна відносного розташування бобіни і ребра пакета, яким "ведеться" плівка визначає зміну швидкості руху плівки і в зв'язку з інерційними явищами на бобіні порушується рівномірний натяг плівки. Підгальмовування бобіни з плівкою, яке використовують для покращення ситуації приводить лише до змі-

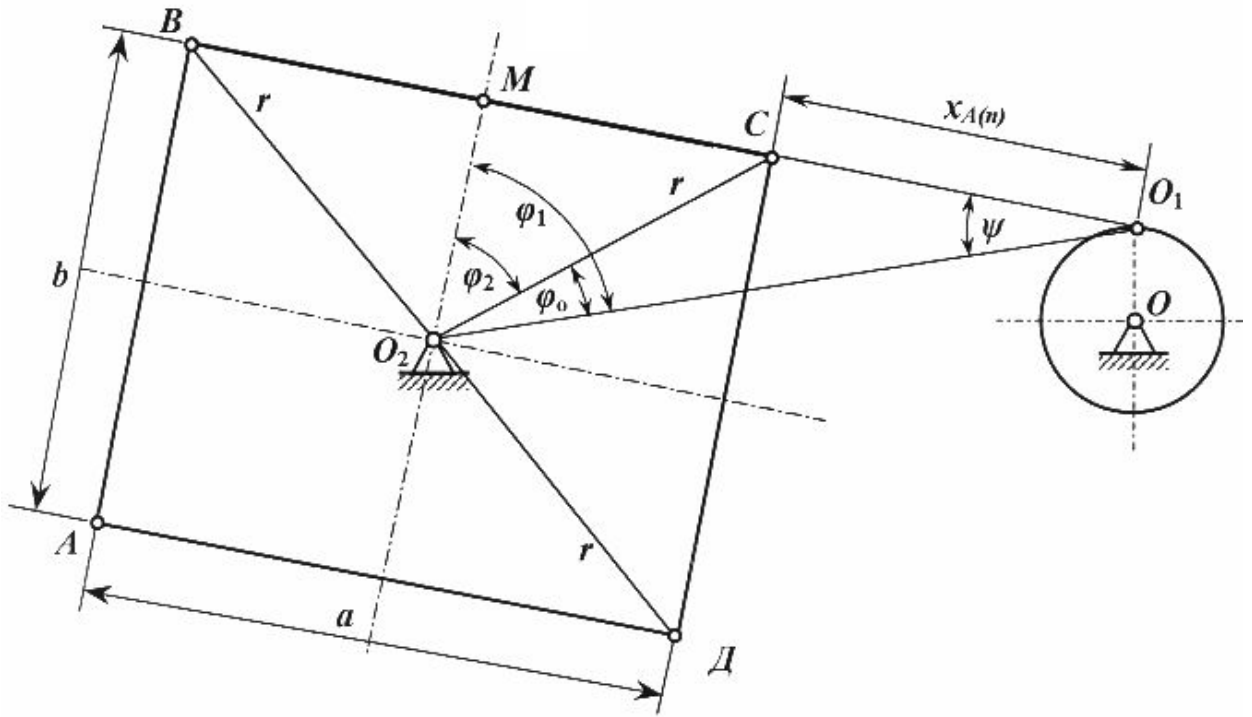


Рис. 1. Схема до визначення геометричних зв'язків

ни статичної складової навантаження плівки, але задачу стабілізації натягу не вирішує. Для складання аналітичних моделей в розділі сформульовано такі спеціальні припущення:

- вважається, що кутова швидкість обертання пакет-піддону є сталою;
- поперечними переміщеннями плівки нехтуємо;
- діаметр бобіни плівки за час обгортання одного пакет-піддону вважається незмінним.

В основу розв'язання задачі покладено пошук геометричних зв'язків. Звичайно в плані пакет-піддон має форму прямокутника. Позначимо його сторони через a та b (рис. 1). Кінематика та динаміка процесу описується певними залежностями на етапах повороту пакет-піддона на кути $\varphi_{(k)}^I$ та $\varphi_{(k)}^{II}$. Позначивши відстань O_2C як r , визначимо ці кути.

З рисунка видно, що

$$\varphi_{(k)}^I = \arcsin \frac{b}{2\ell_{O_1O_2}}; \quad (1)$$

$$\psi = \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_0)}. \quad (2)$$

Показане на рис. 1 положення пакета та барабана відповідає завершенню I етапу (ведуче ребро B). Початок наступного етапу має місце від моменту контакту плівки з ребром C. Тут справедливі такі геометричні співвідношення:

$$\varphi_{(k)}^I = \frac{\pi}{2} - \psi_{(k)}^I + \psi_0 = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b}{2\ell_{O_1O_2}} + \arcsin \frac{a}{2\ell_{O_1O_2}}; \quad (3)$$

$$\varphi_{(\kappa)}^{\text{II}} = \pi - \varphi_{(\kappa)}^{\text{I}} = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{b}{2\ell_{O_1O_2}} - \arcsin \frac{a}{2\ell_{O_1O_2}}. \quad (4)$$

Нехай відстань $\ell_{O_1O_2}$ та кутова швидкість обертання пакета ω відомі (рис. 2). Визначимо величину x_A , яка відповідає довжині плівки:

$$x_A = \ell_{O_1O_2} \cos \psi - r \cos(\varphi + \varphi_0 + \psi). \quad (5)$$

