

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ХАЛАЙДЖІ ВЕРОНІКА ВАЛЕРІЇВНА**

УДК 621.798.43

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ  
ГРУПОВОГО ПАКУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

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  
**Гавва Олександр Миколайович**, Національний  
університет харчових технологій, професор кафедри  
технічної механіки і пакувальної техніки

**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, доцент  
**Рябцев Геннадій Леонідович**, Національний  
технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут», доцент кафедри машин та  
апаратів хімічних і нафтохімічних виробництв

Захист відбудеться «\_18\_» квітня\_\_\_\_\_ 2012 року о \_15-00\_ годині на  
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 в Національному університеті  
харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68,  
аудиторія А-311.

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

Автореферат розісланий «\_14\_» березня\_\_\_\_\_ 2012 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

Л.О. Кривопляс-Володіна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** З подальшим розвитком технічного прогресу пакувальна індустрія набуває все більшої ваги в суспільстві та й у житті кожної людини. Особливо це стосується пакування харчових продуктів.

Різноманітність існуючих схем організації пакувального процесу на харчових підприємствах пояснюється різними властивостями продукції, що пакується, а також умовами її зберігання, транспортування та реалізації.

Зазвичай у всіх системах організації пакувального процесу важливе місце посідає потокова переробка вантажів, для якої потрібне механізоване формування групових упаковок. Групова упаковка як вантажна одиниця сприяє уніфікації технічних засобів з переробки таких вантажів, впровадженню новітніх технологій реалізації продукції в сучасних супер- і гіперторговельних центрах. Усе це свідчить про важливість групового пакування в структурі процесу пакувального виробництва. На жаль, параметри машин для групового пакування не становлять систематизованих рядів, їхня продуктивність не завжди пропорційна габаритним розмірам енерго- та металомісткості. А тому існує потреба в розробці такого обладнання для групового пакування, яке не лише забезпечувало б вимоги підприємства з функціональності, продуктивності і якості пакованої продукції, а й давало б можливість мінімізувати виробничі та експлуатаційні витрати.

Недостатнє висвітлення питань, пов'язаних з науковим обґрунтуванням параметрів обладнання для групового пакування стримує його виробництво на високому технічному рівні і призводить до появи недосконалого обладнання та зайвих витрат на його конструювання, виготовлення та експлуатацію.

Тому потреба у пошуку нових оптимальних рішень з метою обґрунтування способів підвищення ефективності обладнання для групового пакування і визначає актуальність даної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась у рамках пріоритетного напрямку наукових робіт НУХТ «Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів в харчових, мікробіологічних, фармацевтичних виробництвах з метою створення високоефективних технологій, обладнання і засобів механізації та автоматизації» (схвалено Вченою Радою НУХТ, протокол № 7 від 25.03.2006 р.), плану науково-дослідної роботи кафедри технічної механіки і пакувальної техніки НУХТ за напрямом «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».

Виконана робота відповідає Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» та пов'язана із Програмою Кабінету Міністрів України 2010 (проект 4 — «Технологічне та технічне оновлення виробництва»).

**Мета і завдання дослідження.** Основною метою є наукове обґрунтування раціональних геометричних, кінематичних, динамічних параметрів функціональних модулів обладнання для групового пакування харчових продуктів. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати тенденції розвитку технологій і обладнання для групового пакування харчових продуктів, визначити шляхи вдосконалення як технологій, так

- і конструкцій такого обладнання, зробити критичний аналіз результатів теоретичних досліджень з теми роботи;
- проаналізувати компоновочні схеми ліній та машин для групового пакування;
  - встановити функціональні залежності між параметрами магістрального і подавальних конвеєрів лінії групового пакування за умови їхньої безвідмовної роботи;
  - визначити раціональні геометричні параметри криволінійних ділянок транспортних систем ліній групового пакування;
  - виконати математичне моделювання операцій формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі лінії групового пакування;
  - використовуючи кібернетичний метод досліджень, визначити фактори керування операцією формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі;
  - оцінити вплив фізико-механічних характеристик споживчих пакувальних одиниць на параметри операції формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі;
  - розробити структурний граф групового пакування харчових продуктів та провести аналіз енергетичних і масових потоків, що проходять через функціональні модулі обладнання для групового пакування;
  - виконати оптимізацію параметрів мережної циклограми та синхронограми машини для групового пакування;
  - визначити раціональні геометричні, кінематичні і динамічні параметри пристрою переорієнтування заповненої транспортної тари під час реалізації закону руху, оптимального за швидкістю;
  - експериментально підтвердити адекватність розроблених математичних моделей реальним процесам;
  - розробити загальні положення методики використання модульної системи проектування машин для групового пакування харчових продуктів.

*Об'єктом досліджень є пакувальні одиниці з харчовими продуктами, групові упаковки, технології та обладнання для групового пакування харчових продуктів.*

*Предметом досліджень є технологічні операції, які виконуються робочими органами характерних функціональних модулів обладнання для групового пакування.*

*Методи досліджень.* Розв'язання поставлених задач здійснювалось із використанням комплексного методу досліджень. Для аналізу параметрів технологічної схеми використано теорію графів і математичного програмування. В аналітичних дослідженнях геометричних, кінематичних та динамічних параметрів операцій групового пакування харчових продуктів використано основні положення: динаміки руху твердого, пружного та в'язкопружного тіла, теорії реології, теорії чисельних методів, теорії диференційних рівнянь, теорії оптимізації, теорії пневмоприводів.

Експериментальні дослідження проведено з використанням теорії планування експерименту та математичної статистики, методології активного багатofакторного експерименту. Експериментальна частина роботи виконана в лабораторіях кафедри «Технічна механіка і пакувальна техніка» НУХТ та ТОВ «Завод пакувального обладнання «Термо Пак» (м. Біла Церква).

Результати аналітичних та експериментальних досліджень оброблено за допомогою математичного редактора MathCAD 14, MS Excel, графічного редактора Компас 3D V10.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Науково обґрунтовано раціональні параметри операцій і робочих органів обладнання для групового пакування харчових продуктів, у тому числі:

- вперше на основі теорії ймовірності встановлено функціональні залежності між параметрами подавальних і магістрального конвеєра лінії групового пакування за умови їхньої безвідмовної роботи;
- обґрунтовано метод вибору раціональних геометричних параметрів криволінійної ділянки транспортної системи лінії групового пакування;
- розроблено математичні моделі операції формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі під час реалізації технології на основі диференціації операцій;
- вперше виконано оцінку впливу фізико-механічних характеристик пакувальних одиниць з харчовою продукцією на параметри операцій формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі;
- встановлені основні фактори керування операцією формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі;
- вперше застосовано топологічний метод для аналізу і синтезу технологічних, структурних та конструктивних схем машин для групового пакування харчових продуктів за умови мінімізації енерговитрат;
- вперше адаптована методика оптимізації мережної циклограми і синхронограми роботи обладнання для групового пакування;
- обґрунтовано вибір раціональних параметрів механізму переорієнтування заповненої пакувальними одиницями транспортної тари за умови реалізації оптимального закону її руху.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Наукові положення обґрунтовуються адекватним математичним описуванням операцій формування структурних елементів групової упаковки, операцій переміщення пакувальної одиниці по ділянках функціональних модулів обладнання для групового пакування. Достовірність результатів дослідження забезпечується коректністю та адекватністю фізичних припущень у постановці завдань, застосуванням комп'ютерних технологій, математичних методів статистичної обробки результатів обчислювальних експериментів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати проведених аналітичних і експериментальних досліджень реалізовані за такими напрямками:

- одержані функціональні залежності між параметрами подавальних і магістрального конвеєрів лінії групового пакування дають можливість визначити раціональні значення геометричних та кінематичних параметрів конвеєрів за умови їхньої безвідмовної роботи;
- розроблена математична модель операції формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі з урахуванням фізико-механічних характеристик пакувальних одиниць з харчовою продукцією дає можливість визначити раціональні значення геометричних, кінематичних і силових параметрів пристроїв перевантаження;

- розроблені структурний, енергетично-потоківий, зв'язковий та сигнальний графі процесу групового пакування харчових продуктів дають можливість у кожному конкретному випадку компонування обладнання підібрати оптимальні технологічну, структурну та конструктивну схеми пакувальної машини за умови мінімальних витрат на виробництво і експлуатацію;
- розроблена та адаптована методика оптимізації мережної циклограми і синхронограми роботи пакувального обладнання дає можливість мінімізувати тривалість кінематичного циклу, підвищити продуктивність машини, визначити шляхи зменшення енерговитрат;
- результати дослідження операції і пристрою переорієнтування заповненої пакувальними одиницями транспортної тари дають можливість визначити раціональну структурну схему, кінематичні і динамічні параметри пристрою, оптимальний закон руху тари за умови збереження цілісності групової упаковки.

Впровадження результатів роботи здійснено на ТОВ «Завод пакувального обладнання «Термо Пак» (м. Біла Церква) та ТОВ «Базіс» (м. Луганськ) шляхом передачі результатів теоретичних досліджень для використання під час проектування та виготовлення автоматичного обладнання для групового пакування харчових продуктів.

