

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
Український державний університет харчових технологій

ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ  
КОСТЯНТИН ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.798

МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОЧИХ  
ПРОЦЕСІВ І ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ В  
ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

*05.18.18*

Спеціальність *05.05.09* — Машини харчової,  
мікробіологічної та фармацевтичної промисловості

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 1997

АВ 39.242

Дисертацією є рукопис наукової праці.  
Робота виконана в Українському державному університеті харчових технологій.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор,  
Соколенко Анатолій Іванович,  
УДУХТ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
Некоз Олександр Іванович,  
УДУХТ, зав. кафедрою

кандидат технічних наук,  
Сухий Леонід Олександрович,  
заступник директора з наукової  
роботи ВАТ "УкрНДІпродмаш"

Провідна установа Інститут підвищення кваліфікації  
для керівних працівників та спеціалістів харчової і переробної  
промисловості України

Захист відбудеться " 11 " 02 1998 р. о 14 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 в Українському державному університеті харчових технологій за адресою: 252033, Київ-33, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету харчових технологій.

Автореферат розісланий " 25 " 12 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Зав'ялов В.Л.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00737689 (1)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Розвиток і вдосконалення всього комплексу обладнання харчових виробництв за останні десятиріччя базується на підвищенні пропускної спроможності при виконанні всіх інших показників технологічних процесів. Це в свою чергу стоується і обладнання для фасування і пакування харчових продуктів.

Сучасні транспортно-технологічні системи (ТТС), що здійснюють операції із скляною тарою, базуються на використанні конструктивних рішень, які забезпечують найбільш можливу продуктивність лінії фасування при мінімізації втрат склотари і готової продукції.

Недосконалість сучасних методів розрахунків обладнання транспортно-технологічних систем приводить до необгрунтовано-го збільшення кінематичних і динамічних параметрів. Оптимізація обладнання і ТТС вцілому може виконуватись на основі застосування теоретичної бази, що дозволяє виконувати необхідні пошуки і дослідження.

Мета роботи. Комплексна розробка і розвиток наукових методів розрахунку і проектування обладнання транспортно-технологічних систем для визначення оптимальних параметрів конструкцій в лініях фасування продукції харчової промисловості в скляну тару.

### Основні завдання наукового дослідження:

- розробити теоретичну базу і обгрунтувати можливість створення ефективного пристрою для формування масивів виробів з високою точністю позиціонування останніх і пропускною спроможністю;
- розробити теоретичні моделі, які описують характерні процеси, що відбуваються в накопичувачах і столах-розформувачах, і отримати методики розрахунків пристрою, який забезпечує беззаторну перебудову багатопотокових систем в однопотокові і навпаки;
- на основі поетапного опису робочих процесів в пристроях для виймання пляшок з транспортної тари розробити методики

розрахунків і визначення динамічних параметрів систем, які оптимізують останні по силовій дії на вантажі;

- на основі теоретичних моделей знайти конструктивні рішення, які реалізують вкладання вантажів на приймальну площину виймальника, близьке до безударного;
- розробити методики розрахунків по визначенню кінематичних і динамічних параметрів систем виймальників пляшок з врахуванням несталості швидкості руху ланцюга підвіски захоплювальної головки;
- розробити і створити матеріальну базу і провести лабораторну перевірку працездатності пристроїв, які є складовими частинами пастеризатора, а саме пристрою для беззаторної перебудови багатопотокової системи в однопотокову, пристрою для формування детермінованих масивів виробів, гідравлічної системи, необхідної для проектування пастеризатора;
- реалізувати теоретичні розробки в конструкціях машин або їх вузлів і виконати перевірку нових рішень у виробничих умовах.

Наукова новизна. Завдяки проведенню теоретичним і експериментальним дослідженням:

- розроблена методика визначення динамічних, кінематичних і геометричних параметрів складових процесу формування з високою точністю позиціонування детермінованих масивів виробів циліндричної форми;
- запропонована методика розрахунку бічної напрямної на міцність для пристроїв розформування масивів виробів з мінімізацією моментів згину, що діють на напрямні;
- обґрунтована методологія вибору кінематичних і динамічних параметрів пристроїв для виймання пляшок з транспортної тари, яка дозволяє при заданій продуктивності оптимізувати систему по такому показнику, як швидкість входження в контакт виробів з приймальною площиною стола-розформувача;
- отримані експериментальні дані часових параметрів процесів формування дворядного масиву виробів і перебудови багатопотокової системи в однопотокову.

Об'єкт досліджень. В якості об'єктів досліджень обрані масиви виробів циліндричної форми; операції формування, розформування і перевантаження масивів виробів; процеси, які відбуваються під час виконання вказаних операцій.

Методологія досліджень. Теоретичні дослідження виконувались на основі положень динаміки механізмів і машин, опору матеріалів, теорії диференційних рівнянь з використанням сучасної обчислювальної техніки.

Експериментальні дослідження проводились на спроектованій і виготовленій лабораторній установці з використанням методів планування, проведення і обробки експерименту, математичної статистики з використанням відповідних вимірювальних пристроїв.

Практична цінність і реалізація роботи. На основі отриманих теоретичних і розрахункових моделей створена можливість для оптимізації обладнання транспортно-технологічних систем, розроблена конструкторська документація на пастеризатор пива тунельного типу продуктивністю 6500 пляшок за годину при виконанні Держконтракту № 1/81-95. За цією конструкторською документацією проведена реконструкція пастеризатора на АТ "Пивзавод на Подолі". Очікуваний річний економічний ефект від впровадження складає 18000 гривень.

Впроваджено пастеризатор на базі пляшкомильної машини на пивзаводах в містах: Ніжин, Лисичанськ, Славута, Хмельницький.

Створено і впроваджено пристрій для розформування пакет-піддонів із склотарою на Рутченківському пивзаводі. Річний економічний ефект від встановлення пристрою складає 8000 грн.

З використанням накопиченого досвіду по динаміці перехідних процесів і усталених режимів створені пристрої для транспортування пивної дробини з одночасним відокремленням рідкої фракції (АТ "Пивзавод на Подолі"), піднімання вантажів ("Пивзавод на Подолі"), ростковідбійна машина, яка поставлена на серійне виробництво (ТУУ 02070938.001-97).