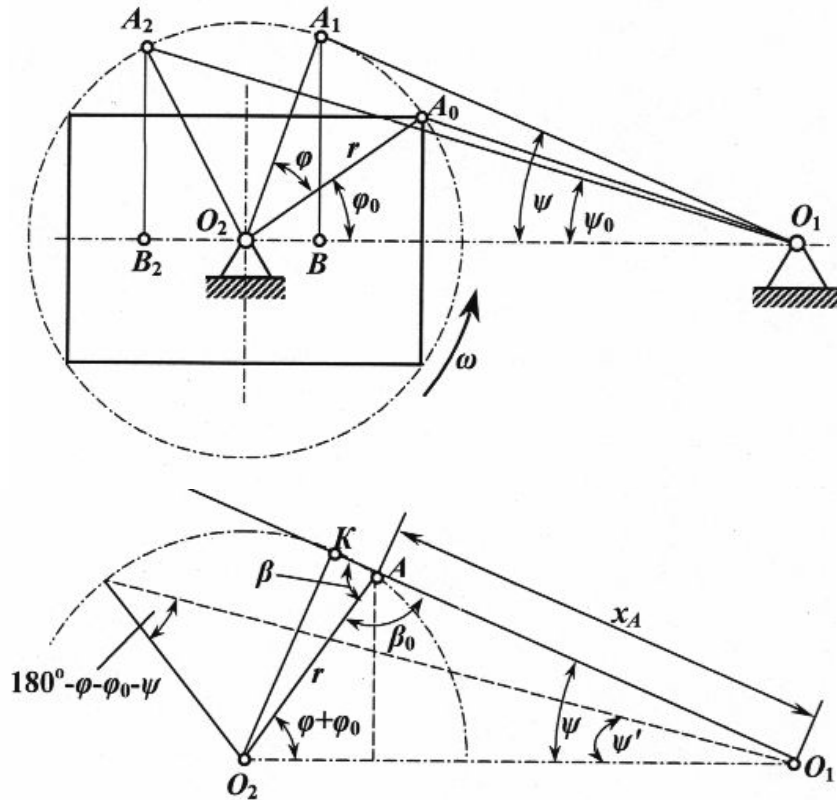


Рис. 2. Схема загального положення

Після підстановки (2) в (5) дістанемо

$$x_A = \ell_{O_1O_2} \cos \arctg \frac{r \sin(\omega t + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_0)} - r \cos \left(\varphi_0 + \arctg \frac{r \sin(\omega t + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_0)} + \omega t \right). \quad (6)$$

На момент завершення I етапу в контакт з плівкою ввійде ребро C (рис.1).

Якщо кутова швидкість ω обертання пакет-піддона відома, то маємо можливість визначити час завершення першого етапу

$$t_{(к)}^I = \frac{\varphi_{(к)}^I}{\omega} = \frac{\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{b}{2\ell_{O_1O_2}} - \arcsin \frac{a}{2\ell_{O_1O_2}}}{\omega}. \quad (7)$$

Щоб визначити кінематичні параметри процесу обтягування плівкою, треба двічі продиференціювати вираз (6), діставши при цьому швидкості та прискорення.

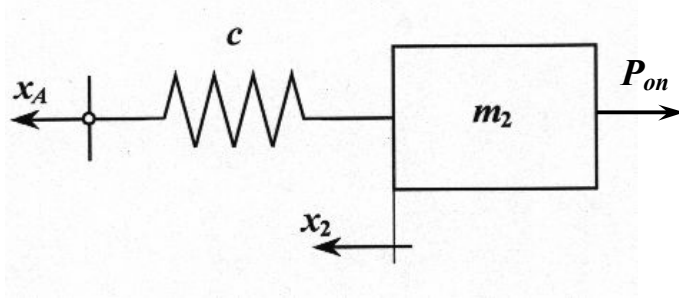


Рис. 3. Розрахункова модель до випадку усталеного руху

Для дослідження динаміки усталеного руху складемо динамічну модель, яка описує процес (рис. 3).

Рівняння руху веденої маси в цьому випадку записується у вигляді

$$m_2 \ddot{x}_2 = c(x_A - x_2) - P_{он}, \quad (8)$$

де x_2 – координата перемі-

щення веденої маси; c – жорсткість пружного елемента

$$c = EF/x_A; \quad (9)$$

E – модуль пружності, Па; F – площа поперечного перерізу плівки, m^2 .

Підставивши c та x_A у (8), дістанемо

$$m_2 \ddot{x}_2 = \frac{c_{пит}}{\ell_{O_1O_2} \cos \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_0)} - r \cos(\varphi + \varphi_0) + \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_0)}} \times \\ \times \left(\ell_{O_1O_2} \cos \arctg \frac{r \sin \varphi + \varphi_0}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_0)} - r \cos \left(\varphi + \varphi_0 + \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_0)} \right) - x_2 \right) - P_{он}. \quad (10)$$

Початкові умови для розв'язання рівняння (10)

$$t_{(п)} = 0; \quad x_{2(п)} = x_{A(п)}; \quad \dot{x}_{2(п)} = \frac{\dot{x}_{Amax} + \dot{x}_{Amin}}{2}. \quad (11)$$

Навантаження плівки

$$P_{пр} = c(x_A - x_2). \quad (12)$$

Розрахунки виконуємо для двох етапів, оскільки протягом цих етапів значення φ_0 будуть різними.