**Особистий внесок здобувача** полягає у проведенні аналізу літературних джерел, формулюванні завдань дослідження, розробленні математичних моделей операцій, які виконуються функціональними модулями обладнання для групового пакування під час диференціації та концентрації основних операцій, виконанні аналізу одержаних функціональних залежностей між параметрами модулів обладнання та проведенні експериментальних досліджень з підтвердження адекватності математичних моделей реальним процесам.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали роботи щорічно доповідалися автором на наукових конференціях молодих вчених, аспірантів і студентів НУХТ «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» 2008 – 2010 рр.; науково-практичних конференціях «Новітні технології пакування», 2008 – 2010 рр., м. Київ; науково-практичних конференціях «Пакувальна індустрія. Стан та перспективи», 2009 – 2010 р., м. Алушта, Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи», 2010 р., НУХТ; VII міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів «Техника и технология пищевых производств», 2010 р., м. Могильов.

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи висвітлені у 28 наукових працях, з них: 16 статей у фахових виданнях, 12 тез та матеріалів доповідей.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел із 116 найменувань і 3 додатків. Робота викладена на 167 сторінках машинописного тексту, містить 44 рисунки та 9 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання досліджень, наведено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів дисертації та основні публікації.

У першому розділі наведено аналіз літературних джерел та встановлено основні тенденції вдосконалення групової упаковки. Сьогодні новітнім вимогам відповідає групове пакування в гофрокартонний ящик.

Аналіз досліджень, наведений у наукових працях Кривопляса О.П., Соколенка А.І., Масла М.А., Волчка А.І., Захаревича В.Б., Яреська В.П., Шапрана В.З., Федорова К.М., Савченка В.В. та інших, дає можливість узагальнити: основні технологічні і конструктивні схеми машин та поточкових ліній групового пакування, основні методи дослідження окремих операцій та функціональних модулів. Встановлено, що із зміною вимог до пакувального виробництва, існуючого обсягу досліджень є недостатньо. А тому нагальним є створення науково обґрунтованої методології із проектування ефективних зразків обладнання для групового пакування харчових продуктів. Це і визначило напрям подальших досліджень.

У другому розділі проведено дослідження операцій групового пакування поточкових ліній, які побудовані на основі диференціації операцій процесу пакування. Для цього проведено аналіз компоновальних схем і функціонування поточкових ліній, з якого встановлено, що операціями, котрі лімітують продуктивність і габаритні розміри лінії, є операція перевантаження і транспортування пакувальних одиниць та операція формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі.

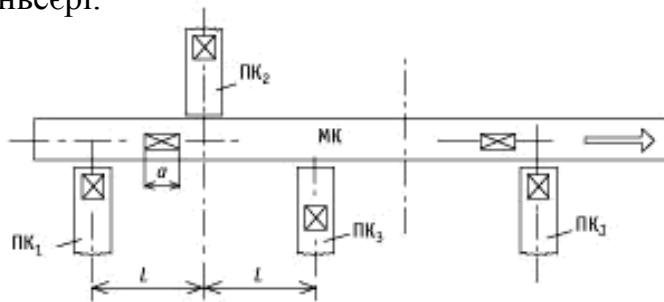


Рис. 1. Схема транспортної системи лінії групового пакування в загальному вигляді

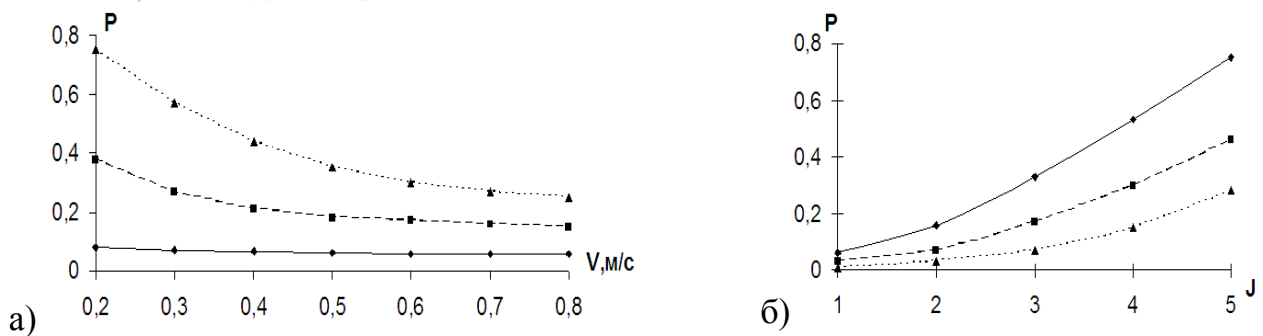


Рис. 2. Залежність імовірності зіткнення пакувальних одиниць на магістральному конвеєрі від: а) швидкості несучого елемента магістрального конвеєра (—◆—  $j = 2$ , —■—  $j = 4$ , ...▲...  $j = 6$ ); б) кількості подавальних конвеєрів (—◆—  $V = 0,2$  м/с, —■—  $V = 0,4$  м/с, ...▲...  $V = 0,6$  м/с)

Для визначення раціональних параметрів магістрального і подавальних конвеєрів за умови, що пакувальні одиниці не зіткнуться під час їхнього перевантаження і транспортування, транспортна система ліній групового пакування представлена у такому загальному вигляді (рис. 1). Шляхом застосування методу вирішення задачі про зустріч одержана залежність, яка дає можливість визначити ймовірність зіткнення упаковок залежно від швидкості магістрального конвеєра та габаритних розмірів пакувальної одиниці:  $P_1 \leq (j(j-1) \cdot a)/(V \cdot t)$ , (1)

де  $P_1$  – ймовірність зіткнення упаковок;  $j$  – кількість подавальних конвеєрів;  $V$  – швидкість руху несучого елемента магістрального конвеєра;  $a$  – довжина пакувальної одиниці;  $t$  – інтервал часу до зіткнення упаковок.

З рис. 2 видно, що за рахунок збільшення швидкості магістрального конвеєра за різної кількості подавальних конвеєрів можна одержати необхідні значення ймовірності безвідмовної роботи транспортної системи. У реальних умовах цим фактором найлегше варіювати.

Рациональне компонування транспортних систем ліній групового пакування потребує застосування перевантажувальних пристроїв із криволінійними ділянками, які виконують здебільшого в дугах кола. Для забезпечення заданої пропускної здатності криволінійних ділянок та їхніх мінімальних геометричних розмірів потрібно знати умови поєднання прямолінійної і криволінійної ділянок перевантажувального пристрою, тобто  $\eta = \varphi_0 + \psi + \xi_0 - 90^\circ$ , (2)

де  $\eta$  – максимально можливий кут повороту упаковки від початкового орієнтування на вході в колову ділянку;  $\varphi_0$  – кут між напрямком вхідної прямолінійної ділянки конвеєра і напрямком дії рушійної сили;  $\psi = \arctg b/a$ ;  $a$ ,  $b$  – довжина і ширина упаковки;  $\xi_0$  – кут можливого заклинювання упаковки, залежно від способу її орієнтування визначається з умови статичної рівноваги.

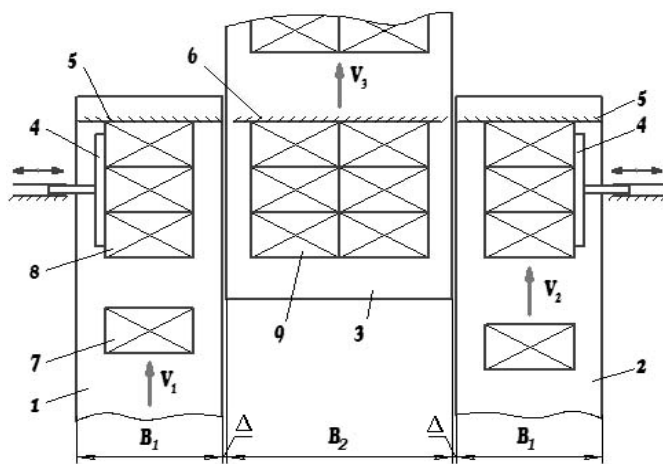


Рис. 3. Схема перевантажувального пристрою транспортної системи поточної лінії групового пакування: 1, 2 – подавальні конвеєри; 3 – магістральний конвеєр; 4 – пристрої зіштовхування; 5 – нерухома напрямна на подавальному конвеєрі; 6 – рухома напрямна на магістральному конвеєрі; 7 – пакувальна одиниця; 8 – ряд з пакувальних одиниць; 9 – шар або напівшар з пакувальних одиниць

