

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ДЕРЕНІВСЬКА АНАСТАСІЯ ВАСИЛІВНА**



**УДК 663/664.04.3**

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ  
ПАКУВАННЯ СИПКОЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ В КАРТОННІ ПАЧКИ**

05.18.12 – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та  
фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Київ – 2016**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Гавва Олександр Миколайович**,  
Національний університет харчових технологій  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри машин і апаратів харчових та  
фармацевтичних виробництв

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Паламарчук Ігор Павлович**,  
Вінницький національний аграрний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри процесів та обладнання пере-  
робних і харчових виробництв ім. проф.  
П.С. Берника

кандидат технічних наук, доцент  
**Шоловій Юрій Петрович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України,  
доцент кафедри механіки та автоматизації машино-  
будування

Захист відбудеться «17» березня 2016 року о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А – 310.

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

Автореферат розісланий «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 року.

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



Л.О. Кривопляс-Володіна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В останнє десятиріччя відмічено стрімке зростання видів сипкої харчової продукції. Для її зберігання, транспортування та реалізації використовують різні види та типи упаковки. Актуальною тенденцією, з точки зору екології та відновлювальних ресурсів, є зростання попиту на картонну упаковку.

Відмінність конструкцій обладнання для пакування сипкої харчової продукції в картонні пачки зумовлена не лише різними структурно-механічними характеристиками продукції, умовами дозування та фасування, конструкцією споживчої тари, а й відсутністю цілісного науково обґрунтованого методологічного підходу до його проектування. Існуючі дослідження носять фрагментарний характер і відображають наукові дослідження, що стосуються окремих операцій та робочих органів такого типу пакувального обладнання. Проектування новітнього пакувального обладнання потребує комплексного підходу до визначення його структури, взаємодії робочих органів функціональних модулів та вибору їх раціональних геометричних та кінематичних параметрів. Такий принцип проектування визначає актуальність даної роботи і забезпечує не тільки відповідність функціональних модулів критеріям ефективності (надійність, енерговитрати, продуктивність і точність дозування), а й дає можливість вибирати оптимальні технологічні схеми, компоновання та конструкцію пакувального обладнання для сипкої харчової продукції.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетного напрямку наукових робіт НУХТ, зокрема до теми: «Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення нових високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових та переробних галузей АПК» (схвалено вченою радою НУХТ, протокол № 7 від 25.03.2006) та пов'язана з планом науково-дослідної роботи кафедри технічної механіки та пакувальної техніки НУХТ «Розроблення складових сучасних технологій та процесів виготовлення пакувальних матеріалів і упаковки, підготовки харчової продукції до фасування і синтез машин для пакування та переробки упаковки», а також держбюджетної фундаментальної науково-дослідної роботи «Наукові засади оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури машин для пакування харчових продуктів» (шифр держреєстрації 0112U007798).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є наукове обґрунтування структури машини для пакування сипкої харчової продукції в картонну пачку, геометричних, кінематичних та динамічних параметрів типових функціональних модулів такого обладнання.

У відповідності з поставленою метою сформульовані такі завдання досліджень:

- проаналізувати існуючі конструкції машин для пакування сипкої харчової продукції у картонні пачки та розробити їх технологічні та структурні схеми;
- виконати синтез структури таких машин та їх функціональних модулів;
- проаналізувати зв'язок між критеріями ефективності і структурою пакувальної машини;

- визначити раціональні геометричні та кінематичні параметри робочих органів дозувально- фасувального модуля пакувальної машини й оцінити їх вплив на точність дозування продукції;
- дослідити розкриття плоскоскладеної заготовки пачки різними видами робочих органів;
- дослідити переміщення картонних пачок в лінійних та роторних транспортних системах пакувальної машини із карманными носіями та удосконалити їх конструкцію;
- дослідити переміщення картонної пачки шнековими конвеєрами внутрішньо-машинної транспортної системи та визначити їх раціональні геометричні і кінематичні параметри;
- розробити експериментальні установки та провести дослідження характерних операцій функціональних модулів машин для пакування сипкої харчової продукції в картонну пачку.

**Об'єктом досліджень** є структура пакувальної машини, основні та допоміжні операції процесу пакування сипкої харчової продукції в картонні пачки.

**Предметом досліджень** є геометричні, кінематичні та динамічні параметри робочих органів функціональних модулів пакувальних машин та їх зв'язок із критеріями ефективності пакувальної машини модульної побудови для пакування сипкої харчової продукції в картонні пачки.