Очевидно, що значення $x_2 = x_2(t)$ і $P_{пр} = P_{пр}(t)$ залежать від величин a , b та $\ell_{O_1O_2}$ у своєму безпосередньому впливі. Разом з тим, має вплив жорсткість, яка за інших рівних умов залежить від вибраного $\ell_{O_1O_2}$.

Отже, до зовнішніх параметрів впливу належать кутова швидкість ω і відстань $\ell_{O_1O_2}$. Проте кутова швидкість обертання пакета певним чином регламентується пропускною здатністю системи, але якийсь діапазон вибору все-таки існує.

Хоча маса бобіни протягом роботи суттєво змінюється, проте це визначає лише різні рівні навантаження та різну динаміку у міру витрачання плівки. Однак цей вплив на динаміку обтягування окремо взятого пакет-піддона залежить від маси бобіни, хоча всі залежності зберігаються.

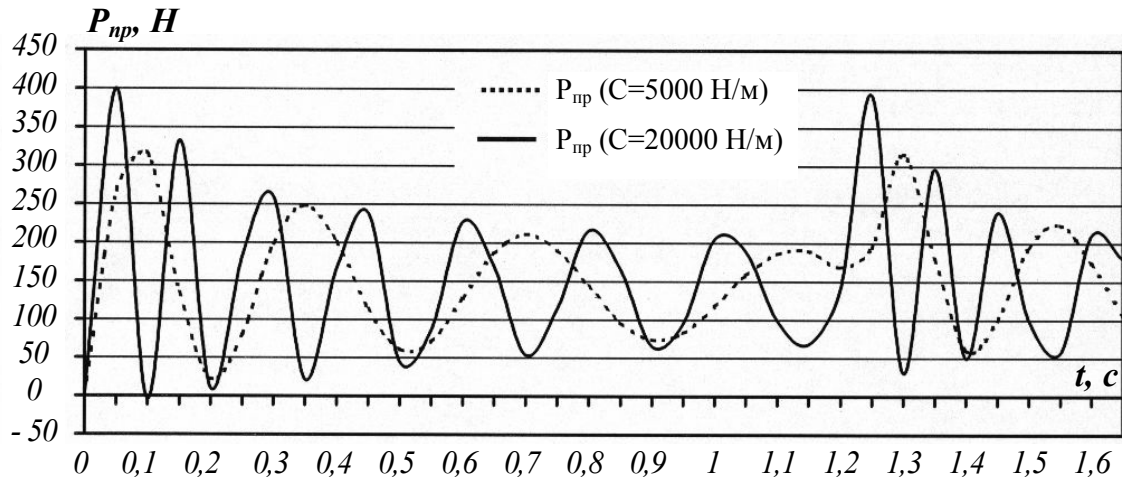


Рис. 4. Графіки пружних навантажень плівки для I і II етапів усталеного руху

На рис. 4 показано результати розрахунків для визначення пружних зусиль, які одержано розв’язанням з використанням програми “Mathcad 7 Pro” за таких значень параметрів:

$$m_2 = 20 \text{ кг}; \quad EF = 5000; 20000 \text{ Н}; \quad \ell_{O_1O_2} = 1,2r;$$

$$r = 0,72 \text{ м}; \quad \omega = 1,57 \text{ с}^{-1}; \quad P_{оп} = 150 \text{ Н}.$$

З рисунка видно, що вказаний набір параметрів системи запобігає від’ємним натягам плівки і дає задовільний результат.

За встановлених взаємозв’язків між геометричними і динамічними параметрами показано, що наявність коливальних процесів може супроводжуватись від’ємними розрахунковими значеннями пружних сил. Уникнути таких показників вдається за рахунок підвищення опору переміщення веденої маси. З рис. 4 видно вплив зміни довжини плівки (і її жорсткості) на частоту коливань і екстремуми навантажень.

Усунення кінематичного збурення і стабілізація швидкості $\dot{x}_A$ можлива за рахунок пошуку закону $\omega = \omega(t)$, який забезпечить умову $\dot{x}_A = \text{const}$. В розділі наведено залежності, якими ця стабілізація досягається, а для її оцінки ви-

конано дослідження динаміки навантажень плівки в умовах регульованих приводів.

Для першого і другого етапів одержано рівняння руху $x_A = x_1 = x_1(t)$ і $x_2 = x_2(t)$, які приводять до залежностей

$$P_{\text{пр}} = \frac{EF}{\dot{x}_1^I t + x_{1(n)}^I} (x_1^I(t) - x_2^I(t)); \quad P_{\text{пр}} = \frac{EF}{\dot{x}_1^I t + x_{1(n)}^{\text{II}}} (x_1^{\text{II}}(t) - x_2^{\text{II}}(t)), \quad (13)$$

де верхні індекси при кінематичних параметрах відповідають етапам (першому і другому); $x_{1(n)}^I$, $x_{1(n)}^{\text{II}}$ – початкові координати ведучої маси.

Стабілізація швидкості $\dot{x}_1$ усуває зовнішні кінематичні збурення. Виконані розрахунки показали, що коливальні процеси, якими характеризується рух веденої маси, приводять до наявності різниці початкових швидкостей $\dot{x}_{1(n)}$ і $\dot{x}_{2(n)}$ на кожному з етапів. Ця різниця залишається причиною внутрішніх для системи кінематичних збурень і по мірі затухання коливальних процесів єдиною причиною змінних значень $P_{\text{пр}}$ залишається змінна жорсткість.