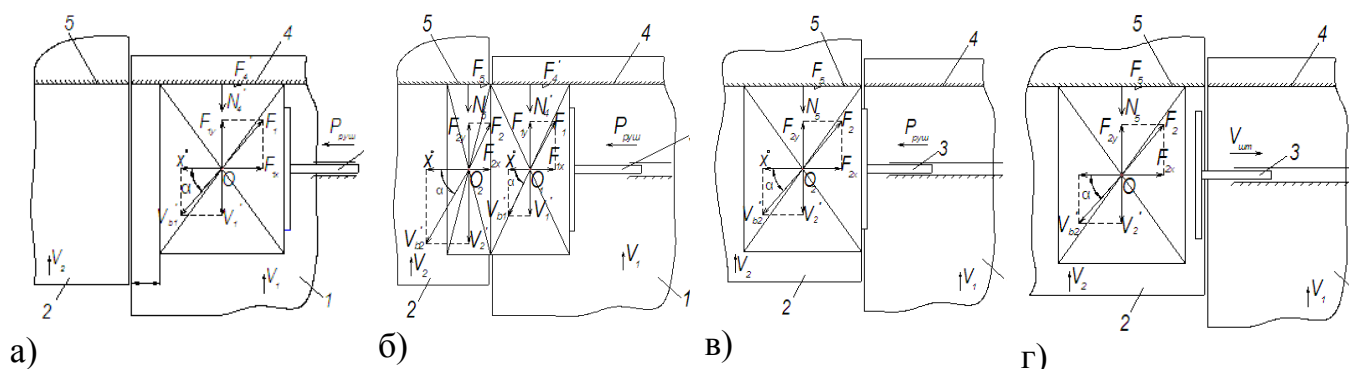


Рис. 4. Силове навантаження на пакувальні одиниці під час їхнього переміщення на: першому (а); другому (б); третьому (в); четвертому (г) етапах

Під час реалізації технологічного процесу групового пакування, який побудований на диференціації операцій, окремі операції з формування структурних елементів (ряд, напівшар, шар) виконуються на окремих пристроях або простих машинах (рис. 3). Для визначення раціональних значень геометричних, кінематичних

і силових параметрів операцій і пристрою формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі виконано математичне моделювання руху групи пакувальних одиниць при їхньому переміщенні на магістральний конвеєр за таких припущень: пакувальна одиниця має форму паралелепіпеда і є твердим тілом; центр мас співпадає з її геометричним центром; коефіцієнти тертя ковзання упаковок по несучих площинах конвеєрів і напрямних є величинами сталими; тиск упаковки на несучі площини конвеєрів та напрямні розподілений рівномірно; поверхні стрічок розташовані в одній горизонтальній площині; зазори між кромками стрічок незначні і тому під час моделювання ними нехтуємо; група упаковок розглядається як одне тіло. Операція перевантаження може виконуватись за умови:  $V_1 = 0, V_2 \neq 0$ ;  $V_1 \neq 0, V_2 \neq 0$ ;  $V_1 = 0, V_2 = 0$ ;  $V_1 \neq 0, V_2 = 0$ , де  $V_1, V_2$  — швидкості руху стрічок відповідно подавального і магістрального конвеєрів. Загалом операцію перевантаження можна представити сумою чотирьох характерних етапів (рис. 4).

Прийнявши рушійну силу штовхача сталою величиною, рух групи упаковок на прийнятих етапах можна описати рівняннями:

$$\text{на першому етапі: } \ddot{x} = \frac{P_{pyu}}{m} - gf_1 \left[ \frac{\dot{x}}{\sqrt{(V_1')^2 + (\dot{x})^2}} + f_4 \frac{V_1'}{\sqrt{(V_1')^2 + (\dot{x})^2}} \right]; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{на другому етапі: } \ddot{x} = \frac{P_{pyu}}{m} - gf_1 \frac{a-x}{a} \left[ \frac{\dot{x}}{\sqrt{(V_1')^2 + (\dot{x})^2}} + f_4 \frac{V_1'}{\sqrt{(V_1')^2 + (\dot{x})^2}} \right] - \\ - g \cdot f_2 \frac{x}{a} \left[ \frac{\dot{x}}{\sqrt{(V_2')^2 + (\dot{x})^2}} + \frac{f_5 V_2'}{\sqrt{(V_2')^2 + \dot{x}^2}} \right]; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{на третьому етапі: } \ddot{x} = \frac{P_{pyu}}{m} - gf_2 \left[ \frac{\dot{x}}{\sqrt{(V_2')^2 + (\dot{x})^2}} + f_5 \frac{V_2'}{\sqrt{(V_2')^2 + \dot{x}^2}} \right]; \quad (5)$$

$$\text{на четвертому етапі: } \ddot{x} = -gf_2 \left[ \frac{\dot{x}}{\sqrt{(V_2')^2 + (\dot{x})^2}} + f_5 \frac{V_2'}{\sqrt{(V_2')^2 + \dot{x}^2}} \right], \quad (6)$$

де  $x, \dot{x}, \ddot{x}$  — переміщення, швидкість, прискорення руху групи пакувальних одиниць;  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5$  — коефіцієнти тертя ковзання пакувальних одиниць відповідно по стрічках та напрямних подавального і магістрального конвеєрів;  $m$  — маса групи пакувальних одиниць;  $g$  — гравітаційне прискорення.

Розв'язавши диференційні рівняння (3 — 6) за відомих вихідних даних, можна одержати зміну шляху, швидкості та прискорення в часі виконання операцій, а також тривалість операції:  $T_k = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ , (7)

де  $t_1, t_2, t_3, t_4$  — тривалість кожного з етапів руху пакувальних одиниць.

Для визначення факторів, якими можна ефективно змінювати тривалість операції формування структурних елементів групової упаковки з одержаними моделями для різних комбінацій кінематичних параметрів подавального і магістрального конвеєрів проведено багатфакторний експеримент виду  $2^{5-2}$ . Результатом даного експерименту є таке рівняння регресії:

$$y = 1,1070 - 0,2030z_1 + 0,1233z_2 + 0,0919z_3 - 0,1588z_4 - 0,1993z_5 - 0,0104z_1z_3 + 0,1113z_1z_4, \quad (8)$$

де  $z_1 \dots z_5$  – кодовані фактори відповідно таких параметрів:  $V_1, V_2, f_1, f_4 = f_5, f_2$ .

Із рівняння регресії (8) встановлено, що для зменшення тривалості операції формування структурних елементів групової упаковки доречно збільшувати  $V_1, f_2$  та  $f_4, f_5$  та зменшувати  $V_2$ .

В останні роки для пакування харчової продукції широко застосовують напівжорсткі та м'які упаковки. Деформаційні властивості таких упаковок залежать від виду пакувальних матеріалів, конструкцій упаковки та виду пакованого продукту. Під час проектування високопродуктивних пакувальних машин неврахування деформаційних властивостей пакувальних одиниць з харчовою продукцією може призвести до зменшення фактичної продуктивності машини і якості виконання операцій.

Для встановлення впливу фізико-механічних характеристик пакувальних одиниць на часові, кінематичні і силові параметри операцій переміщення структурних елементів групової упаковки розрахунково-графічні моделі операцій переміщення представлені у вигляді: твердого, пружного і в'язкопружного тіла.

У першому наближенні система «зіштовхувач — пакувальна одиниця» може бути представлена у вигляді двомасової дискретної системи, якщо прийняти що перша маса рухається із швидкістю  $V_0 = const$ .

Для знаходження реологічних коефіцієнтів жорсткості  $c_{12}$  та в'язкого тертя  $b_{12}$  для таких тіл можна, з відповідним наближенням, використовувати експериментальні дані ущільнення пакувальної одиниці.

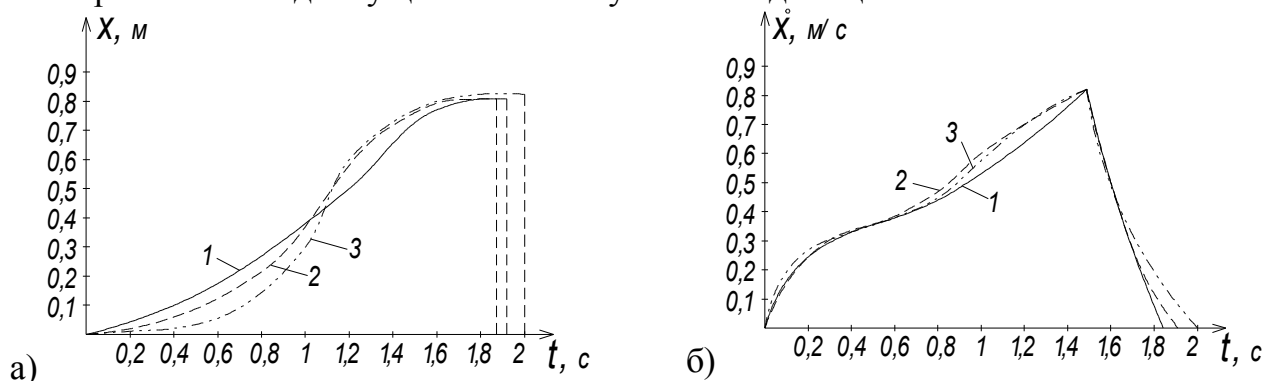


Рис. 5. Залежність шляху (а) та швидкості (б) від часу виконання операції перевантаження пакувальних одиниць з подавального на магістральний конвеєр: 1 – тверде тіло; 2 – пружне тіло; 3 – в'язкопружне тіло