**Методи досліджень.** Аналітичні дослідження проводились комплексним методом із врахуванням функціонально- модульного принципу будови пакувальної машини. Для аналізу параметрів технологічної схеми пакування використано топологічний метод. У теоретичних дослідженнях геометричних, кінематичних та динамічних параметрів типових функціональних модулів використано результати досліджень процесів переміщення сипкої харчової продукції, динаміки руху твердого тіла, пневматики, теорії чисельних методів вирішення нелінійних задач.

Експериментальні дослідження проведені у лабораторних та виробничих умовах з використанням теорії планування експерименту. Оброблення експериментальних даних та розрахунки виконувались у програмних пакетах *Microsoft Excel*, *MathCad* із використанням статистичних методів обробки результатів. Імітаційне моделювання процесу переміщення сипкої харчової продукції з випускного каналу бункера виконане в програмному пакеті *Universal Mechanism* із наступним експериментальним підтвердженням отриманих результатів.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в науковому обґрунтуванні структури машини для пакування сипкої харчової продукції в картонну пачку та визначенні раціональних геометричних й кінематичних параметрів її функціональних модулів, у тому числі:

- розроблено алгоритм проведення аналізу і синтезу технологічних та структурних схем машин для пакування сипкої харчової продукції у картонні пачки та їх функціональних модулів із застосуванням топологічного методу, що дає можливість створювати ефективне пакувальне обладнання;
- встановлено функціональні зв'язки між критеріями ефективності (надійність, енерговитрати та точність дозування) і структурою машини для пакування сипкої

харчової продукції в картонну пачку;

- розроблена математична модель переміщення заслінки бункера, яка забезпечує зміну інтенсивності видачі продукції з бункера відповідно до зміни режимів роботи дозувально- фасувального модуля;
- встановлено функціональні залежності між швидкістю переміщення сипкої харчової продукції на вібраційному та стрічковому живильниках та розташуванням зважувальної ємності й точністю дозування;
- розроблена математична модель переміщення частинок сипкої харчової продукції з живильника в центр зважувальної ємності за допомогою орієнтуючої напрямної;
- аналітично виконано оцінку взаємодії робочих органів пристрою формоутворення пачки, виконаних у вигляді штовхача, поворотного захвату, вакуумного поворотного захвату, системи криволінійна напрямна та вакуумний захват при розкритті плоскоскладеної заготовки;
- науково обґрунтовано нове технічне рішення транспортної системи для переміщення картонних пачок карманными носіями з поворотними фіксуючими захватами;
- запропоновано аналітичні залежності для визначення раціональних геометричних і кінематичних параметрів шнекових конвеєрів внутрішньомашинної транспортної системи для переміщення картонних пачок.

**Практичне значення одержаних теоретичних і експериментальних досліджень результатів полягає у:**

- розроблена методика структурного синтезу машин для пакування сипкої харчової продукції у картонні пачки функціонально-модульної побудови;
- встановлено основні шляхи зменшення динамічної складової похибки дозування;
- визначено раціональні геометричні, кінематичні та силові параметри основних функціональних модулів пакувальної машини;
- результати дисертаційної роботи були надані для використання під час проектування обладнання для пакування сипкої харчової продукції в картонну пачку на провідні підприємства пакувальної індустрії. Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів досліджень складатиме: ТОВ «Пакувальні технології» - 9,53 тис.грн.; ТОВ «ЕлоПак» - 5,42 тис.грн.; ТОВ «НВП ІНТА» - 8,3 тис.грн.; ТОВ «ФУД ТЕХ ІНЖІНІРІНГ» - 12,5 тис.грн. на одну машину.
- результати дисертаційної роботи були впроваджені в навчальний процес Національного університету харчових технологій і використовуються на практичних заняттях дисципліни «Пакувальне обладнання» для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» та з дисциплін «Розрахунок і конструювання пакувального обладнання», «Обладнання для виготовлення упаковки» для студентів спеціальності 7/8.05050206 «Машини та технології пакування», а також в курсовому, дипломному проектуванні та магістерських роботах.

**Особистий внесок здобувача** полягає у виконанні теоретичних та експериментальних досліджень, узагальненні результатів та їх публікацій.

Здобувачем було створено спеціальні експериментальні установки для проведення досліджень з визначення швидкості переміщення сипкої харчової продукції та тривалості її ущільнення в пачці.