Оцінка впливу дисипативних явищ привела до необхідності розв’язання і аналізу рівняння руху, до складу якого введено коефіцієнт розсіювання енергії ψ .

Порівняльні графіки кінематичних параметрів і пружних сил, що виникають під час руху мас системи, показують (рис. 5, 6), що за рахунок дисипативних явищ належного рівня існує можливість уникнути від’ємних значень $P_{\text{пр}}$. Останній висновок вказує на доцільність спроби розв’язання проблеми на шляху використання активних гасників коливальних процесів.

Експериментальними дослідженнями в умовах пасивних експериментів на обладнанні фірми KHS здійснювалося визначення зміни кута повороту веденої ланки (бобіни) $\varphi = \varphi(t)$ в перехідних режимах і режимах усталеного руху ведучої маси. Виміри і обробка їх результатів здійснювалася у відповідності з методикою, викладеною в розділі 2. Машинне диференціювання останньої залежності дало можливість отримати графік зміни кутової швидкості бобіни $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}(t)$.

Експериментальні дослідження на основі безконтактних вимірів кутових переміщень бобіни з плівкою підтверджують подібність форм кривих залежностей кінематичних параметрів з розрахунковими.

Розбіжність між екстремумами кінематичних параметрів вкладається у 12%, що вказує на можливість використання створених аналітичних моделей.

У розділі 4 викладено матеріали, пов’язані з синтезом систем, які характеризуються обмеженням коливальних процесів. Показана можливість використання зрівнювальних механізмів.

Зрівнювальні пристрої використовують для того, щоб досягти заданих законів руху ведених ланок. Відома постановка такого завдання стосовно ланцюгових передач або ланцюгових транспортувальних машин (елеватори, конвеєри). За кінцеву мету тут мають домагатися постійної швидкості руху ланцюгів. Якщо швидкість руху ведучих зірочок постійна, то, як відомо, ланцюг матиме

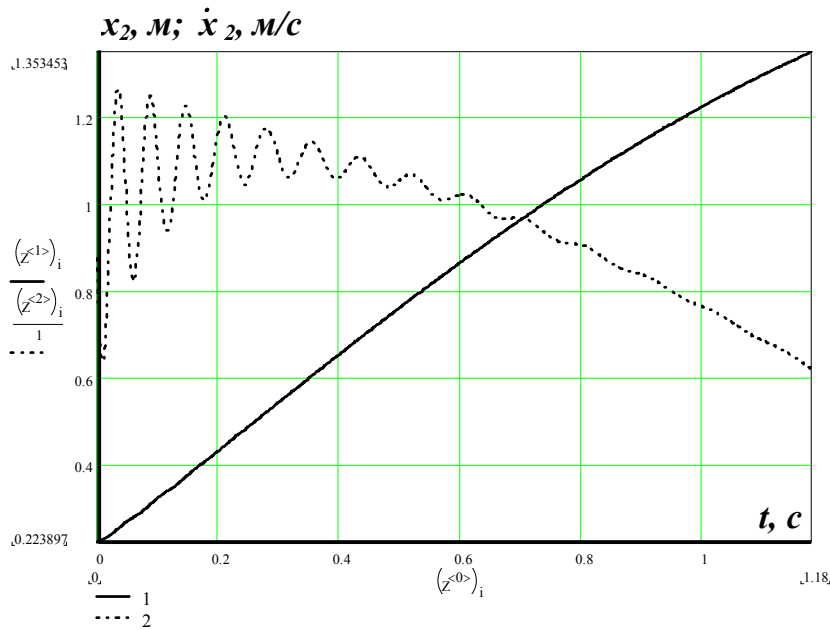


Рис. 5. Графіки залежності переміщення (1) і швидкості (2) веденої маси для системи з урахуванням розсіювання енергії: $r = 0,72$ м; $\omega = 1,57$ с⁻¹; $\varphi_0 = 0,2166$ рад; $\ell_{O_1O_2} = 0,865$ м; $m_2 = 5$ кг; $EF = 20000$ Н; $P_{оп} = 150$ Н; $\psi = 0,6$