Рівняння руху пакувальних одиниць на другому етапі переміщення з подавального на магістральний конвеєр будуть мати вигляд: для пружного тіла

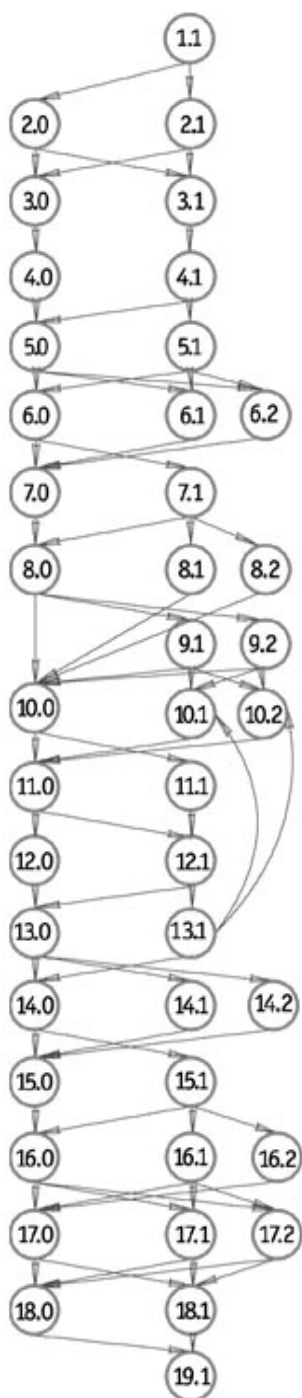
$$\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{01} + t_1 + t) - (x_2 + x_{2,1k})] - g f_1 \cdot \frac{a - x_2}{a} \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + f_4 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right] - g_2 f_2 \frac{x_2}{a} \cdot \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} + f_5 \cdot \frac{V_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} \right], \quad (9)$$

для в'язкопружного тіла  $\ddot{x}_2 = \frac{c_{1,2}}{m} [V_0(t_{02} + t_1 + t) - (x_2 + x_{2,1k})] +$

$$+ (V_0 - \dot{x}_2) \frac{b_{1,2}}{m} - g f_1 \frac{a - x_2}{a} \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} + f_4 \cdot \frac{V_1}{\sqrt{V_1^2 + \dot{x}_2^2}} \right] - g f_2 \frac{x_2}{a} \cdot \left[ \frac{\dot{x}_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} + f_5 \cdot \frac{V_2}{\sqrt{V_2^2 + \dot{x}_2^2}} \right], \quad (10)$$

де  $x_2, \dot{x}_2, \ddot{x}_2$  — переміщення, швидкість, прискорення руху групи пакувальних одиниць, представлених у вигляді другої дискретної маси;  $t_1$  — тривалість першого етапу;  $t_{01} = mg \cdot f_4 / c_{1.2} \cdot V$ ;  $t_{02} = (mg \cdot f_4 - b_{1.2} \cdot V_0) / c_{1.2} \cdot V_0$ ;  $x_{2.1k} = \delta$  — переміщення другої маси на першому етапі. Згідно з результатами числових розрахунків встановлено, що під час переміщення напівжорстких і м'яких пакувальних одиниць з харчовою продукцією потрібно враховувати їхні фізико-механічні властивості, тому що вони впливають на тривалість переміщення і точність позиціонування упаковок (рис. 5).

**Третій розділ** присвячено обґрунтуванню раціональних параметрів функціональних модулів обладнання для групового пакування при концентрації в них операцій.



- переміщення споживчих упаковок від фасувальних машин подавальним конвеєром
- орієнтування упаковок на подавальному конвеєрі
- перевантаження упаковок на магістральний конвеєр
- переміщення споживчих упаковок магістральним конвеєром
- орієнтування упаковок на магістральному конвеєрі
- поштучне укладання упаковок в тару, на лоток (переміщення в горизонтальній 1 та вертикальній 2 площинах)
- формування ряду упаковок
- порядне укладання упаковок у тару, на лоток (переміщення в горизонтальній 1 та вертикальній 2 площинах)
- формування штабеля упаковок (переміщення догори 1, донизу 2)
- поштабельне укладання упаковок у тару, на лоток (переміщення в горизонтальній 1 та вертикальній 2 площинах)
- переорієнтування штабеля упаковок у шар
- формування шару упаковок
- переорієнтування шару упаковок у штабель
- пошарове укладання упаковок у тару, на лоток (переміщення в горизонтальній 1 та вертикальній 2 площинах)
- формування групової упаковки
- укладання групової упаковки в тару, на лоток (переміщення в горизонтальній 1 та вертикальній 2 площинах)
- переміщення тари та структурних елементів групової упаковки догори 1, донизу 2
- переорієнтування заповненої тари на 90°
- переміщення групової упаковки та її скріплення

Рис. 6. Структурний граф технологічного процесу групового пакування

Із цією метою проведено аналіз структури процесу групового пакування, енергетичних витрат функціональними модулями пакувальних машин, оптимізацію параметрів синхрограми та мережної циклограми машини і дослідження шляхів реалізації оптимального за швидкодією закону руху групової упаковки під час повороту її на  $90^\circ$ . Для розгляду всіх можливих схем технологічного процесу групового пакування створено граф технологічного процесу (рис. 6).

У сучасних пакувальних машинах структура функціональних модулів відповідає послідовності:

- для горизонтального: 1.1 — 2.1 — 3.1 — 4.1 — 5.1 — 7.1 — 9.1 — 10.1 — 18.1 — 19.1;
- для вертикального: 1.1 — 2.1 — 3.1 — 4.1 — 5.1 — 7.1 — 9.1 — 15.1 — 16.2 — 19.1.

Для оцінювання енерговитрат різних функціональних модулів машин для групового пакування розроблено їхні топологічні моделі у вигляді графа зв'язків. На основі структурного графа лінії Ш24-ЛЛА, розробленої науковцями НУХТ, побудовано енергетично-потоківий граф зв'язків та сигнальний граф (рис. 7).

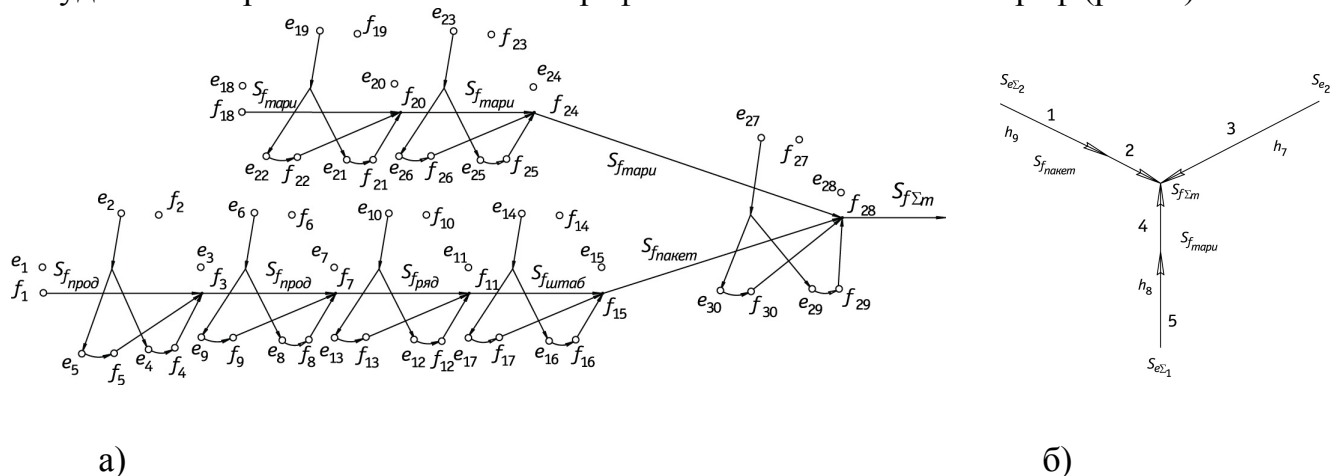


Рис. 7. Сигнальний граф технологічного процесу групового пакування, що реалізується лінією Ш24-ЛЛА: початковий вигляд (а); кінцевий спрощений вигляд (б)

Кінцевий спрощений вигляд сигнального графа представлено як топологічну форму інтерпретації системи компонентних рівнянь. У відповідності із цим масово-енергетичні потоки в системі співвідносяться між собою за залежністю:

$$S_{e\Sigma} = (S_{f\Sigma_2} \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) + S_{f_{тари}} \cdot h_8) \cdot h_7, \quad (11)$$

де  $S_{f\Sigma_2}$ ,  $S_{f_{тари}}$  — потоки мас пакувальних одиниць і транспортної тари;  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_7, h_8$  — передаточні функції витрат енергії у функціональних модулях подачі пакувальних одиниць і формування ряду; формування штабеля пакувальних одиниць; переміщення штабеля упаковок у транспортну тару; переорієнтування транспортної тари з пакувальними одиницями; подачі і відведення транспортної тари.