Розроблення технологічних та структурних схем функціональних модулів машин для пакування сипкої харчової продукції у картонну пачку та патентування технічних рішень виконувалось у співавторстві з науковим керівником д.т.н., проф. Гаввою О.М., співвиконавцями держбюджетної теми: к.т.н., доц. Кривопляс-Володіною Л.О., к.т.н., доц. Волчком А.І., к.т.н., доц. Маслом М.А. та к.т.н., доц. Любімовим В.М.

Аналіз та узагальнення результатів досліджень виконано разом з науковим керівником д.т.н., проф. Гаввою О.М.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались і обговорювались на: конференції з міжнародною участю «Харчова наука, техніка і технології» (Пловдив, Болгарія, 2014), міжнародній науково-практичній конференції «Переробка та управління якістю сільськогосподарської продукції» (Мінск, Білорусь, 2015); міжнародній науковій конференції, присвяченій 130-річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості» (м. Київ, НУХТ, 2014); міжнародній спеціалізованій науково-практичній конференції (м. Київ, НУХТ, 2014), науково-практичній конференції молодих вчених «Новітні технології пакування» (м. Київ, НУХТ, 2014, 2013), міжнародній спеціалізованій науково-практичній конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності» (м. Київ, НУХТ, 2015, 2014, 2013), міжнародній науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (м. Київ, НУХТ, 2014, 2013).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 24 наукові праці, з них: 1 монографія, 10 статей у фахових виданнях України (в тому числі одна стаття в наукометричній базі Index Copernicus і одна стаття – в РИНЦ), 6 статей у зарубіжних виданнях, одержано 7 патентів України на винахід.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний зміст дисертаційної роботи викладений на 142 сторінках, у тому числі містить 59 рисунків і 3 таблиці. До роботи додається 5 додатків на 83 сторінках. Список використаних літературних джерел містить 151 найменування.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульована мета та основні завдання досліджень, наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, проаналізовано основні тенденції розвитку пакувального машинобудування.

**У першому розділі** проаналізовано інформаційні науково-технічні джерела, присвячені дослідженням обладнання для пакування сипкої харчової продукції (СХП) у картонну пачку, особливостям технологічного процесу та основним конструкційним схемам функціональних модулів пакувальної машини (ПМ), компонуванню внутрішньомашинних транспортних систем, особливостям реологічних характеристик сипкої продукції. На основі аналізу літературних джерел встановлено, що існуючі наукові дослідження мають фрагментарний характер і стосуються окремих операцій та відповідних робочих органів пакувального обладнання. Конструювання новітнього конкурентоспроможного обладнання для

пакування СХП в картонну пачку потребує комплексного підходу до визначення його структури, взаємодії робочих органів з об'єктами пакування та вибору їх раціональних геометричних та кінематичних параметрів.

У другому розділі проведено оцінювання структури машин для пакування СХП в картонні пачки з врахуванням коефіцієнтів ефективності функціональних модулів (ФМ).

Вибір раціональної структури ПМ проводився на основі її структурної моделі з використанням наступних критеріїв ефективності: надійність, енерговитрати, продуктивність і точність дозування.

При пошуку можливих шляхів підвищення ефективності роботи ПМ велике значення має оцінка втрат продуктивності за допомогою критерію надійності. Критерій надійності оцінювався за допомогою коефіцієнту готовності  $K_G$  типових функціональних модулів, які визначалися експериментально у виробничих умовах, та коефіцієнту готовності ПМ (рис.1).

Для визначення енерговитрат побудована топологічна модель технологічного процесу пакування машини АПС-35 з роторною транспортною системою у вигляді спрощеного сигнального графа (рис.2). На його основі записано у явному вигляді компонентне рівняння системи, що відображає характер зв'язків між масовими та енергетичними потоками, які проходять через ФМ, та дає можливість визначити відносне споживання ними енергії (рис.3):

$$\begin{pmatrix} S_{e8} \\ S_{e\Sigma 1} \\ S_{e12} \\ S_{e\Sigma 2} \\ S_{e10} \\ S_{e\Sigma 3} \\ S_{e14} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{16} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_{10} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{17} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{14} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} S_{fk} \\ S_{fnom} \\ S_{fk} \\ S_{fn} \\ S_{fn,\kappa} \\ S_{fn,\kappa,\delta} \\ S_{fn,2\kappa,\delta} \end{pmatrix} \quad (1)$$