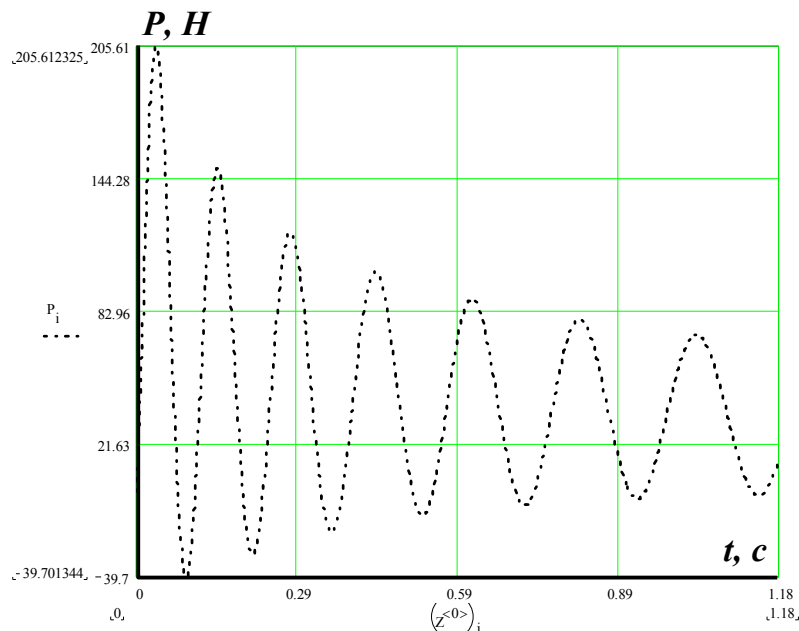


Рис. 6. Графіки пружних зусиль без урахування розсіювання енергії: $r = 0,72$ м; $\omega = 1,57$ с⁻¹; $\varphi_0 = 0,2166$ рад; $\ell_{O_1O_2} = 0,865$ м; $m_2 = 20$ кг; $EF = 20000$ Н; $P_{оп} = 50$ Н; $\psi = 0$

змінну швидкість. Завдяки зміні закону руху ведучих зірочок (разом з ведучим валом) досягається стабілізація швидкості ланцюга.

Аналогічно виглядає проблема використання зрівнювальних механізмів стосовно пристроїв для обгортання пакет-піддонів плівкою. Технічно забезпечити заданий закон руху пакет-піддона можна, використовуючи існуючі розробки. На рис. 7 зображено схему приводу пакет-піддона зі зрівнювальним пристроєм. До складу останнього входять ведуча зірочка 1 ланцюгової передачі та ведена зірочка 2, яка має стільки ж граней, як і пакет-піддон. На рисунку показані також пакет-піддон 3, плівка 4, та бобіна 5. При цьому крок ланцюга p на гранях зірочки 2 має вкладатися ціле число разів. Окрім того, має виконуватись умова подібності, тобто

$$\frac{a}{a_1} = \frac{b}{b_1}. \quad (14)$$

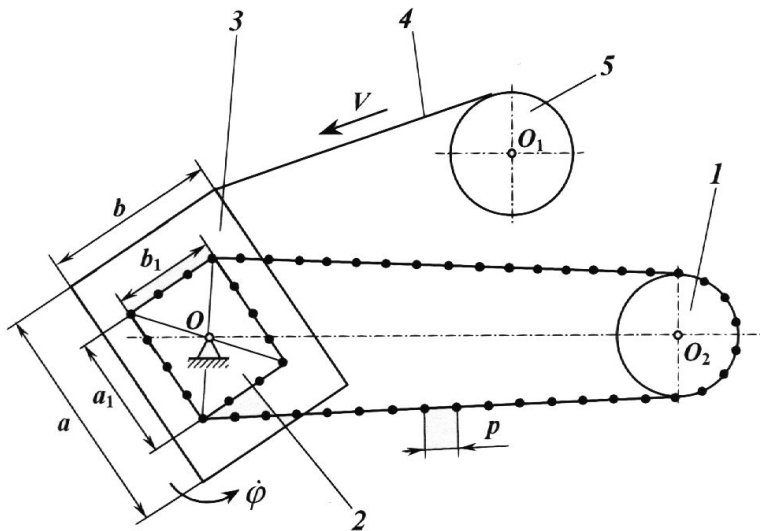


Рис. 7. Схема приводу пакет-піддона зі зрівнювальним механізмом

буде найменшою, що спричиняє зменшення швидкості змотування плівки. Результат стабілізації останньої певною мірою залежить від величини кроку ланцюга ланцюгової передачі. Вибір кроку ланцюга пов'язується з розмірами граней $A'B'$ та $B'C'$ веденої зірочки.

Використання зрівнювальних механізмів у нашому випадку має певні недоліки, пов'язані з нерівномірністю обертання пакет-піддонів, маса та момент інерції яких можуть бути досить великими.

Стосовно двомасових систем застосовують динамічні поглиначі, які мають вигляд додаткової маси з пружним зв'язком певних параметрів. Але динамічні поглиначі приводять до позитивних результатів у випадках суворої періодичності коливань, що не властиве для нашого випадку. Для систем зі змінними параметрами мас і жорсткостей більш придатні поглиначі зовнішнього сухого або рідинного тертя. Розрахунки показали, що для досягнення аперіодичного коливального руху системи "пакет-піддон – плівка – бобіна" за параметрів, близьких до тих, що мають місце в промисловості, коефіцієнт розсіювання ψ повинен бути $> 8,11$. Така величина можлива тільки за використання спеціальних поглиначів.

У зв'язку зі зміною положення радіуса-вектора зубця зірочки 2, який ведеться шарніром ланцюга, кутова швидкість її буде змінною і в указаному на рис. 8 положенні – найменшою. Окрім того, має виконуватись умова подібності трикутників OSO_1 та $OA'O_2$ (рис. 8), за якою визначається довжина $l_{A'O_2}$ та міжосьова відстань $l_{OO'}$.