Апробація роботи. Дисертаційна робота викладена і схвалена на засіданні кафедри "Технічна механіка і пакувальна техніка" Українського державного університету харчових технологій.

Основні положення роботи викладені і обговорені на міжнародній науково-технічній конференції "Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробні галузі АПК" (м. Київ, 1993 р.), всеукраїнській науково-технічній конференції "Розробка та впровадження прогресивних технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість" (м. Київ, 1995 р.), щорічних студентських наукових конференціях КТІХП-УДУХТ (м. Київ, 1992-1997 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць.

Структура і об'єм роботи. Основний зміст дисертації викладений на 117 сторінках машинописного тексту, який складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків та рекомендацій. Робота містить 47 рисунків і 11 таблиць. Наводиться список використаної літератури, що містить 109 найменувань. В додатках наведені документи, що підтверджують впровадження у виробництво результатів наукових досліджень.

Особистий внесок автора полягає в аналізі існуючого обладнання для роботи з масивами склотари і методів розрахунків, постановці завдань для досліджень, складанні і аналізі аналітичних моделей, постановці і проведенні експериментів, обробці отриманих результатів, формулюванні висновків і пропозицій.

На стадії впровадження результатів розробок у виробництво дисертант приймав безпосередню участь у розробці ТЗ, ТУ, конструкторської документації, авторському нагляді за виготовленням і промислових випробовуваннях дослідно-промислових зразків обладнання.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи. Відмічено специфічні особливості при розробці і роботі обладнання для виконання операцій з масивами склотари в лініях

фасування. Відмічена необхідність розробки і вдосконалення методів розрахунків названого обладнання.

В першому розділі зроблено літературний огляд, який стосується теми дисерацияної роботи. Відмічено, що розвиток і вдосконалення комплексу обладнання для фасування і пакування рідких харчових продуктів базується на підвищенні продуктивності при виконанні всіх інших показників технологічних процесів. При цьому просте збільшення кінематичних параметрів для нарощування пропускної спроможності не може привести до успіхів в силу складностей протікання перехідних процесів, обмеження навантажень взаємодії робочих органів з виробами. Тому зроблені наступні висновки:

- подальше збільшення виробництва і його ефективності повинно базуватися на використанні в організації перевезень збільшених вантажних одиниць;
- в умовах інтенсифікації виробничих процесів важливу роль відіграє розробка нових видів пристроїв для формування і розформування масивів вантажів із заданою орієнтацією і позиціонуванням, які входять до складу пристроїв для вкладання і виймання масивів виробів;
- суттєві резерви підвищення пропускної спроможності ТТС приховані у створенні пристроїв беззаторної перебудови багатотокових систем в однопотокові і навпаки. Створення теоретичної бази опису процесів, пов'язаних із затороутворенням, і вдосконалення на цій основі конструктивних рішень, дозволяє суттєво покращити роботу столів-накопичувачів, пристроїв для вкладання і виймання вантажів, формувачів і розформувачів, пастеризаторів, перевантажувачів і інших пристроїв.

Вирішення поставлених питань може здійснюватись на базі вдосконалення вказаного обладнання, при умові вивчення процесів, що відбуваються під час роботи останнього. В сучасних дослідженнях знаходять застосування аналітичні і експериментальні методи, які є складовою частиною динаміки машин. Цим питанням присвячені роботи С.М. Кожевнікова, Ф.К. Іванченко, М.С. Комарова, Я.Г. Пановко і інших. Питання, що пов'язані з роботою транспортно-технологічних систем ліній фасування вив-

чали такі автори, як А.І. Соколенко, О.П. Кривопляс, Ю.В. Бурляй, О.М. Гавва, Л.О. Сухий, В.П. Яресько та ін.

Проте з розвитком техніки для фасування залишається багато невирішених питань, в зв'язку з особливістю технологічних операцій, які відбуваються в елементах транспортно-технологічних систем. Таким чином, зроблено висновок про необхідність подальшого розвитку теоретичних основ моделювання перехідних процесів, що мають місце в обладнанні для роботи ліній фасування. Враховуючи це, в роботі сформульовані завдання розробок і досліджень.

Другий розділ присвячений дослідженню робочих процесів завантаження пастеризатора. Вирішується задача розробки поглибленої теоритичної бази складових елементів процесу формування масивів виробів з детермінованою розкладкою, з допомогою якої одержується задана точність позиціонування, розглядаються взаємозв'язки між геометричними, кінематичними і динамічними параметрами, вивчається процес вибігу тягового органу при гальмуванні і параметри керування ним, і обґрунтовується видача вихідних даних на проектування конструкцій формуючих пристроїв.

Визначені способи формування масивів виробів у формі циліндра, а також представлена методика розрахунку оптимального способу розташування їх при максимальному завантаженні транспортної системи, виконана з допомогою положень лінійного цілочисельного програмування. Представлена методика дозволяє визначити ефективність завантаження обладнання, де використовується детермінований спосіб розташування виробів, такого як пастеризатори, столи-накопичувачі, столи для термічної обробки при виробництві склотари і ін. Досягається можливість визначення, яке розкладання рядне або шахове найбільш ефективне при розташуванні певної кількості циліндричних виробів на площі прямокутника.

З точки зору забезпечення найбільшої кількості пляшок в масиві і точності позиціонування їх, перспективним є використання формуючих пристроїв, в яких набір масива виконується із попередньо сформованих рядів із заданою розкладкою виробів.

Збільшення пропускної спроможності системи з попереднім формуванням рядів залежить від кількості останніх. Доцільним є одержання двох рядів на формуючому конвеєрі з одного першопочаткового ряду, на якому перебудова пляшок виконується за рахунок взаємодії з косою напрямною першого виробу і між собою наступних виробів. Опис робочих процесів, який характеризує динаміку і кінематику взаємодії виробів з рухомою опорною площиною, косою напрямною і один з одним, може бути виконано на поетапному наведенні їх складових з використанням класичної теорії косоного пружного удару.

На першому етапі визначені початкові кінематичні параметри переміщення виробів після відскоку і в результаті знайдені необхідні часові межі взаємодії виробів, при яких задача формування двох рядів буде визначатись з високою надійністю.