Використавши отримане компонентне рівняння зв'язку між потоками енергії та маси, що проходять через машину, визначили орієнтовне споживання енергії функціональними модулями лінії Ш24-ЛЛА та встановили, що виділені модулі машини витрачають співрозмірні величини енергії. А тому для мінімізації енерговитрат потрібно враховувати кінематику і динаміку всіх модулів.

За прийнятих технологічної, структурної і кінематичної схем машини встановлення взаємозв'язків між рухами її робочих органів проводили аналіз параметрів мережної циклограми, який зводиться до пошуку способів зменшення

кількості операцій, що розташовані на критичному шляху, і скорочення роботи за рахунок суміщення виконання операцій. Для вибору раціональних параметрів пакувальних машин потрібно оцінити машину за критерієм енерговитрат.

У загальному вигляді витрати енергії на виконання  $i$ -ї операції можна визначити:

$$A_i = \int_0^{V_i} \frac{m \cdot V}{\eta_i} \cdot dV + \int_0^{S_i} \frac{R_\tau}{\eta_i} dS, \quad (12)$$

де  $V_i$  — максимальна швидкість руху  $i$ -го робочого органу;  $m$  — приведена маса рухомих деталей робочого органу і складових пакувальної одиниці;  $\eta_i$  — миттєве значення коефіцієнта корисної дії приводної станції;  $S_i$  — максимальний хід робочого органу під час виконання операції;  $R_\tau$  — проекція головного вектора сил на елементарне переміщення робочого органу.

Потужність двигуна під час повторно-короткочасної роботи і зміни навантаження визначається як:

$$P_{yi} = A_i / (t_i^k - t_i^n). \quad (13)$$

Якщо прийняти за цільову функцію тривалість кожної операції, то можна визначити мінімальне значення потужності під час виконання  $i$ -ї операції:

$$\min P_c = \frac{1}{T_y} \left( \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i} \right)^2, \text{ де } T_y \text{ — тривалість операції.} \quad (14)$$

Для уточнення параметрів циклограми на завершальному етапі проектування будують синхрограму, що мінімізує тривалість технологічного та кінематичного циклів і тим самим сприяє підвищенню продуктивності пакувальної машини.

У машинах групового пакування, що реалізують горизонтальний спосіб укладання пакувальних одиниць у гофрокартонний ящик однією з операцій, що лімітують продуктивність машини, є операція переорієнтування заповненої транспортної тари на  $90^\circ$ .

Бажання одержати максимальну продуктивність цього модуля при обмеженні динамічної дії на пакувальні одиниці, що переміщуються в тарі, призводить до пошуку оптимального за швидкодією закону руху тари. Оптимальний за швидкодією закон руху групової упаковки визначається під час роботи механізму на двох режимах — розгону та гальмування (рис. 8).

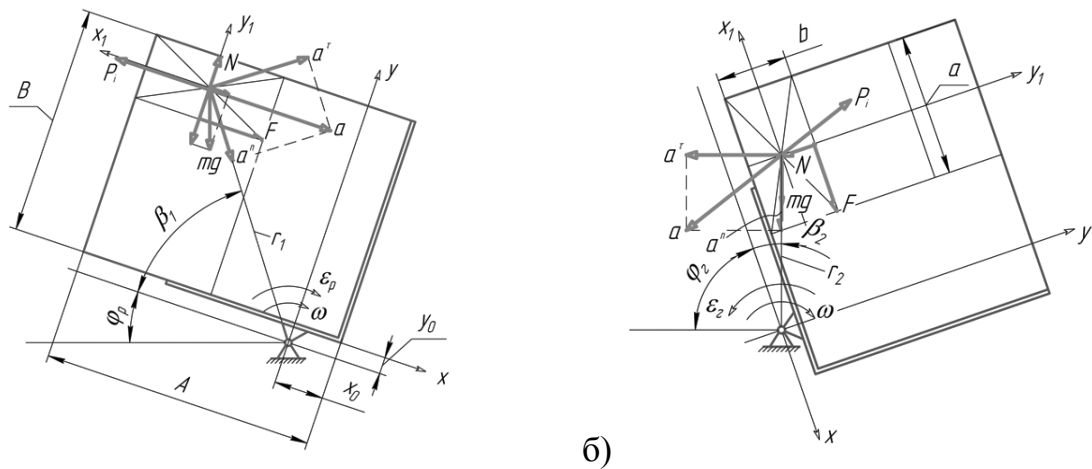


Рис. 8. Силове навантаження на упаковку, що найбільш піддатлива до випадання з транспортної тари в режимі: розгін (а), гальмування (б).

Із умови рівноваги пакувальної одиниці відносно ящика запишемо рівняння оптимального руху транспортної тари: режим розгону:

$$\frac{d^2\varphi_p}{dt^2}(\sin\beta_1 - f \cdot \cos\beta_1) + \left(\frac{d\varphi_p}{dt}\right)^2 \cdot (f \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1) - \frac{g}{r_1} \cdot (f \cdot \cos\varphi_p + \sin\varphi_p) = 0, \quad (15)$$

режим гальмування

$$\frac{d^2\varphi_2}{dt^2}(f \cdot \cos\beta_2 - \sin\beta_2) + \left(\frac{d\varphi_2}{dt}\right)^2 \cdot (\cos\beta_2 - f \cdot \sin\beta_2) - \frac{g}{r_2} \cdot (\sin\varphi_2 + f \cdot \cos\varphi_2) = 0, \quad (16)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя опорної поверхні однієї упаковки по іншій;  $\varphi_p, \varphi_2$  – кут повороту транспортної тари під час відповідно розгону та гальмування.

Результати розрахунку рівнянь (15) і (16) наведені на рис. 9.

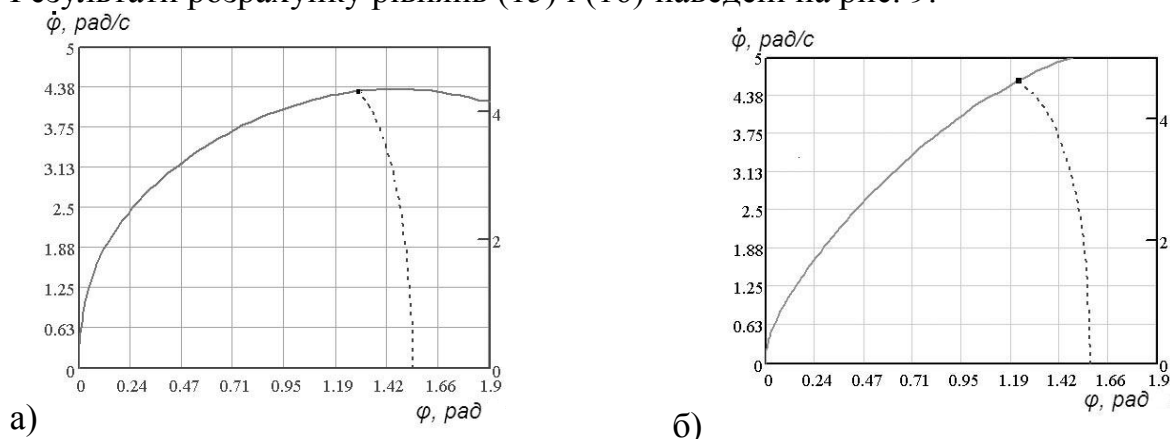


Рис. 9. Зміна оптимального значення швидкості від кута повороту заповненої транспортної тари при: а)  $\beta_1 = 0,4$  рад; б)  $\beta_1 = 1,2$  рад.

На основі кінематичного аналізу механізму з одним приводним коливальним пневмоциліндром переорієнтування встановлено функціональні залежності між параметрами руху штока пневмоциліндра і рухом транспортної тари. Реалізація закону руху здійснюється за рахунок дроселювання вхідного і вихідного каналу подачі стисненого повітря у порожнини пневмоциліндра. Для цього з рівняння руху

$$\text{механізму: } m_{np} \frac{d^2s}{dt^2} + 0,5 \cdot \left(\frac{ds}{dt}\right)^2 \cdot \frac{dm_{np}}{ds} = (F_1 \cdot p_1 - F_2 \cdot p_2) - P_0, \quad (17)$$

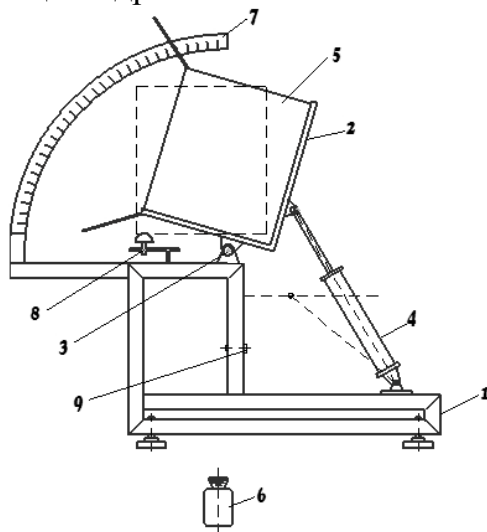
де  $m_{np}$  — змінна, приведена до поршня рухома маса механізму;  $S$  — переміщення поршня;  $F_1, F_2$  — площа поршня відповідно у порожнині нагнітання і випорожнення;  $p_1, p_2$  — тиск у відповідних порожнинах циліндра нагнітання і випорожнення;  $P_0$  — приведена до поршня сила опору, визначаємо ефективні площі дроселювання  $f_1^e, f_2^e$ , де  $f_1^e, f_2^e = f(p_1, \dot{p}_1, p_2, \dot{p}_2, S, \dot{S})$ .