У вказаному положенні кутова швидкість веденої зірочки та пакета

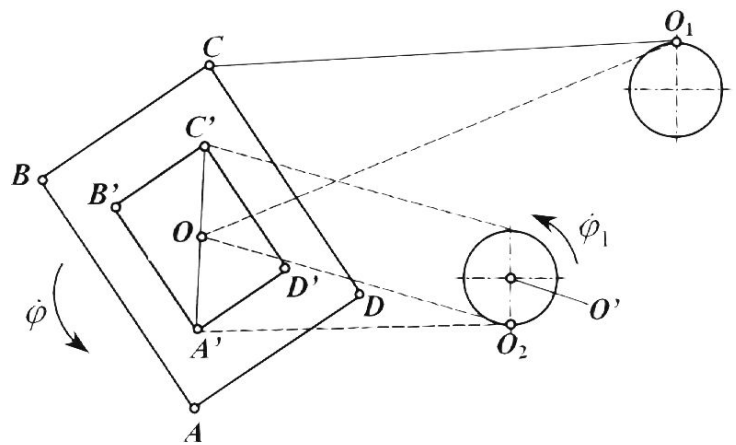
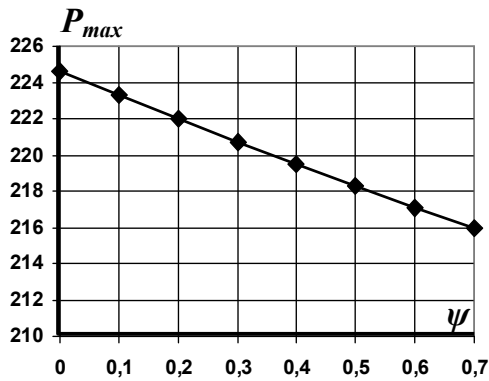
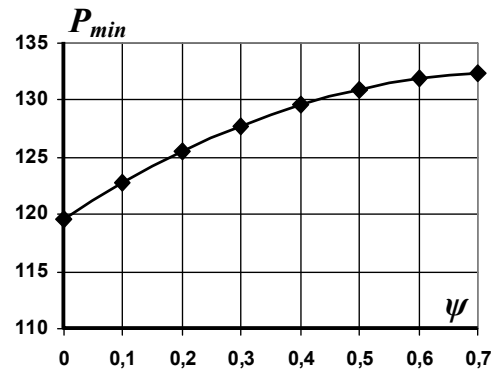


Рис. 8. Схема до визначення співвідношень геометричних параметрів приводу



$$P_{\max} = 224,65 - 13,54\psi + 1,59\psi^2$$



$$P_{\min} = 119,55 + 34,32\psi - 22,83\psi^2$$

Рис. 9. Залежність екстремальних навантажень плівки від коефіцієнта затухання

Вплив дисипативних властивостей системи на екстремальні навантаження плівки визначався розрахунками. На рис. 9 наведена залежність максимальних $P_{\max}$ і мінімальних $P_{\min}$ пружних зусиль від коефіцієнта розсіювання ψ . Хоча цей вплив і відслідковується, проте різниця екстремумів за $\psi = 0,7$ і $\psi = 0$ складає лише біля 4-5 %.

Встановлено, що важливе значення з переходом від I-го етапу до II-го має початковий натяг плівки. Тому слід забезпечувати умови уповільненого розгону системи і створення попереднього натягу плівки. Досягти останнього можна, наприклад, за використання натяжних роликів, встановленням бобіни в рухомих напрямних тощо.

У розділі 5 викладено результати дослідження динаміки процесів обандеролювання. Особливістю процесів тут є те, що ведуча маса (ящик, упаковка та ін.) приводиться в рух силами тертя. Встановлено геометричні зв'язки системи, визначено всі динамічні складові та виведено рівняння руху. В них враховано змінні значення довжини (і жорсткості) обандеролювальної стрічки, а метою аналізу математичних моделей є визначення параметрів, які забезпечують допустимі навантаження з врахуванням необхідної швидкодії. Важливим є обмеження максимумів навантажень і одночасно забезпечення умов додатних значень мінімальних навантажень стрічки.

Розв'язання систем нелінійних рівнянь руху здійснювалося з використанням програми Mathcad 7 Pro і відповідним перебором параметрів робилася оцінка їх впливів.

В русі мас системи виділено три етапи. На першому здійснюється переміщення ведучої маси за рахунок сил тертя з рухомою опорною площиною. Завершується перший етап навантаженням пружного елемента до сили опору переміщення веденої маси. На другому етапі швидкість руху ведучої маси зростає до швидкості руху опорної площини конвеєра, а на третьому етапі ведуча маса рухається зі сталою швидкістю.

З аналізу розв'язання аналітичних моделей зроблено наступні висновки:

- за прискореного руху ведучої маси під дією сил тертя на другому етапі досягаються тільки позитивні значення пружних зусиль;
- для системи, що розглядається, кінцеве значення швидкості руху ведучої маси принциповий вплив має тільки з точки зору кінцевого пружного зусилля третього етапу;
- з метою обмеження значень нижніх екстремумів пружних навантажень третього етапу доцільним є вибір параметрів системи, за яких кінцеве пружне навантаження другого етапу буде мінімальним;
- встановлено, що збільшенням дисипативних властивостей і відповідним вибором моменту опору бобіни усувається можливість негативних натягів стрічки.

Загальні висновки і результати

Виконані огляд та аналіз літературних джерел, вивчення досвіду промисловості, аналітичні та експериментальні дослідження динаміки робочих процесів дозволяють сформулювати наступні положення.