На другому етапі рівняння руху вантажу записано у вигляді системи диференціальних рівнянь

$$\ddot{x} = fg \cos \left( \arcsin \left( \frac{V_1}{V_0} \cos(\alpha - \arctg \frac{\dot{x}}{\dot{y}}) \right) - \arctg \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \right), \quad (1)$$

$$\ddot{y} = fg \sin \left( \arcsin \left( \frac{V_1}{V_0} \cos(\alpha - \arctg \frac{\dot{x}}{\dot{y}}) \right) - \arctg \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \right). \quad (2)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя в парі "вироб-опорна площина";

$g$  - прискорення вільного падіння;

$V_1$  - швидкість виробу;

$V_0$  - геометрична сума швидкості конвеєра і відносної швидкості виробу;

$\alpha$  - кут входу в контакт виробу і напрямної.

Розв'язання системи здійснюється при початкових умовах

$$l_{(n)}=0; \quad x_{(n)}=0; \quad y_{(n)}=0; \quad \dot{x}_{(n)}=kV_1 \cos \alpha; \quad \dot{y}_{(n)}=V_1 \sin \alpha. \quad (3)$$

де  $k$  - коефіцієнт відновлення.

Сформований на конвеєрі масив виробів являє собою повздовж нестійку систему. В зв'язку з цим, під час вибігу при зу-

пинці ведучої зірочки може мати місце порушення позиціювання виробів в масиві. Тому було вивчено процес вибігу тягового органу, визначено час процесу і параметри керування ним.

Розрахункова модель випадку представлена на рис. 1.

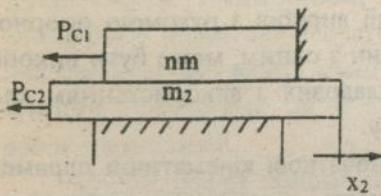


Рис. 1. Розрахункова модель по визначенню вибігу елемента, що несе вантаж.

$m_n$  - загальна маса вантажів;  
 $m_2$  - приведена маса ланцюга і рухомих елементів привода конвеєра;  
 $P_{C1}$  - опір в парі "вироби-елементи ланцюга";  
 $P_{C2}$  - опір в парі "ланцюг-каркас".

Вираз руху маси  $m_2$  в режимі вибігу приводиться до вигляду

$$m_2 \ddot{x}_2 = -f m n g - f_0 m n g - f_0 m_2 g, \quad (4)$$

де  $m_n$  - маса ланцюга;

$f$  і  $f_0$  - відповідні коефіцієнти тертя.

Початкові умови для вирішення рівняння

$$t_{(n)}=0; \quad x_{2(n)}=0; \quad \dot{x}_{2(n)}=V_{\max}, \quad (5)$$

де  $V_{\max}$  - максимальне значення швидкості ланцюга, пов'язане з нерівномірністю руху ведених елементів ланцюгових передач.

Отримуємо час протікання вибігу

$$t_k = \frac{m_2 V_{\max}}{n m g (f + f_0) + f_0 m_2 g}, \quad (6)$$

а абсолютна величина вибігу дорівнює

$$x_{2(k)} = V_{\max} t_k - \frac{n m g (f + f_0)}{2 m_2} t_k^2 - \frac{f_0 m_2 g}{2 m_2} t_k^2. \quad (7)$$

Таким чином можливість порушень по позиціюванню виробів з попередньо сформованих рядів може бути виключена за рахунок обмеження вибігу елементів, що несуть вантаж після відключення приводу формуючого пристрою. Керуючими параметрами в такому обмеженні є коефіцієнти в парах "вироб-елементи, що несуть вантаж-каркас". При необхідності рекомен-

дується до використання встановлення гальмівного пристрою на ведучий вал формуючого конвеєра або на його ведений вал. В останньому випадку з метою обмеження динамічних навантажень процесу вибігу можлива установка веденого валу в пружних опорах.

Третій розділ присвячений дослідженню статичної і динамічної поведінки накопичувачів, столів-розформувачів склотари і склотарної продукції.

Більшість столів-розформувачів і накопичувачів, що використовуються в лініях фасування рідких харчових продуктів виконані, як багатоланцюгові конвеєри. Для перебудови багатопотокової системи в однопотокову на конвеєр встановлюють напрямні, розташовані під певним кутом. Але під час розформовування масивів в горловині накопичувача можуть виникати затори. Для попередження заторів бічні напрямні повинні бути виконані з можливістю зворотно-поступального асинхронного руху.

Розрахункова схема по визначенню силової взаємодії між виробами і бічними напрямними представлена на рис. 2.

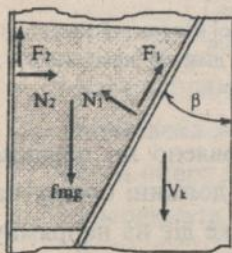


Рис. 2. Розрахункова схема визначення параметрів силової взаємодії

В першому наближенні вважаємо, що результуюча сил тертя між опорною рухомою площиною і масивом виробів прикладена в геометричному центрі площі розташування масиву, а розподілене на бічні напрямні навантаження представлено результуючими  $N_1$  і  $N_2$ . Побудувавши план сил, що діють на масив під час затору, можна знайти аналітичні вирази для визна-

чення  $N_1$  і  $N_2$

$$N_1 = \frac{fmg}{\sin \beta}; \quad N_2 = \frac{fmg}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (8)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя в парі, утвореній масивом виробів і опорною горизонтальною рухомою площиною;

$m$  - маса виробів в масиві.

Як можна бачити з виразів (8) при малих кутах сходження напрямних реакції  $N_1$  і  $N_2$  можуть набагато перевищувати значення сили тертя. В існуючих конструкціях пристроїв кут встановлення бічних напрямних знаходиться в межах  $6...15^\circ$ . Графік розрахунків реакції бічної напрямної  $N_1$  представлено на рис. 3.



Рис. 3. Графік залежності результуючої реакції бічної напрямної від кута  $\beta$  при габаритній площі накопичувача  $1\text{ м} \times 0,8\text{ м}$ , діаметрі пляшок  $0,071\text{ м}$  і коефіцієнті тертя  $0,2$ .