де  $S_{fk}$ ,  $S_{e8,12}$  – відповідно потік маси клею та витрати енергії, що споживається пристроєм нанесення клею на клапани пачки;  $S_{fnom}$ ,  $S_{e\Sigma 1}$  – відповідно потік маси продукції та витрати енергії, що споживається живильником та механізмом фасування;  $S_{fn}$ ,  $S_{e\Sigma 2}$  – відповідно потік маси продукції та витрати енергії, що споживається при формуванні картонної пачки з плоскоскладеної заготовки;  $S_{fn,\kappa}$ ,

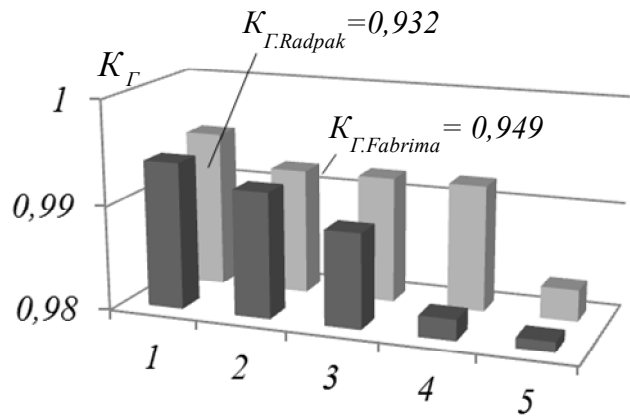


Рис. 1. Гістограма надійності функціональних модулів: 1. подачі плоскоскладених заготовок в ПМ; 2. внутрішньомашинного переміщення пачки; 3. виділення одиної ПСЗП за допомогою вакуумних захватів; 4. підгинання клапанів дна (кришки) пачки і нанесення клею; 5. дозувально-фасувальний, -машин Radpak LTD-RKV-10S AB для пакування солі в картонні пачки та FABRIMA Vertical cartoner для пакування сипкої продукції в картонні пачки.

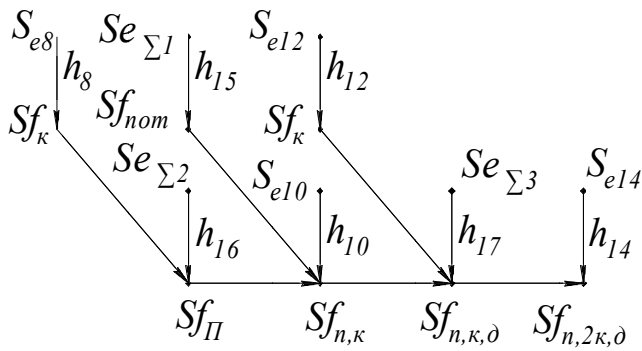


Рис. 2. Кінцевий вигляд сигнального графа технологічного процесу пакування СХП в пачку.

$S_{fn,k,d}$ ,  $S_{fn,2k,d}$  та  $S_{e10}$ ,  $S_{e\Sigma3}$ ,  $S_{e14}$  – відповідно потік маси пачок (з клейовим швом на

дні, з клейовим швом на дні та продукцією, з клейовими швами на дні та кришці й продукцією) та втрати енергії при їх переміщенні, що споживаються на різних ділянках транспортної системи ПМ;  $h_i$  – передаточні функції відповідних гілок спрощеного сигнального графа.

Використовуючи властивість структури машин змінювати свої параметри від критеріїв ефективності, попередньо сформовану базу даних її складових елементів (механізмів, пристроїв та функціональних модулів з визначеними критеріями ефективності) можна, застосувавши методи синтезу, вийти на раціональну структуру ПМ.

Проведені дослідження енерговитрат і надійності ФМ обумовили постановку задач досліджень у розділі 3.

У **третьому розділі**, з точки зору прийнятих критеріїв ефективності ПМ та того, що дозувально-фасувальний модуль відповідає за одну із основних технологічних характеристик ПМ – точність дозування продукції, проведено дослідження процесу дозування.

При підвищенні продуктивності ПМ збільшується динамічна складова похибки дозування. Для забезпечення нормативної точності дозування за підвищеної продуктивності (до 25 доз/хв одного потоку вагового дозатора) запропонована схема лінійно-вагового дозувально-фасувального модуля (рис. 4), який складається із приймального бункера 1, приводної заслінки 2, живильника 3, обмежувальної напрямної 4, зважувальної ємності 5 зі зважувальним елементом 6, мікроконтролера 7 для систем керування положенням приводної заслінки бункера 8, режимом роботи живильника 9, положенням обмежувальної напрямної 10, а також системи керування 11