1. Показано, що стосовно машин, в яких об'єктом маніпуляцій є плівки, стрічки, обгортальний папір тощо з жорсткостями, що на порядок або кілька порядків менше за жорсткість інших елементів, аналітичне моделювання динамічних процесів доцільно виконувати на основі двомасових моделей. Характерними для досліджуваного обладнання є специфічні закони руху ведучих мас і змінні значення жорсткості на протязі перехідних процесів. Сполучення таких особливостей потребує відображення їх в аналітичних моделях і цей пошук взаємозв'язків параметрів розширює можливості теоретичних і прикладних аспектів динаміки машин.

2. Встановлено геометричні зв'язки між параметрами пакетообгортальних і обандерольовальних машин та узагальненими координатами і їх зв'язки з динамічними та кінематичними параметрами. На основі сукупності цих зв'язків складено математичні моделі у вигляді рівнянь руху ведучих та ведених мас.

3. Аналізом математичних моделей встановлено рівень впливу різних факторів на нерівномірність натягу стрічок та плівок в робочих процесах.

4. Розроблено методики розрахунків пакетообгортальних та обандерольовальних машин з визначенням співвідношень між геометричними, кінематичними та динамічними параметрами з програмним забезпеченням розрахунків.

5. Розроблено конструкторську документацію на вузли стабілізації натягу плівок та стрічок, що захищені двома патентами України.

6. Здійснено виготовлення, впровадження і промислову перевірку двох вузлів стабілізації натягів обгортальних матеріалів.

7. Поглиблена теоретична база динаміки машин в частині, що стосується особливостей динаміки перехідних процесів та розробок по стабілізації натягів обгортальних матеріалів і гасінню коливань впроваджена в навчальний процес в дисциплінах "Математичне моделювання процесів пакування" та "Автоматизовані потокові лінії".

Список опублікованих праць

1. Динаміка процесів створення збільшених вантажних одиниць з врахуванням дисипативних явищ / Павлов С.О., Васильківський К.В., Піддубний В.А. // Наукові праці НУХТ. – 2009. – № 29. – С. 39–41.

Особистий внесок: запропонував математичну модель і виконав її аналіз.

2. Моделювання дисипативних явищ у пакувальному обладнанні / С.О. Павлов, А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, В.А. Піддубний // Упаковка. – 2009. – № 4. – С. 44–47.

Особистий внесок: виконав аналіз математичної моделі.

3. Енергія дисипації у процесах пакування / С.О. Павлов, А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, В.А. Піддубний // Упаковка. – 2009. – № 5. – С. 35–37.

Особистий внесок: розробив підґрунтя для оцінки енергетичних ефектів дисипації.

4. Кінематика і динаміка створення збільшених вантажних одиниць / Павлов С.О., Соколенко А.І., Васильківський К.В., // Харчова промисловість. – 2009. – № 8. – С. 82–83.

Особистий внесок: розробив математичну модель.

5. Особливості кінематики і динаміки орієнтувальних пристроїв / Павлов С.О., Шевченко О.Ю. // Харчова промисловість. – 2009. – № 8. – С. 94–95.

Особистий внесок: виконав математичний аналіз динаміки орієнтування вантажів в пристроях.

6. Енергетичні трансформації в технологічних машинах ліній пакування / С.О. Павлов, А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, М.В. Якимчук // Упаковка. – 2010. – № 2. – С. 51–53.

Особистий внесок: розробив модель явища.

7. Кінематика переміщень вантажів на похилих опорних рухомих площинах / Хваста М.М., Соколенко А.І., Васильківський К.В., Павлов С.О. // Харчова промисловість. – 2010. – № 9. – С. 110–112.

Особистий внесок: розробив особливості кінематики взаємодії вантажів і опорної площини.

8. Патент України на корисну модель № 50217 МПК В65В 11/00. Пристрій для обгортання пакет-піддонів розтягнутою плівкою / А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, С.О. Павлов, В.А. Піддубний. – Опубл. 25.05.2010. Бюл. № 10.

Особистий внесок: запропонував до складу приводу внести некруглі зубчасті колеса.

9. Патент України на корисну модель № 62351 МПК В65G 65/00. Пристрій для піднімання та переміщення вантажів / А.І. Соколенко, Р.М. Леус, М.М. Хваста, І.Ф. Максименко. – Опубл. 25.08.2011. Бюл. № 16.

Особистий внесок: запропонував виконання механізму горизонтального переміщення.

10. Патент України на корисну модель № 66513 МПК В02С 7/08. Дисковий млин / А.І. Волчко, А.А. Волчко, К.М. Дороніна. – Опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1.

Особистий внесок: запропонував профіль молоткових канавок зменшувати від максимуму в центрі диска до мінімуму на його периферії.

11. Особливості нелінійних систем в динаміці машин / Павлов С.О., Соколенко А.І., Костюк Є.В. – Тези доповіді міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи». Частина I. Київ, НУХТ, 2010.

Особистий внесок: запропонував зробити оцінку впливів нелінійності стосовно пристроїв для обтягування пакет-піддонів.

12. Енергетичні трансформації в пружних системах пакувального обладнання / Васильківський К.В., Павлов С.О. – Тези доповіді міжнародної науково-практичної конференції "Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи". Частина І. Київ, НУХТ, 2010.

Особистий внесок: запропонував методику оцінки рівня енергетичних витрат в дисипативних системах.

13. Дослідження динаміки перехідних процесів в пристроях для переміщення вантажів / Пономаренко Т.Д., Соколенко А.І., Бут С.А. – Тези доповіді на 76-й науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Ч. ІІІ. Київ, НУХТ, 12–13 квітня 2010 р.