Враховуючи одержані результати, встановлено по першому наближенню закон розподілу навантажень по довжині бічних напрямних і те, що розподілене навантаження, яке діє на напрямну, матиме лінійний закон.

Зроблено розрахунок бічної напрямної на міцність. При цьому вирішена оптимізаційна задача, яка дозволяє зменшити моменти згину, що діють на напрямні, в  $7...9$  разів за рахунок встановлення опор на напрямних на певній відстані.

Як було відмічено раніше, для попередження заторів в пристроях для розформування масивів, напрямні повинні виконувати асинхронний зворотньо-поступальний рух. Одержати останній можливо, наприклад, при використанні здвоєного ва-жильного синусного механізму (рис. 4).

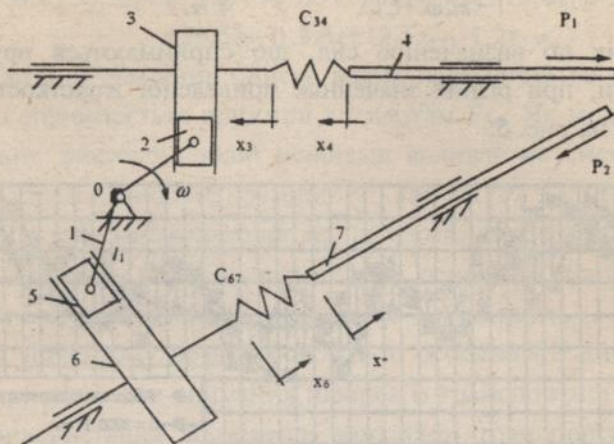


Рис. 4. Кінематична схема приводу бічних напрямних

З урахуванням кінцевої жорсткості можна привести рівняння руху однієї з напрямних до вигляду

$$\ddot{x}_4 + \frac{C_{34}}{m_4} x_4 = \frac{C_{34}}{m_4} l_1 (1 - \cos \alpha t) - \frac{P_1}{m_4}, \quad (9)$$

де  $m_4$  - маса напрямної;

$C_{34}$  - приведена жорсткість системи;

$P_1$  - сила опору переміщенню;

$x_4$  - координати переміщення ланки;

$l_1$  - довжина кривошипа;

$\omega$  - кутова швидкість кривошипа.

При початкових умовах

$$l_{(n)} = 0; \quad x_{4(n)} = -P_1/C_{34}; \quad \dot{x}_{4(n)} = 0, \quad (10)$$

переміщення напрямної записується у вигляді

$$x_4 = \frac{l_1 C_{34}}{C_{34} - m_4 \omega^2} \cos \sqrt{\frac{C_{34}}{m_4}} t + l_1 \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{C_{34}}{m_4}} t \right) - \frac{l_1 C_{34} \cos \alpha t}{C_{34} - m_4 \omega^2} - \frac{P_1}{C_{34}}. \quad (11)$$

Сили, що сприймаються пружними елементами дорівнюють

$$P_{34} = \frac{l_1 m_4 \omega^2}{1 - m_4 \omega^2 / C_{34}} \left( \cos \alpha x - \cos \sqrt{\frac{C_{34}}{m_4}} x \right) + P_1. \quad (12)$$

Графік по визначенню сил, що сприймаються пружними елементами, при різних значеннях приведеної жорсткості представлений на рис. 5.

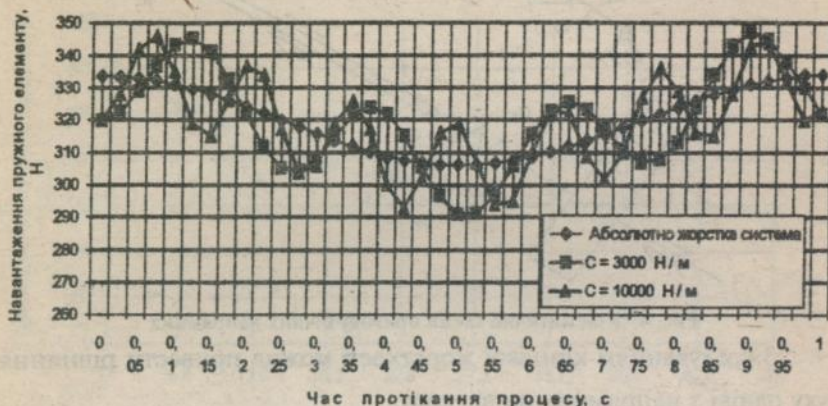


Рис. 5. Результати розрахунків по визначенню динамічних параметрів

Рівняння (12) описує динаміку процесу. Проте в зв'язку із складною функціональною залежністю параметрів, які входять в рівняння, оцінка їх впливу на процес може бути зроблена з використанням методів планування і проведення чисельного експерименту.

Як параметр оптимізації розглянуто навантаження, що сприймається пружним елементом. Фактори, що впливають на процес, а також діапазон їх варіювання зведено в табл. 1.

Таблиця 1.

Значення факторів і діапазон варіювання

Фактори	Одиниця виміру	Код	Нижній рівень	Верхній рівень
$m_4$	кг	$z_1$	2	8
$l_1$	м	$z_2$	0,05	0,15
$\omega$	$c^{-1}$	$z_3$	3,14	9,42
$P_1$	Н	$z_4$	100	700
$C_{34}$	Н/м	$z_5$	10000	150000

$$y=450,8+30,9z_1+25,4z_2+40,9z_3+300z_4-1,4z_5+15,5z_{12}+25z_{13}-1,2z_{15}+20,5z_{23}-1,3z_{35}+12,5z_{123}-1,2z_{135}. \quad (13)$$

Останнє рівняння описує вплив параметрів на навантаження, що сприймається пружним елементом  $R_{34}$ . Як можна бачити з рівняння, фактором, який найбільш впливає на систему, є сила опору переміщенню напрямної  $P_1$ . Так як  $P_1$  — це добуток дії розподіленого навантаження на напрямні і коефіцієнту тертя в парі “вироби — бічна напрямна”, то основним керуючим параметром є коефіцієнт тертя, який треба зменшувати.