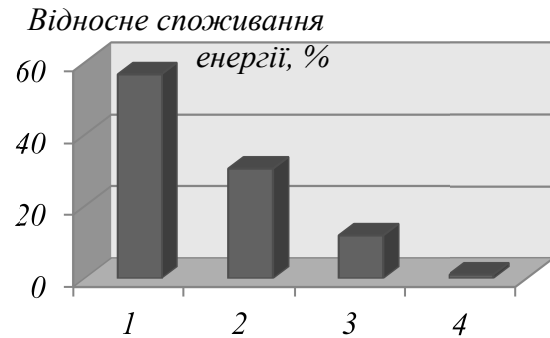


Рис. 3. Гістограма відносного споживання енергії ФМ пакувальної машини АПС-35: 1- транспортна система; 2- дозувально-фасувальний модуль; 3- механізм ущільнення сипкої продукції в пачці; 4- модуль формоутворення пачки із ПСЗП.

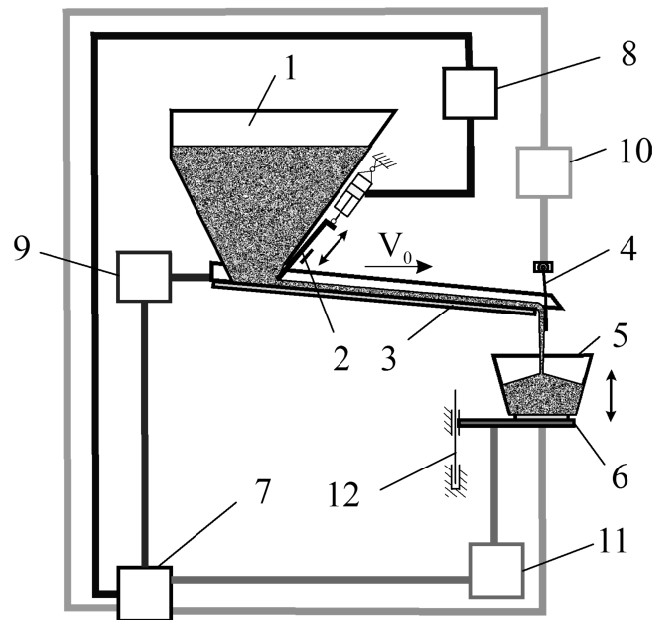


Рис. 4. Схема лінійно-вагового дозувально-фасувального модуля.

механізму 12 зміни положення зважувальної ємності.

На першому етапі дослідження дозувально- фасувального модуля виконано аналіз динаміки переміщення СХП в бункері за припущення, що у зоні обрушення частинок виникає гідравлічний режим її переміщення через випускний канал бункера.

Швидкість переміщення СХП через випускний канал бункера визначається:

$$V_{\text{вих}} = \sqrt{2g \left[ y + x \cdot \left( 1 + \frac{1}{f} - \sqrt{1 + f^2} \right) \right] / (1 + \xi)}. \quad (2)$$

Для виконання умови рівності інтенсивності переміщення СХП із випускного каналу бункера та живильником необхідна швидкість відведення продукції живильником при заданій товщині шару продукції дорівнює:

$$V_0 = \frac{2}{3} \cdot \delta \cdot \cos(\varphi) \cdot \sqrt{\left[ h_k / (K + f) \right]^3} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (K_I + f) / (\xi + 1)}, \quad (3)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\xi$  – коефіцієнт місцевих втрат Дарсі-Вейсбаха при русі СХП в зоні обрушення частинок, що характеризує втрати кінетичної енергії потоку продукції при зіткненні її частинок між собою;  $f$  – внутрішній коефіцієнт тертя продукції;  $x, y$  – координата входження частинки в зону обрушення;  $\delta$  – товщина шару продукції на робочому органі живильника;  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя сипкої продукції;  $h_k$  – висота випускного каналу;  $K, K_I$  – безрозмірні коефіцієнти.