Особистий внесок: запропонував математичні моделі стосовно перехідних процесів.

14. Особливості вибору параметрів обладнання в транспортно-технологічних системах харчових виробництв / Костюк Є.В., Хваста М.М. – Тези доповіді на 77-й науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті" Частина ІІ. Київ, НУХТ, 11-12 квітня 2011 р.

Особистий внесок: запропонував алгоритм синтезу обладнання транспортно-технологічних систем.

15. Регулювання параметрів приводів машин / Соколенко А.І., Костюк Є.В., Костюк В.С. – Тези доповіді на 78-й науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті" Частина ІІ. Київ, НУХТ, 2–3 квітня 2012 р.

Особистий внесок: запропонував регулювання параметрів приводів машин здійснювати за рахунок частотних перетворювачів.

16. Компенсатори динамічних навантажень і рекуперація кінетичної енергії в приводах машин. Тези доповіді на 13 міжнародній спеціалізованій виставці обладнання та технологій для упаковки "УПАКОВКА". Київ, 11–14.09.2012 р.

Особистий внесок: сформулював можливості повернення кінетичної енергії в режимі використання сил інерції.

Анотація

Павлов С.О. "Удосконалення методів розрахунку пакувального обладнання харчових виробництв з робочими елементами змінної жорсткості". – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2012.

В дисертації розглянуто особливості динаміки пакетообгортальних і обандеролювальних машин, пов'язані з кінематичними збуреннями, які є проявом специфічних законів руху ведучих мас і змінної жорсткості робочих елементів. Поглиблене вивчення взаємозв'язків геометричних, кінематичних і динамічних параметрів дозволило розв'язати задачу стабілізації натягів плівок та стрічок в машинних операціях. Виконано конструкційні розробки, виготовлення і впровадження вузлів стабілізації натягів.

Ключові слова: пакет-піддони, динаміка, перехідні процеси, коливання, аналітичні моделі.

Аннотация

Павлов С.О. "Усовершенствование методов расчета упаковочного оборудования пищевых производств с рабочими элементами переменной жесткости". – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых производств, Киев, 2012.

Диссертация содержит результаты анализа особенностей переходных процессов динамики оборачивания пакет-поддонов в растягиваемую пленку и обандероливания транспортных упаковок.

Постановка задачи исследования связана с тем, что действующее оборудование не обеспечивает равномерного натяжения пленки, а в некоторых случаях оно становится равным нулю. Такая нестабильность приводит к резкому снижению устойчивости пакет-поддонов как увеличенных грузовых единиц продукции. Целью работы есть комплексная оценка проблемы стабилизации натяжений пленок или лент и обеспечение заданной устойчивости пакет-поддонов.

В первом разделе выполнен анализ литературных источников и обобщен опыт промышленности. Выполнен анализ методов современной динамики машин, обоснована возможность моделирования на уровне двухмассовых систем, показана необходимость учета кинематических возмущений, отображающих законы движения ведущих масс и изменяющихся динамических параметров. В связи с этим делается вывод об актуальности исследований и сформулированы задачи диссертационной работы.

Во втором разделе изложены методики аналитических и экспериментальных исследований, сформулированы принятые допущения и методики обработки результатов.

Третий раздел посвящен нахождению геометрических связей параметров устройства для оборачивания пакет-поддонов. На их основе определена кинематика движения ведущих масс в моделях и динамика изменения приведенной жесткости. Составлены аналитические модели в форме уравнения движения масс, определены законы движения ведомых масс и нагрузки в упругих элементах. Установлено влияние различных факторов на нагрузки, оценены возможности стабилизации натяжений за счет геометрических и кинематических параметров.

В четвертом разделе рассмотрены вопросы синтеза систем с ограничениями колебательных процессов, выполнена оценка перспектив использования уравнительных механизмов, поглотителей колебаний, оценка влияния начальных условий и жесткости системы. Разработаны предложения по реализации теоретических разработок, в том числе и на уровне изобретений.

В пятом разделе представлены результаты исследований динамики процессов обандероливания, в том числе с фрикционным приводом упаковок, оценкой влияния жесткости, начальных условий, учетом диссипативных явлений.

Осуществлено промышленное внедрение разработок.

Ключевые слова: пакет-поддоны, динамика, переходные процессы, колебания, аналитические модели.

The summary

Pavlov S.O. "Improvement of methods of account of the packing equipment of food manufactures with working elements of variable rigidity". – Manuscript.

Dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.18.12 – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical manufactures. – National university of food technologies, Kiev, 2012.

The dissertation contains results of the analysis features of transients dynamics registration of packages-pallets in a stretched film and drawings of a sticky tape on packing.

The statement of the research problem is connected that the operative equipment does not provide a uniform tension of a film, and in some cases it becomes equal to zero. Such instability results in sharp decrease of stability packages-pallets as increased cargo units of production. The purpose of work is a complex estimation a problem of stabilization tension of a film or tape and maintenance of the given stability to packages-pallets.

The analysis of methods modern dynamics of machines is executed, the opportunity of modeling at a level two-mass systems is proved, the necessity of the account influences displaying the laws of movement conducting weights and varied dynamic parameters is shown.

The industrial introduction of development is carried out.

Key words: packages-pallets, dynamics, transients, fluctuations, analytical models.