В четвертому розділі розглянуто особливості динаміки приводів пристроїв для виймання пляшок із транспортної тари.

Використання збільшеної вантажної транспортної одиниці на базі застосування пакет-піддонів або тари-обладнання в транспортно-технологічних системах підприємств та на всіх етапах руху товарів є основним направленням технічного переозброєння переробних підприємств агропромислового комплексу.

Складовою частиною транспортно-технологічних систем підприємства в таких випадках виступають розформувачі пакет-піддонів, виймальники пляшок із тари-обладнання. До їх складу входять вузли позиціонування збільшених вантажних одиниць, захоплювальна головка, механізм переміщення захоплювальної головки по вертикалі і горизонталі та вузли розформування масивів пляшок і створення з них однорядних або кількарядних потоків.

Вирішуючи задачу досягнення високої пропускної спроможності, звичайно прагнуть до суміщення операції розформування з іншими операціями. Знаходження резервів швидкодії лежить в підвищенні кінематичних параметрів, які ведуть до збільшення показників силової взаємодії. Розв'язанню задач суміщення заданої швидкодії при обмеженнях динамічних параметрів і оптимізації динаміки приводів розформувачів пакет-піддонів або виймальників з тари-обладнання присвячений цей розділ досліджень.

Підвішування захоплювальної головки в пристрої для виймання пляшок з транспортної тари може досягатись за рахунок тросу або ланцюга.

В більшості випадків в досліджуваних пристроях привід захоплювальної головки здійснюється за допомогою пружної підвіски. Розрахункова модель пристрою може бути приведена, наприклад, до двомасової моделі (рис. 6). Припустимо, що закон

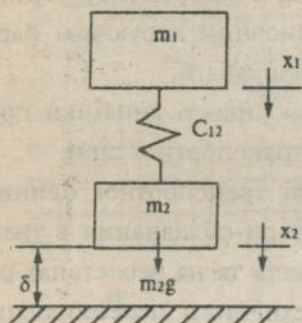


Рис. 6. Еквівалентна схема механізму

руху маси  $m_1$  визначений, пружний елемент з жорсткістю  $C_{12}$  на початок руху маси  $m_2$  навантажений до її ваги  $m_2g$ . В процесі вкладання повинен бути перекритий зазор  $\delta$ .

Процес пуску системи буде перехідним, при цьому навантаження на елементі 12 буде змінюватись, виникнуть коливальні процеси, які суттєво впливають на значення кінематичних параметрів. При проектуванні таких систем бажано при

виборі їх параметрів керуватися умовою мінімізації швидкості  $x_2$  веденої маси на момент вибору зазору  $\delta$ .

Рівняння руху маси  $m_2$  приводиться до вигляду

$$x_2'' + \frac{C_{12}}{m_2} x_2 = g + \frac{C_{12}}{m_2} V_1 t. \quad (14)$$

де  $V_1$  - швидкість маси  $m_1$ .

При початкових умовах

$$x_2(0) = 0; \quad x_1(0) = 0; \quad x_2(0) = m_2g/C_{12}; \quad \dot{x}_2(0) = 0, \quad (15)$$

вирішення рівняння (14) записується у вигляді

$$x_2 = V_1 t + \frac{m_2 g}{C_{12}} - V_1 \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}} \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t. \quad (16)$$

Задаючись умовою  $x_2 = x_{2\min}$  при  $x_2 = \delta$ , будемо шукати при

яких значеннях  $t$ , швидкість  $x_2$  буде прагнути до мінімуму. Знайдено, що мінімальний час дорівнює

$$t_{\min} = \frac{2\pi m_2}{C_{12}}. \quad (17)$$

Тоді величина зазору, яка оптимізує систему, може бути знайдена за виразом

$$\delta = \frac{2\pi V_1 m_2}{C_{12}} - V_1 \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}} \sin\left(2\pi \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}}\right). \quad (18)$$

Результати розрахунків по визначенню зазорів  $\delta$  при різних значеннях  $C_{12}$  представлені на рис. 7.

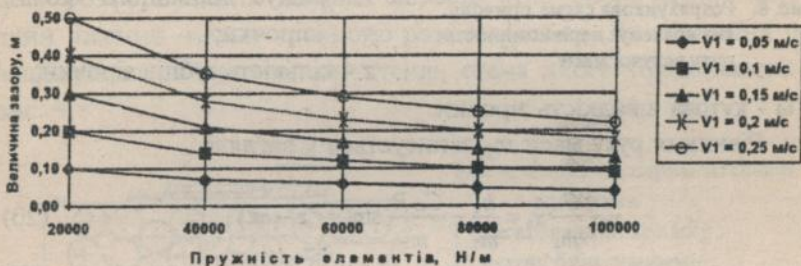


Рис. 7. Графік визначення зазора  $\delta$

Якщо зазор  $\delta$  витриманий в конструкції машини, то встановлена мета буде досягнута найкращим чином. Навіть у випадку високих демпферних властивостей системи знаходження величини  $\delta$  за запропованою методикою принесе покращення її характеристик, бо частота власних коливань при цьому не змінюється.

Значні резерви в підвищенні пропускної спроможності виймальників з транспортної тари приховані в організації процесу, коли режим розжиму захоплювальних елементів системи здійснюється до контакту вантажів з приймальною площиною, і з наступної силової взаємодії на виробі виключається маса захоплювальної головки. Розроблені аналітичні моделі дозволяють встановлювати всі параметри наступних процесів з урахуванням маси приймальної опорної площини на базі використання класичної теорії пружного удару.

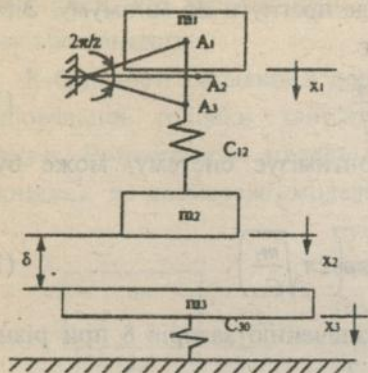


Рис. 8. Розрахункова схема привода, яка враховує нерівномірність руху ведучої маси

$\omega$  - кутова швидкість зірочки.