У **четвертому** розділі наведено результати експериментальних досліджень, метою яких було експериментальне визначення вихідних параметрів, що входять у математичні моделі, та перевірка адекватності одержаних математичних моделей реальним процесам.

Експериментально визначено реологічні коефіцієнти жорсткості  $c_{12}$  та в'язкого тертя  $b_{12}$  м'яких та напівжорстких упаковок, наповнених сипкою продукцією. У таблиці наведено значення цих коефіцієнтів для м'яких пакувальних одиниць.

З метою реалізації оптимального закону орієнтування гофрокартонного ящика з пакувальними одиницями розроблено експериментальну установку, що є прототипом пристрою переорієнтування машини Ш24-ЛЛА (рис. 10). Для керування

рухом штока пневмоциліндра використана мехатронна система із слідку вальним пневмоциліндром.



а)

2 – рама, 3 – шарнір, 4 – пневмоциліндр, 5 – гофроящик, 6 – цифрова кінокамера, 7 – кутомір), б) – схема керування (1 — пневмоциліндр; 2 — розподільник; 3 — інтерфейс; 4 — контролер; 5 — поворотна рама з гофроящиком)

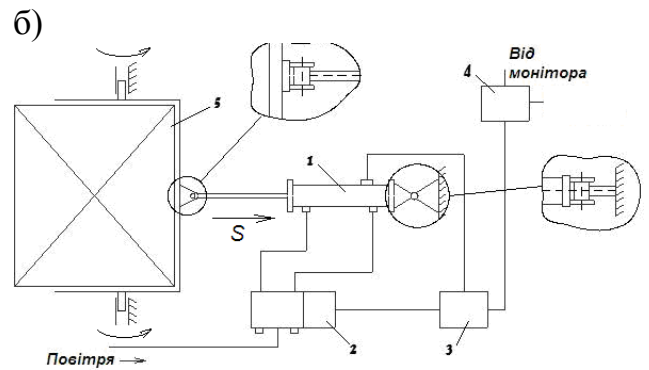


Рис. 10. Схема експериментальної установки для дослідження параметрів орієнтування заповненої транспортної тари: а) – загальна схема (1 – станина,

Таблиця

**Значення реологічних коефіцієнтів  
м'яких пакувальних одиниць, заповнених сипкою продукцією**

Продукт	Ступінь заповнення, %	$c' \cdot 10^{-5},$ $Pa$	$c \cdot 10^{-4},$ $\frac{H}{m}$	$b' \cdot 10^{-5},$ $Pa \cdot c$	$b \cdot 10^{-4},$ $\frac{H}{m} \cdot c$
Рис	95	1,270	1,840	1,70	2,4650
	75	0,820	1,189	1,36	1,9720
	50	0,640	0,928	1,39	2,0155
Пшоно	95	1,40	2,030	1,71	1,7096
	75	0,920	1,334	1,30	1,8850
	50	0,690	1,0	1,40	1,8850
Крупа пшенична	95	1,530	2,218	1,72	2,4940
	75	1,050	1,523	1,41	2,0450
	50	0,754	1,093	1,33	1,9280
Крупа ячна	95	1,70	2,465	1,74	2,5230
	75	1,150	1,668	1,42	2,0590
	50	0,820	1,189	1,29	1,8710

Відхилення значень кінематичних параметрів руху гофрокартонного ящика не перевищувало 5 – 8 %, що є допустимим для розробки ефективних зразків пакувального обладнання (рис. 11).

У п'ятому розділі надані рекомендації з реалізації результатів дослідження під час створення машин для групового пакування пакувальних одиниць з харчовою продукцією. Представлено алгоритм використання модульної системи проектування машин для групового пакування та економічну ефективність від впровадження результатів роботи.

$\dot{\varphi}$ , рад/с

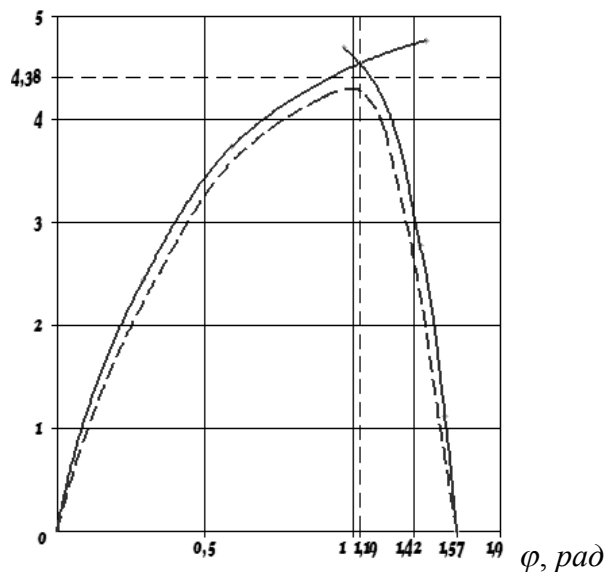


Рис. 11. Графік залежності швидкості від кута повороту гофроящика з картонними пачками: оптимальний закон руху гофроящика за умови неவிпадання пачок (—); експериментальні значення (---)

### ВИСНОВКИ

Аналіз технологічних, компоновочних і конструктивних схем машин та потокових ліній автоматичної дії для групового пакування пакувальних одиниць із харчовими продуктами в транспортну тару виявив потребу в розробці науково обґрунтованих методів визначення раціональних геометричних, кінематичних і динамічних параметрів функціональних модулів цих машин і потокових ліній.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу науково обґрунтувати раціональні значення параметрів таких характерних функціональних модулів пакувальних машин і потокових ліній: транспортні і перевантажувальні пристрої потокових ліній; пристрої формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі; пристрій переорієнтування заповненої транспортної тари пакувальними одиницями. На основі результатів досліджень можна зробити такі висновки:

1. Аналіз технологічних, структурних та конструктивних схем функціональних модулів машин і потокових ліній для групового пакування пакувальних одиниць із харчовими продуктами в транспортну тару показав, що їхнє проектування не завжди відповідає сучасним вимогам ринку пакувального машинобудування не лише через невідповідність різноманітності та складності конструкцій, але й через недосконалість, а в деяких випадках і відсутність досліджень, спрямованих на наукове обґрунтування параметрів функціональних модулів таких машин.
2. На основі аналізу компоновочних схем та теорії імовірності встановлено функціональні залежності між параметрами подавальних і магістрального конвеєрів потокових ліній для групового пакування, що дало можливість забезпечити їхню безвідмовну роботу за заданої продуктивності.
3. Розроблено і обґрунтовано метод вибору раціональних геометричних параметрів криволінійної ділянки транспортної системи потокової лінії для групового пакування, який дозволив реалізувати максимально можливі значення продуктивності транспортної системи.
4. Розроблена математична модель формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі з урахуванням фізико-механічних характеристик пакувальних одиниць із харчовою продукцією дала можливість

уточнити значення часових і кінематичних параметрів операції формування структурних елементів та розширити область її застосування. Для реологічних моделей, якими моделюють жорсткі, напівжорсткі та м'які пакувальні одиниці, значення часових і кінематичних параметрів цієї операції різні, а відносні відхилення знаходяться в межах 10 – 15 %, що є суттєвим для високопродуктивних машин.

5. Встановлено основні фактори впливу на керування операцією формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі. Це дало можливість отримати мінімальну тривалість технологічного циклу цієї операції.

6. Топологічне дослідження машини для групового пакування, як технічної системи, методом аналізу взаємодії енергетичних і масових потоків дало можливість визначити її раціональну технологічну та структурну схеми.

7. Розроблена методика оптимізації мережної циклограми і синхронограми роботи пакувального обладнання дала можливість мінімізувати тривалість кінематичного циклу як робочих органів, так і машини загалом, а також підвищити продуктивність машини на 12 % та визначити шляхи зменшення енерговитрат.

8. Виконано математичне моделювання операції та пристрою переорієнтування заповненої пакувальними одиницями транспортної тари, яке дало можливість визначити оптимальний закон руху тари за умови збереження цілісності групової упаковки, раціональну структурну схему, кінематичні і динамічні параметри пристрою, а також функціональну залежність між параметрами пристрою і пневмопривода для реалізації оптимального закону руху транспортної тари.