Для забезпечення зміни інтенсивності переміщення СХП через випускний канал бункера відповідно до різних режимів роботи дозувально- фасувального модуля (грубе чи тонке дозування) розроблена математична модель переміщення заслінки бункера, приводом якої є пневмоциліндр:

$$\begin{cases} M_{np} \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 \cdot F_1 - p_2 \cdot F_2 - p_a \cdot (F_1 - F_2) - F_m; \\ \frac{dp_1}{dt} = \frac{k \cdot f_{L1} \cdot \sqrt{R_g \cdot T_M \cdot (p_M^2 - p_1^2)}}{F_1 \cdot (x + x_{01}) \cdot \sqrt{\xi_1}} - \frac{k \cdot p_1}{x + x_{01}} \cdot \frac{dx}{dt}, \\ \frac{dp_2}{dt} = -k \cdot f_{L2} \cdot \frac{\sqrt{R_g \cdot T_2 \cdot (p_2^2 - p_a^2)} \cdot (p_2 / p_m)^{\frac{k-1}{2k}}}{F_2 \cdot (S - x + x_{02}) \cdot \sqrt{\xi_2}} - \frac{k \cdot p_2}{S - x + x_{02}} \cdot \frac{dx}{dt}, \end{cases} \quad (4)$$

де  $M_{np}$  – приведена маса рухомих частин шиберної заслінки та позиційного пневмоприводу;  $x$  – поточне значення переміщення штока позиційного пневмоприводу;  $t$  – тривалість переміщення штока позиційного пневмоприводу;  $p_1, p_2$  – тиск в поршневій та штоковій камерах;  $p_a$  – атмосферний тиск;  $F_1$  – площа поперечного перерізу поршня,  $F_2$  – корисна торцева площа поршня;  $k$  – коефіцієнт переміщення сипкої продукції;  $f_{L1}$  – площа перерізу вхідної пневмомагістралі;  $f_{L2}$  – площа перерізу вихідного трубопроводу;  $T_2$  – температура повітря, що відводиться із пневмоциліндра;  $T_M$  – температура повітря в магістралі;  $R_g = 287$  – питома газова стала, Дж / (кг · К);  $S$  – робочий хід штоку;  $x_{01}, x_{02}$  – приведена початкова (кінцева) координата положення поршня;  $\xi_1, \xi_2$  – коефіцієнт опору вхідного (вихідного) трубопроводу;  $F_m$  – результуюча сила опору переміщення заслінки.

Розв'язок системи рівнянь (4) дає змогу визначити функцію керування рухом заслінки.

На другому етапі досліджували вплив кінематичних і динамічних параметрів живильника і зважувальної ємності на точність дозування. Під час наповнення ємності продукцією на зважувальний елемент діє статичне і динамічне навантаження. Динамічне навантаження залежить і від висоти падіння продукції. Для вібраційного і стрічкового живильників отримані залежності для визначення кінцевого рівня шару продукції у зважувальній ємності:

- для дозатора з вібраційним живильником:

$$y_k = \lambda \cdot V_0^2 \cdot \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 + \sin^2(\alpha)} \right) / g, \quad (5)$$

- для дозатора з стрічковим живильником:

$$y_k = (\lambda \cdot V_0)^2 / g + R - 0,25 \cdot (\pi - 2\alpha) \cdot (\delta + 2R) + \dots \\ \dots + \lambda \cdot V_0 / g \cdot \sqrt{V_0^2 \cdot (1 + \lambda^2) - g \cdot (0,5\pi - \alpha) \cdot (\delta + 2R) + 4g \cdot R \cdot \sin^2(0,5\alpha)}, \quad (6)$$

де  $\lambda$  – аеродинамічний коефіцієнт опору повітря потоку продукції;  $\alpha$  – кут нахилу живильника до горизонту;  $R$  – діаметр барабану конвеєра із стрічкою.

Рациональне значення розташування зважувальної ємності:

$$y_0 = y_k + 2H/3. \quad (7)$$

Динамічна складова похибки дозування:

- для дозатора з вібраційним живильником:

$$\varepsilon = \gamma \cdot \delta \cdot B / (M_\delta \cdot g) \cdot \left| y \cdot g - \lambda \cdot V_0 \cdot \sqrt{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha + 2 \cdot y \cdot g} \right| \cdot 100 \%, \quad (8)$$

- для дозатора з стрічковим живильником:

$$\varepsilon = \gamma \cdot \delta \cdot B / (M_\delta \cdot g) \cdot \left| \lambda \cdot V_0 \cdot \sqrt{V_0^2 + 2 \cdot g \cdot (y - R \cdot \cos \alpha)} + \dots \right. \\ \left. \dots + g \cdot (R - y + (R + 0,5 \cdot \delta) \cdot (\alpha - 0,5 \cdot \pi)) \right| \cdot 100 \%. \quad (9)$$

У процесі переміщення СХП у зважувальну ємність при різних режимах роботи дозувально-фасувального модуля потік продукції відхиляється від своєї початкової траєкторії, що збільшує похибку на зважувальному елементі.