Рівняння руху маси  $m_2$  записується у вигляді

$$x_2'' + \frac{C_{12}}{m_2} x_2 = \frac{k_0}{m_2} - \frac{C_{12} R}{m_2} \sin(\pi/z - \omega t), \quad (20)$$

де

$$k_0 = m_2 g + C_{12} R \sin(\pi/z). \quad (21)$$

При початкових умовах

$$t_{(n)} = 0; \quad x_{1(n)} = 0; \quad \dot{x}_{1(n)} = \omega R \cos(\pi/z); \quad x_{2(n)} = m_2 g / C_{12}; \quad \dot{x}_{2(n)} = 0, \quad (22)$$

розв'язання рівняння (20) приводиться до вигляду

$$x_2 = A \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t + B \cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t - \frac{C_{12} R}{C_{12} - m_2 \omega^2} \sin(\pi/z - \omega t) + \frac{k_0}{C_{12}}, \quad (23)$$

$$\text{де } A = -\frac{C_{12} R \omega \cos(\pi/z)}{C_{12} - m_2 \omega^2} \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}}, \quad B = \frac{m_2 g}{C_{12}} + \frac{C_{12} R}{C_{12} - m_2 \omega^2} \sin(\pi/z) - \frac{k_0}{C_{12}}. \quad (24)$$

Розрахунки з врахуванням нерівномірності руху ланцюга показали, що вплив останньої збільшується із зменшенням жорсткості і значно зростає різниця навантажень (в порівнянні з тросовою підвіскою) із збільшенням кутової швидкості зірочки.

П'ятий розділ присвячений експериментальним дослідженням. Теоретичний опис процесів, що розглянуті вище, базувався на використанні деяких загальноприйнятих і окремих припущен-

Підвіска і привід захоплювальної головки виймальників і вкладальників виконується також з використанням ланцюгів. В цьому випадку схема приводиться до вигляду (рис. 8.). Закон руху ведучої маси записуємо у вигляді

$$\dot{x}_1 = \omega R \cos(\pi/z - \omega t), \quad (19)$$

де  $R$  - радіус діляльного кола зірочки;

$z$  - кількість зубців зірочки;

нях теоретичної механіки і опору матеріалів. В зв'язку з цим виникла необхідність проведення експериментальних досліджень, співставлення теоретичних і експериментальних параметрів та придатності розглянутих аналітичних моделей і теоретичних методів розрахунку. Крім того, окремі із складових робочих процесів, що виникають під час роботи обладнання, моделювати важко через значну кількість практично неконтрольованих факторів. Тому глава присвячена дослідженню процесів розформування масивів пляшок, формування дворядного масиву виробів, та гідравлічним дослідженням елементів душіювання пастеризатора.

Метою проведення експериментального дослідження процесу розформування масивів виробів було визначення часу, за який певний масив повністю розформується. Дослідження проводились на лабораторному стенді, схема якого представлена на рис. 9.

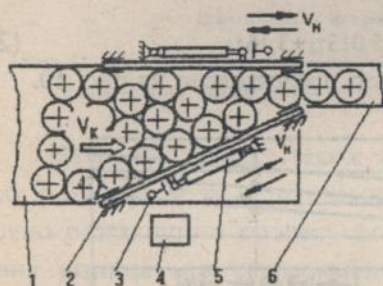


Рис. 9. Схема експериментальної установки

- 1 - багаторядний конвеєр;
- 2 - рухомі бічні напрямні;
- 3 - регулятори амплітуди ходу напрямних;
- 4 - регулятор частоти коливань;
- 5 - пневмоприводи напрямних;
- 6 - відповідний конвеєр.

Під час попередніх спостережень було виявлено, що на процес розформування впливають наступні фактори:

$V_1$  - швидкість конвеєра-розформувача масивів виробів;

$f$  - коефіцієнт тертя в парі "вироби-бокові напрямні";

$\alpha$  - кут сходження бічних напрямних;

$\omega$  - частота зворотно-поступального руху бічних напрямних;

$n$  - кількість виробів в масиві.

Області визначення кожного з названих факторів представлено в табл. 2.

Таблиця 2.

## Значення факторів і діапазон варіювання

Фактори	Одиниця виміру	Код	Нижній рівень	Верхній рівень
$V_1$	м/с	$z_1$	0,0938	0,1154
$f$		$z_2$	0,2	0,3
$\alpha$	град	$z_3$	13,7	24,7
$\omega$	с <sup>-1</sup>	$z_4$	0,4	0,8
$n$	шт.	$z_5$	50	70

Було складено матрицю планування і проведено дробовий факторний експеримент у вигляді 1/4 репліки повного факторного експерименту  $2^{5-2}$ .

Результати досліджень, що отримані за допомогою методів математичної статистики, дозволили одержати залежність часу розформування масиву виробів від параметрів, які впливають на процес. Рівняння регресії для функції відгуку має наступний вигляд

$$y = 28,3 - 3,088z_1 + 5,013z_3 + 3,16z_5. \quad (25)$$

Графічне зображення цієї залежності представлено на рис. 10.

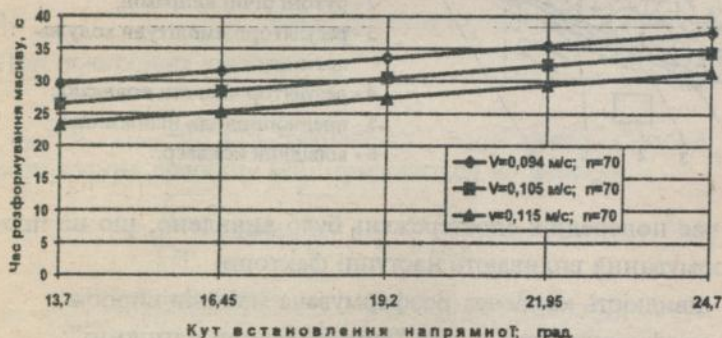


Рис. 10. Графік залежності часу розформування масиву виробів від кута встановлення напрямної

Метою проведення експерименту по дослідженню процесу формування дворядного масиву було визначення часу протікання процесу для подальшого порівняння теоретичних і експериментальних параметрів та придатності розглянутих аналітичних моделей і теоретичних методів розрахунку наведених у 2 розділі.