9. Результатами експериментальних досліджень підтверджено адекватність розроблених математичних моделей операцій групового пакування реальним процесам. Найбільше відхилення розрахункових і експериментальних даних не перевищило 8 – 12 %.

10. Розроблені методи розрахунків і вибору параметрів використано ТОВ «Завод пакувального обладнання «Термо Пак» (м. Біла Церква) та ТОВ «Базіс» (м. Луганськ) під час проектування та виготовлення функціональних модулів машин і поточкових ліній для групового пакування. Розрахунковий економічний ефект від впровадження результатів роботи під час створення однієї одиниці обладнання лінії для групового пакування становить 4 000,00 – 4 800,00 грн. Результати досліджень також застосовують у навчальному процесі під час читання лекцій та виконання курсових проектів з дисциплін «Пакувальне обладнання», «Розрахунок і конструювання пакувального обладнання», а також під час виконання кваліфікаційних робіт студентами освітньо-кваліфікаційних рівнів бакалавр, спеціаліст, магістр.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Гавва О.М. Оптимізація параметрів синхронограми пакувальних машин / Гавва О.М., Халайджі В.В., Кривопляс-Володіна Л.О. // Упаковка. — 2007. — № 4. — С. 50—51. Особистий внесок здобувача: розробка методики оптимізації та проведення розрахунків параметрів синхронограми машин для групового пакування.

2. Гавва О.М. Оптимізація параметрів мережної циклограми пакувальних машин / Гавва О.М., Халайджі В.В. // Упаковка. — 2007. — № 5. — С. 43—47. Особистий внесок дисертанта: розробка методики оптимізації та проведення розрахунків за результатами оптимізації параметрів мережної циклограми пакувальних машин.

3. Гавва О.М. Проектування оптимальної кінематичної схеми механізму орієнтування ящика із гофрокартону / Гавва О.М., Халайджі В.В., Кривопляс-Володіна Л.О. // Упаковка. — 2008. — № 3. — С. 40—42. Особистий внесок дисертанта: розроблено кінематичну схему механізму орієнтування ящика із гофрокартону та її оптимізація.
4. Гавва О.М. Кінематичний аналіз механізму переорієнтування транспортної тари з пакувальними одиницями / Гавва О.М., Халайджі В.В., Якимчук М.В. // Упаковка. — 2008. — № 4. — С. 39—42. Особистий внесок дисертанта: проведено кінематичний аналіз механізму переорієнтування транспортної тари з пакувальними одиницями.
5. Гавва О.М. Реалізація заданого закону руху транспортної тари пристроями переорієнтування з коливальним пневмоциліндром / Гавва О.М., Халайджі В.В., Захаревич В.Б. // Упаковка. — 2008. — № 5. — С. 43—45. Особистий внесок дисертанта: побудовано схеми силового навантаження пристрою орієнтування транспортної тари, розроблено методику реалізації заданого руху транспортної тари, що дає змогу здійснювати керування її рухом у часі.
6. Гавва О.М. Вибір оптимальної схеми формування структури транспортних пакетів із тарних вантажів / Гавва О.М., Халайджі В.В., Кривопляс-Володіна Л.О. // Харчова промисловість, — 2008. — № 6, — С. 110—114. Особистий внесок дисертанта: розроблено схеми формування структури транспортних пакетів із тарних вантажів та вибір оптимальної технології.
7. Халайджі В.В. Аналіз схем формування групової упаковки / Халайджі В.В., Гавва О.М., Голоп'яров І.В. // Упаковка. — 2009. — № 2. — С. 40—42. Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз існуючих схем формування групової упаковки.
8. Халайджі В.В. Особливості оптимізації параметрів циклограми машин для групового пакування з комбінованою системою приводів / Халайджі В.В., Гавва О.М., Голоп'яров І.В. // Упаковка. — 2009. — № 3. — С. 50—52. Особистий внесок дисертанта: проведено оптимізацію циклограми машин для групового пакування.
9. Гавва О.М. Диференціація операцій групового пакування. Частина 1 / Гавва О.М., Халайджі В.В., Волчко А.І. // Упаковка. — 2009. — № 5. — С. 42—45. Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз існуючих схем поточкових ліній групового пакування.
10. Гавва О.М. Диференціація операцій групового пакування. Частина 2 / Гавва О.М., Халайджі В.В., Волчко А.І. // Упаковка. — 2009. — № 6. — С. 35—39. Особистий внесок дисертанта: виконано обґрунтування наукової методології пошуку раціональних параметрів транспортних систем поточкових ліній.
11. Халайджі В.В. Основи модульної системи проектування обладнання для групового пакування / Халайджі В.В., Токарчук С.В., Гавва О.М. // Харчова промисловість — 2010. — № 9. — С. 123—129. Особистий внесок дисертанта: на основі аналізу технологій групового пакування розроблено узагальнений граф операцій групового пакування на основі масо- та енергопотоків та енергетичні графи.
12. Халайджі В.В. Системний аналіз енерговитрат в обладнанні групового пакування / Халайджі В.В., Гавва О.М., Токарчук С.В. // Упаковка. — 2010. — № 2. — С. 43—47. Особистий внесок дисертанта: створено граф технологічного процесу, побудований граф зв'язків та сигнальний граф та визначено найбільш енергомісткий модуль обладнання для групового пакування.

13. Халайджі В.В. Вплив фізико-механічних властивостей споживчих упаковок на параметри формування структурних елементів групової упаковки / Халайджі В.В., Гавва О.М. // Упаковка. — 2010. — № 3. — С. 29—32. Особистий внесок дисертанта: розроблено математичну модель, що описує рух упаковок по несучим поверхням під час їхнього переміщення зіштовхувачем з урахуванням фізико-механічних властивостей споживчих упаковок, заповнених продукцією.
14. Гавва О.М. Математичні моделі логістичних операцій / Гавва О.М., Халайджі В.В., Масло М.А., Рязанко В.М. // Упаковка. — 2010. — № 5. — С. 52—54. Особистий внесок дисертанта: виконано аналіз математичних моделей, що застосовуються у виробничій логістиці при виконанні операцій з груповою упаковкою.
15. Гавва О.М. Визначення раціональних геометричних параметрів криволінійних ділянок транспортних систем ліній пакування / Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Халайджі В.В. // Упаковка. — 2010. — № 6. — С. 35—37. Особистий внесок дисертанта: одержано залежності, за допомогою яких можна визначити раціональні параметри криволінійних ділянок транспортних систем ліній групового пакування.
16. Халайджі В.В. Метод реалізації максимальної продуктивності машин групового пакування / Халайджі В.В., Гавва О.М. // Технологічні комплекси. — 2010. — № 1. — С. 78—86. Особистий внесок дисертанта: розроблено метод, який дає можливість ущільнити виконання кінематичних циклів пакувальною машиною.
17. Халайджі В.В. Оптимізація параметрів пакувальних машин / Халайджі В.В., Гавва О.М. // Матеріали доповідей IV науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування». — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2008. — С. 21—28. Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз параметрів пакувальних машин та їх оптимізація.
18. Халайджі В.В. Тенденції розвитку групової упаковки і технічних засобів для її формування / Халайджі В.В., Гавва О.М. // Матеріали доповідей V науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування». — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2009. — С. 28—30. Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз сучасного стану групової упаковки та перспектив розвитку технічних засобів її формування.
19. Халайджі В.В. Методологічні основи створення ефективних зразків обладнання для групового пакування / Халайджі В.В., Гавва О.М. // Матеріали III науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія України (стан та перспективи)». — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2009. — С. 159—171. Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз існуючих технологічних схем групового пакування, встановлені визначальні параметри проектування машин, знайдено аналітичні залежності руху групової упаковки на режимах розгону та гальмування при переорієнтуванні картонного ящика.
20. Халайджі В.В. Математичне моделювання операцій перевантаження в потокових лініях групового пакування / Халайджі В.В., Гавва О.М., Волчко А.І. // Матеріали доповідей VI Науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування» — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2010. — С. 28—31. Особистий внесок дисертанта: встановлено параметри керування операцією перевантаження.
21. Гавва О.М. Основні вимоги до гнучких пакувальних матеріалів під час їхньої переробки в сучасному пакувальному обладнанні / Гавва О.М., Халайджі В.В. //

Матеріали IV науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія (стан та перспективи)». — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2010. — С. 34—47. Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз впливу гнучких пакувальних матеріалів на фізико-механічні особливості пакувальних одиниць.

22. Халайджі В.В. Модульная система проектирования оборудования группового упаковывания / Халайджі В.В., Гавва А.Н. // Тезисы докладов VII международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств» — Могилев: Могилевский государственный университет продовольствия. — 2010. — С. 102—103. Особистий внесок дисертанта: проведено аналіз сучасних методів проектування обладнання групового пакування, доведена доцільність використання модульної системи проектування.

23. Халайджі В.В. Математичне моделювання операцій перевантаження в потокових лініях групового пакування / Халайджі В.В., Гавва О.М., Волчко А.І. // Матеріали доповідей VI науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування». — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2010. — С. 28—31. Особистий внесок дисертанта: проведено математичне моделювання операцій перевантаження пакувальних одиниць.