Метою дослідження було забезпечити падіння потоку продукції при грубому і тонкому дозуванні в центр зважувальної ємності. Для вирішення цієї задачі прийнято припущення про можливість встановлення рухомої напрямної площини. На основі аналітичних досліджень отримані залежності для опису конфігурації напрямної.

Кут нахилу обмежувальної напрямної при зміні режиму роботи дозувально-фасувального пристрою знаходиться в межах  $\varphi_m \leq \varphi_n \leq \varphi_z$ :

$$\begin{cases} \varphi_m = \arctg [(x_{\text{кон}} - X_0) / y_{\text{кон}(m)}]; \\ \varphi_z = \arctg [(x_{\text{кон}} - X_0) / y_{\text{кон}(z)}], \end{cases} \quad (10)$$

де  $\varphi_m$ ,  $\varphi_z$  – відповідно кут для тонкого та грубого дозування.

Координати точки удару частинок продукції по обмежувальній напрямній:

$$\begin{cases} x_{\text{кон}} = 0,5g \cdot V_{0(m)} \cdot \cos(\alpha) \cdot \{[(V_{0(m)} \cdot \sin(\alpha))^2 + 4 \cdot g \cdot y_k]^{0,5} - V_{0(m)} \cdot \sin(\alpha)\}; \\ y_{\text{кон}(m,z)} = \tg(\alpha) \cdot x_{\text{кон}} + g \cdot (x_{\text{кон}})^2 / [V_{0(m,z)} \cdot \cos(\alpha)], \end{cases} \quad (11)$$

де  $V_{0(m,z)}$  – швидкість переміщення сипкої продукції транспортною системою живильника при тонкому та грубому дозуванні.

Координати центра обертання обмежувальної напрямної визначаються за умови забезпечення зміни режимів роботи дозувально- фасувального пристрою:

$$\begin{cases} X_0 = x_{\text{кон}} + [y_{\text{кон}(m)} - y_{\text{кон}(\varphi)}] / [tg(\varphi_{\text{в}(\varphi)}) - tg(\varphi_{\text{в}(m)})]; \\ Y_0 = [y_{\text{кон}(m)} \cdot tg(\varphi_{\text{в}(\varphi)}) - y_{\text{кон}(\varphi)} \cdot tg(\varphi_{\text{в}(m)})] / [tg(\varphi_{\text{в}(\varphi)}) - tg(\varphi_{\text{в}(m)})], \end{cases} \quad (12)$$

де  $\varphi_{\text{в}(m,\varphi)}$  – значення кута відбиття частинки продукції від обмежувальної напрямної відповідно при тонкому та грубому дозуванні.

Рівняння твірної лінії обмежувальної напрямної описується рівнянням:

$$Y_n = y_{\text{кон}} + tg(\varphi_{\text{в}(m,\varphi)}) \cdot [X_n - x_{\text{кон}}], \quad (13)$$

де  $(X_n, Y_n)$  – координати точок твірної лінії обмежувальної напрямної.

При фасуванні продукції в картонну пачку у верхній її частині утворюється гірка продукції. Для забезпечення високого значення заповнення пачки продукцією (до 95%) майже в усіх ПМ встановлюють механізм ущільнення СХП в пачці. Критерієм оцінювання роботи цього механізму можна прийняти коефіцієнт ущільнення  $K_y$ . Він знаходиться з залежності, що описує зміну форми гірки продукції в пачці:

$$y(t) = A_0 \cdot e^{-\beta_3 \sqrt{t}} \cdot \sin(2\pi t/T), \quad (14)$$

де  $A_0, T_0$  – координати функції, що описує поверхню гірки продукції на початку ущільнення при  $t = 0$ ,  $\beta_3$  – коефіцієнт затухання,  $t$  – поточна тривалість ущільнення,  $T$  – загальна тривалість ущільнення.

Коефіцієнт ущільнення розраховується за формулою:

$$K_y = (H_{\text{д.у}} - H_{\text{н.у}}) / H_{\text{д.у}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

де  $H_{\text{д.у}}$  та  $H_{\text{н.у}} = y(t)$  – висота гірки сипкої продукції до та після ущільнення.

Отримана формула (15) дає можливість попередньо визначити на скільки зменшиться висота гірки СХП в картонній пачці при її ущільненні за рахунок направленої дії вібраційних коливань.

Виконані дослідження дозувально- фасувального модуля дали можливість визначити раціональні значення геометричних, кінематичних і динамічних параметрів його робочих органів відповідно до режимів роботи та знизити динамічну складову похибки дозування на 45%.