Отриману залежність часу розформування від швидкості конвеєра представлено поліномом другого ступеню у вигляді

$$t = 3,997 - 13,665V + 14,732V^2. \quad (26)$$

Графік залежності часу формування дворядного масиву від швидкості формуючого конвеєра представлений на рис. 11.

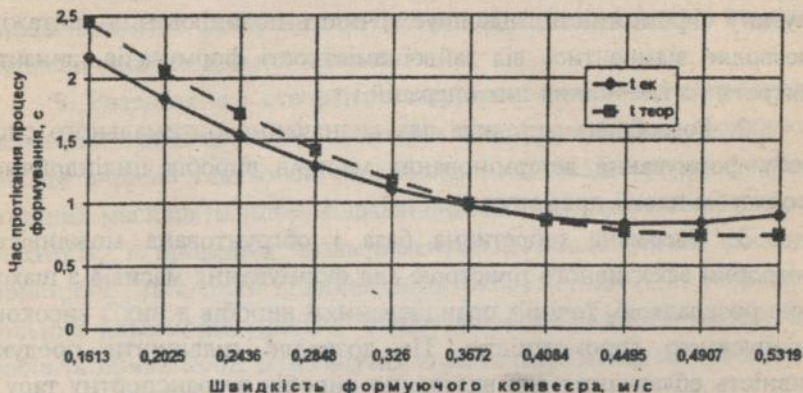


Рис. 11. Графік залежності часу формування масиву виробів від швидкості формуючого конвеєра по теоретичним і експериментальним даним

На цьому графіку також представлені результати теоретичних розрахунків за методиками, наведеними в другій главі, стосовно розглянутого процесу формування масивів виробів. Отримана різниця між експериментальними даними і результатами розрахунків не перевищує  $\Delta = \pm 16\%$ , що для даного класу задач можна вважати прийнятним.

Під час проектування пастеризатора ЦАИГ-ПСТ6 виникла необхідність визначення впливу гідравлічних характеристик форсунок для душіювання пляшок на пропускну спроможність устаткування. Для цього були проведені експерименти під час яких визначено характер наповнення факелу форсунок; кут конусу, що утворюється під час роботи форсунки; залежність пропускну спроможності форсунки від тиску в магістральному водоводі. Результати досліджень гідравлічних характеристик системи душіювання дозволили здійснити вибір типу форсунки і призначити тиск в системі душіювання пастеризатора.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Виконання операцій формування і розформування масивів з шаховою і рядною розкладками виробів в них повинно базуватись на принципах детермінованості в організації всіх їх складових частин. Такий підхід значно збільшує надійність роботи, пропускну спроможність, підвищує точність позиціонування вантажів, дозволяє відмовитись від зайвої вмісткості формувачів, знизити витрати на виконання цих операцій і т.і.

2. Розроблена методика для визначення оптимального способу формування детермінованих масивів виробів циліндричної форми на площі прямокутника.

3. Одержана теоретична база і обґрунтована можливість розробки ефективного пристрою для формування масивів з шаховою розкладкою, точним позиціонуванням виробів в них з високою пропускну спроможністю. Це дозволяє підвищити продуктивність обладнання для вкладання виробів в транспортну тару і пастеризаторів. (Результати використані при розробці пастеризатора за Держконтрактом 1/81-95).

4. Досліджено динаміку привода механізма, який застосовується в пристроях для беззаторного розформування масивів. Зроблено розрахунки бічної напрямної на міцність, вирішена оптимізаційна задача по мінімізації моментів згину, що діють на бічні напрні.

5. На основі поетапного опису робочих процесів в пристроях для виймання виробів із збільшеної транспортної одиниці і пристроях для вкладання готової продукції в транспортну тару в одному рівні розроблені методики розрахунків і визначення параметрів системи, які оптимізують останні по силовій взаємодії на вантажі.

6. На основі використання спеціального пружного елемента в системі підвіски захоплювальної головки знайдено конструктивне рішення яке дозволяє реалізувати встановлення вантажів на приймальну площину в режимі, близькому до безударного.

7. Поглиблена теоретична база в моделюванні процесів взаємодії вантажів з приймальною площиною на основі врахуван-

ня явищ пружного удару, коли маса приймальної площини не є малою, а також в опису процесів взаємодії, коли спрацьовування захоплювачів на розжим здійснюється до контакту виробів з приймальною площиною.

8. Розроблена методика розрахунків по визначенню кінематичних і динамічних параметрів систем виймальників і вкладальників пляшок з урахуванням несталості швидкості руху ланцюга підвіски захоплювальної головки.

9. Розроблена і створена матеріальна база для лабораторної перевірки працездатності пристроїв для формування дворядного масиву виробів з шаховою розкладкою, для беззаторного розформування масивів пляшок, гідравлічної системи душіювання пастеризатора, і проведені експериментальні дослідження вказаних пристроїв. Зроблено співставлення теоретичних і експериментальних параметрів процесу формування дворядного масиву виробів та придатності розглянутих аналітичних моделей і теоретичних методів розрахунку.

10. Для вдосконалення транспорто-технологічних систем харчових виробництв розроблено конструкторську документацію на пастеризатор пива тунельного типу продуктивністю 6500 пляшок за годину (Держконтракт N 1/81-95), а також пастеризатор пива на базі пляшкоминої машини продуктивністю 2800 пляшок за годину.

11. Результати досліджень по безударному вкладанню масивів пляшок і розформуванню масивів використані при створенні пристрою для розформування пакет-піддонів із склотарою (Рішення про видачу патента України на "Пристрій для виймання пляшок із тари", заявка № 97031506). Впровадження пристрою здійснено на Рутченківському пивзаводі.

12. З використанням накопиченого досвіду по динаміці перехідних процесів і усталених режимів за участю автора створені: пристрій для транспортування пивної дробини з одночасним відокремленням рідкої фракції, пристрій для піднімання вантажів, ростковідбивна машина, яка поставлена на серійне виробництво (ТУУ 02070938.001-97).

## СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Соколенко А.І., Васильковський К.В., Шевченко А.Е. Устройства беззаторного расформирования массивов стеклотары. - К.: Укр. гос. ун-т пищ. технологий, 1997. - 20 с.
2. Соколенко А.І., Васильківський К.В. Визначення параметрів розміщення виробів у транспортній тарі // Харчова промисловість. - 1995. - № 41. - С. 67-71.
3. Соколенко А.І., Васильківський К.В. Теплова обробка продуктів // Харчова і переробна промисловість. - 1997.- № 5. С. 26-27.
4. Рішення про видачу патенту України, заявка №97031506, МПК 6 В65В 5/10, В65В 21/06. Пристрій для виймання пляшок із тари /Соколенко А.І., Костюк В.С., Шевченко О.Ю., Васильківський К.В. Дата прийняття рішення 18.06.1997 р.
5. Васильківський К.В., Соколенко А.І. Дослідження динаміки вибігу робочого органу формуючого конвеєра пастеризатора. - Київ, 1997. - 10 с. - Укр. - Деп. в УкрІНТЕІ 04.03.97, N221-Уі 97.
6. Соколенко А.І., Костін В.Б., Варфоломєєв А.Й., Васильківський К.В. Перспективи розвитку технологій теплової обробки і пакування харчових продуктів. - Київ, 1997. - 10 с. - Укр. - Деп. в УкрІНТЕІ 04.03.97, N220-Уі 97.
7. Соколенко А.І., Костюк В.С., Васильківський К.В. і ін. Реконструкція транспортно-технологічної схеми склозаводу //Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. "Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробні галузі АПК". - Київ: КТІХП. - 1993. - С. 476.
8. Соколенко А.І., Васильківський К.В. Оптимізація розмірів споживчої тари //Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. "Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробні галузі АПК". - Київ: КТІХП. - 1993. - С. 485.
9. Соколенко А.І., Костін В.Б., Васильківський К.В. і ін. Технології і обладнання по забезпеченню довгострокового зберігання харчової продукції //Тези доп. всеукр. наук.-техн.

конф. "Розробка та впровадження прогресивних технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість". - Київ: УДУХТ. - 1995. - С. 387.

10. *Васильківський К.В., Соколенко А.І.* Розвиток методів розрахунку процесів і обладнання транспортно-технологічних систем //Тези доп. всеукр. наук.-техн. конф. "Розробка та впровадження прогресивних технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість". - Київ: УДУХТ. - 1995. - С. 388.

11. *Соколенко А.І., Васильківський К.В., Костюк В.С., Шевченко О.Ю.* Ростковідбийна машина //Тези доп. всеукр. наук.-техн. конф. "Розробка та впровадження прогресивних технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість". - Київ: УДУХТ. - 1995. - С. 389.

12. *Соколенко А.І., Сичов-Яворський О.Т., Шевченко О.Ю., Васильківський К.В.* Нова солодоподрібнювальна машина //Тези доп. всеукр. наук.-техн. конф. "Розробка та впровадження прогресивних технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість". - Київ: УДУХТ. - 1995. - С. 390.

#### АНОТАЦІЯ

Васильківський К.В. Моделювання і оптимізація робочих процесів і вдосконалення обладнання транспортно-технологічних систем у харчовій промисловості. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.09. — машини харчової, мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. - Український державний університет харчових технологій, Київ, 1997.

Дисертація містить теоретичні дослідження в області створення обладнання транспортно-технологічних систем ліній фасування харчових виробництв і результати проведення експериментальних досліджень. Розроблені методики визначення динамічних, кінематичних і геометричних параметрів процесів формування детермінованих масивів виробів циліндричної форми і процесів витягання виробів із тари. Запропонована методика розрахунку і конструювання механізму рухомих бічних напрямних для розформування масивів виробів.

Здійснено промислове втілення технічних рішень на основі технічних досліджень на підприємствах пивоварної промисловості.

Ключові слова: транспортно-технологічна система, динаміка, масив, формування, розформування.

## АННОТАЦИЯ

Васильковский К.В. Моделирование и оптимизация рабочих процессов и усовершенствование оборудования транспортно-технологических систем в пищевой промышленности. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.09: — машины пищевой, микробиологической и фармацевтической промышленности. - Украинский государственный университет пищевых технологий, Киев, 1997.

Диссертация содержит теоретические исследования в области создания оборудования транспортно-технологических систем линий розлива пищевых производств и результаты проведения экспериментальных исследований. Разработаны методики определения динамических, кинематических и геометрических параметров процессов формирования детерминированных массивов изделий цилиндрической формы и процессов извлечения изделий из тары. Предложена методика расчета и конструирования механизма подвижных боковых направляющих устройства для расформирования массивов изделий.

Осуществлено промышленное внедрение технических решений на основе теоретических исследований на предприятиях пивоваренной промышленности.

Ключевые слова: транспортно-технологическая система, динамика, массив, формирование, расформирование.

## THE SUMMARY

Vasilkovski K.V. Modelling both optimization of working processes and refinement of an equipment of transport-technological systems in a food processing industry. - Manuscript.

Thesis of a scientific degree of the candidate of engineering sciences on a speciality 05.05.09 — machines of a food, microbiological and pharmaceutical industry. - Ukrainian state university of food process engineerings, Kyiv, 1997.

The dissertation is contain theoretical researches in the field of creation of an equipment of transport-technological systems of bottling lines of food manufactures and outcomes of realization of experimental researches. Techniques of the definition of dynamic, kinematic and geometric parameters of processes of shaping of determined arrays of products of the cylindrical form and processes of extraction of products from transport container are developed. A technique of designing and account of the mechanism of a mobile side directing device for destruction of arrays of products is offered.

Industrial introduction of engineering solutions because of of theoretical researches on firms of an beer industry is realized.

Key words: transport-technological system, dynamic, arrays, shaping, destruction

Підп. до друку 20.11.97. Формат 60×84 1/16. Папір друк. № . Друк  
офсетний. Умовн. друк. арк. . Умовн. фарбо-відб. . Облік-вид. арк.  
. Наклад 100 прим. Зам. № 899.

РВЦ УДУХТ, 252033 Київ-33, вул. Володимирська, 68

431760

AB 39.242