24. Гавва О.М. Основні вимоги до полімерних плівок при пакуванні в них продукції на сучасному пакувальному обладнанні / Гавва О.М., Халайджі В.В., // Тезиси доповідей конференції «Полимерные материалы. Сырье, композиции, отходы, нормативные документы, технология, оборудование, переработка», К.: ООО «Научно-технический центр «ВНИИХИМПРОЕКТ». — 2010. Особистий внесок дисертанта: зроблено аналіз технологічних схем машин для формування упаковки з гнучких полімерних матеріалів та їх структурних складових, сформульовані вимоги до гнучких пакувальних матеріалів.

25. Халайджі В.В. Підвищення технічного рівня обладнання для групового пакування упаковок із харчовою продукцією / Халайджі В.В., Гавва О.М. // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодні та перспективи» — К.: НУХТ. — 2010. — С. 94. Особистий внесок дисертанта: виконано синтез і оптимізацію циклограми, проведено дослідження операцій формування структурних елементів групової упаковки.

26. Халайджі В.В. Урахування структурно-механічних характеристик пакувальних одиниць під час їхнього перероблення в лініях групового пакування / Халайджі В.В., Самойлик А.Є., Гавва О.М. // Матеріали доповідей VII науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування» — К.: ІАЦ «Упаковка». — 2011. — С. 43—44. Особистий внесок дисертанта: розроблено розрахунково-графічні моделі, що враховують структурно-механічні характеристики пакувальних одиниць.

27. Халайджі В.В. Выбор рациональных параметров сетевой циклограммы упаковочных машин / Халайджі В.В., Гавва А.Н. // Научни трудове «Хранителна наука, техника и технологии — 2010». — Пловдив: Университет по хранителни технологии. — 2010. — том LVII. — С. 428—443. Особистий внесок дисертанта: проведено розрахунки за результатами оптимізації параметрів мережної циклограми пакувальних машин.

28. Гавва А.Н. Исследование операций группового упаковывания с учетом структурно-механических характеристик упаковочных единиц / Гавва А.Н., Халайджи В.В., Токарчук С.В. // Научни трудове «Хранителна наука, техника и технологии — 2011». — Пловдив: Университет по хранителни технологии. — 2011. — том LVIII. — С. 384—390. Особистий внесок дисертанта: розроблено розрахунково-графічні моделі, що враховують структурно-механічні характеристики пакувальних одиниць з харчовою продукцією та на їх основі створено математичні моделі.

#### **АНОТАЦІЯ**

**Халайджи В.В. Наукове обґрунтування параметрів обладнання для групового пакування харчових продуктів: - 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, 2011.

Дисертацію присвячено створенню наукової бази проектування і вдосконалення обладнання для групового пакування харчових продуктів.

На основі аналізу компоновочних схем та теорії ймовірності встановлено функціональні залежності між параметрами подавальних і магістрального конвеєрів поточкових ліній для групового пакування. Розроблено і обґрунтовано метод вибору раціональних геометричних параметрів криволінійних ділянок транспортної системи поточкових ліній. Розроблено математичні моделі формування структурних елементів групової упаковки на магістральному конвеєрі з урахуванням фізико-механічних характеристик пакувальних одиниць. На основі топологічного методу дослідження машин виконано аналіз технологічних структурних та кінематичних схем машин для групового пакування. Виконано математичне моделювання операцій переорієнтування заповненої транспортної тари. Експериментально підтверджено адекватність математичних моделей та теоретичних досліджень реальним процесам. Ключові слова: пакувальна одиниця; групова упаковка; пакувальна машина; функціональний модуль; теорія графів; мережна циклограма; синхронограма; раціональні параметри; харчові продукти.

#### **АННОТАЦИЯ**

**Халайджи В.В. Научное обоснование параметров оборудования для группового упаковывания пищевых продуктов: — Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 — процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2011.

Диссертация посвящена созданию научных основ проектирования и совершенствования оборудования для группового упаковывания пищевых продуктов.

Проведенный анализ технологических, компоновочных и конструктивных схем машин для группового упаковывания пищевых продуктов показал, что их проектирование не всегда соответствует современным тенденциям развития

групповой упаковки и требованиям рынка упаковочного машиностроения, а также выявил потребность в разработке научно обоснованных методов определения рациональных параметров основных функциональных модулей этих машин.

Установлено, что для создания специализированных линий группового упаковывания большой производительности, целесообразно использовать технологический процесс упаковывания, построенный на дифференциации операций. В таких линиях операциями, которые лимитируют производительность и функциональность, являются операции перегрузки и ориентирования упаковочных единиц и операции формирования структурных элементов групповой упаковки на магистральном конвейере.

На основе оценки вероятности отказа транспортной системы, то есть вероятности столкновения упаковочных единиц на магистральном конвейере, определены рациональные значения скорости движения несущих элементов магистрального конвейера. Установлено, что за счет увеличения скорости магистрального конвейера можно получить большие значения вероятности безотказной работы транспортной системы. Выполненные аналитические исследования пропускной способности транспортной системы с криволинейными участками позволили получить математические зависимости, с помощью которых можно определить рациональные геометрические параметры этих криволинейных участков. Разработана математическая модель операций формирования структурных элементов групповой упаковки на магистральном конвейере, которая дает возможность определить рациональные геометрические, кинематические и силовые параметры устройства формирования структурных элементов. Применяв кибернетический метод оценки влияния факторов на выходные параметры, проведен активный дробно-факторный эксперимент с применением математических моделей, описывающих операцию формирования структурных элементов на магистральном конвейере. Полученные уравнение регрессии и полиномиальное уравнение позволяют эффективно управлять операцией формирования структурных элементов групповой упаковки. Установлено влияние структурно-механических характеристик упаковочных единиц на параметры операций формирования структурных элементов групповой упаковки.

При выполнении анализа и синтеза оборудования для групповой упаковки уместно применять топологический метод анализа технической системы. Использование теории графов дает возможность определить рациональную технологическую, компоновочные и конструктивные схемы машин группового упаковывания при различных критериях эффективности, в том числе и при минимальных затратах энергии. В работе разработана методика оптимизации параметров сетевой циклограммы машин для группового упаковывания, которая позволяет уменьшить продолжительность кинематического цикла выполнения операций процесса. Методика оптимизации параметров синхронно граммы адаптирована к особенностям работы упаковочного оборудования, что способствует поиску путей повышения производительности машины в целом. Для определения рациональных параметров механизма переориентирования выполнен структурный анализ механизма, определены оптимальные соотношения звеньев, установлен оптимальный закон движения транспортной тары при условии целостности групповой упаковки, исследованы кинематика и динамика устройства, выполненного на основе одноприводного колебательного пневмоцилиндра.

Експериментально определены значения реологических коэффициентов для мягких и полужестких упаковок с сыпучей продукцией, применение которых в математических моделях позволило уточнить длительность и путь перемещения упаковочных единиц.

Выполнена проверка адекватности математических моделей, описывающих оптимальный закон движения заполненной транспортной тары в устройствах переориентации. Приведены рекомендации по использованию результатов исследований при создании эффективных образцов оборудования для группового упаковывания.

Ключевые слова: упаковочная единица; групповая упаковка; упаковочная машина; функциональный модуль; теория графов; сетевая циклограмма; синхрограмма; рациональные параметры; пищевые продукты.

### ABSTRACT

**Khalaydzh V. Scientific substantiation parameters of equipment for group packaging of food: - Manuscript.**

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.18.12 - processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical industries. National University of Food Technologies, Kyiv, 2011.

Dissertation is devoted to the creation of scientific bases of designing and improving the equipment for group packaging of food.

It is established functional dependence between the parameters feeding and main conveyor of lines for packaging group based on the analysis schemes and probability theory. It is developed and reasonable the method of choice of rational geometric parameters of curved sections of the transport system. It is developed a mathematical model of modeling the structural elements of the package group on the main conveyor, considering the physical and mechanical characteristics of the packing units. It is done the analysis of technological structural and kinematic patterns of machines for packing group based on the topological method. It is done mathematical modeling of the operations realignment filled transport packages. confirmed It is confirmed the adequacy of mathematical models and theoretical investigations of the actual processes through experiments.

Keywords: packing unit, group packaging, packaging machine, a functional module, graph theory, network cyclegram; synchrogram; rational parameters; food.

Підп. до друку 08.02.2012 р.

Формат 60x90 1/16. Папір офсетний № 2

Друк трафаретний.

0,75 облік.-вид. арк..1 умовн. друк. арк.

Тираж 100 екз. Замовлення № 89

---

Віддруковано в міні-типографії ФОП Степенко А.О.

Свідоцтво про реєстрацію №866503

02660, м. Київ, вул. М.Расковой, 11Б

Тел.: (044) 223-29-39, e-mail: 2238179@ukr.net, <http://poligrafiya-pereplet.kiev.ua/>