**У четвертому розділі** наведено результати дослідження формоутворення картонної пачки із плоскоскладеної заготовки.

При розкритті плоскоскладеної заготовки пачки (ПСЗП) робочий орган пристрою формоутворення повинен подолати моменти сил опору в лініях бігування, сили інерції рухомих елементів пачки та статичні зусилля.

Дослідження проведене при застосуванні таких видів робочих органів: штовхач, поворотний захват, вакуумний поворотний захват, криволінійні напрямні (рис. 5). Необхідне зусилля розкриття заготовки поворотним захватом можна визначити із залежності:

$$F_{\text{пов.зах}} = \frac{2(\varphi_0 + \varphi_p)(M_A + M_B) + (B_n \cdot \dot{\varphi}_p)^2 \cdot (3m_1 + 2m_{2,4}) / 6}{6\varphi_p \cdot [\cos(\Phi - \Phi_{\text{зах}}) - f \cdot \sin(\Phi - \Phi_{\text{зах}})]}, \quad (16)$$

де  $\varphi_p, \dot{\varphi}_p$  – відповідно кут та кутова швидкість розкриття пачки штовхачем;  $\varphi_0$  – початковий кут розкриття плоскоскладеної заготовки пачки;  $\Phi_{\text{зах}}$  – кут повороту захвату;  $\Phi$  – кут розкриття пачки;  $M_A, M_B$  – питомі моменти опору розкриттю

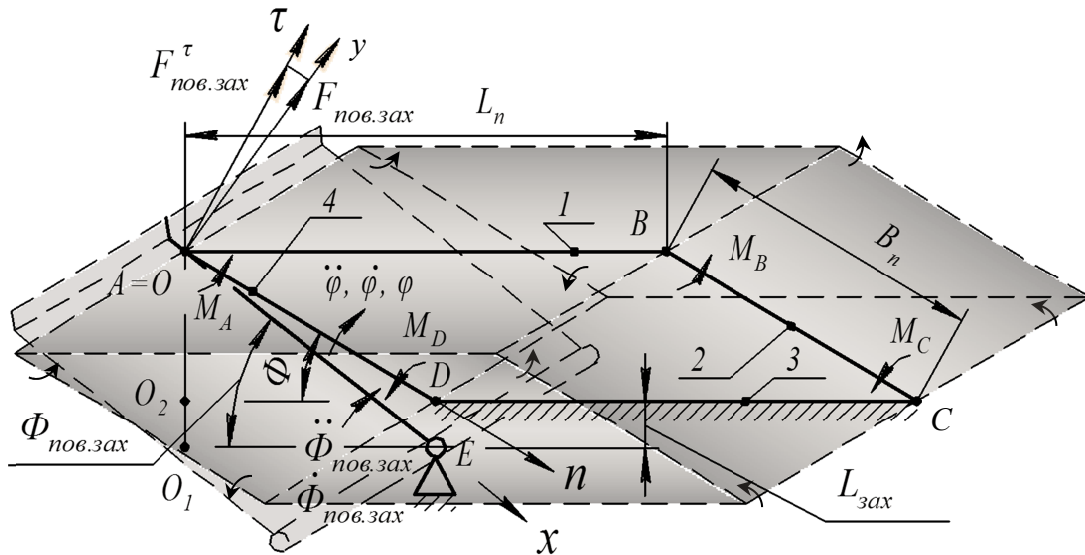


Рис. 5. Схема силового навантаження елементів картонної пачки при її розкритті поворотним захватом.

пачки по лініях бігування відповідно при складених і розкритих гранях пачки;  $B_n$  – ширина пачки;  $m_1$  – маса передньої (задньої) грані пачки;  $m_{2,4}$  – маса бічної грані пачки;  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання ребра пачки по штовхачу.

Для виконання основних технологічних операцій пакування пачка подається в транспортну систему із спеціальними карманными носіями, які дають змогу сумістити технологічні операції транспортування та виготовлення пакованої одиниці. У карманному носії пачка встановлюється з зазором. При переміщенні в транспортній системі з вертикальним розміщенням пачок вони фіксуються бічними напрямними, які створюють додатковий опір, що розвертає та деформує пачки.

Для усунення цього недоліку запропонована нова конструкція носія (рис. 6) з фіксуючими поворотними захватами, які жорстко фіксують пачку та забезпечують її форму у вигляді паралелепіпеда.

Мінімальна величина реактивного моменту в шарнірах  $M_R$ , який потрібний для замикання захватів на кожному із етапів переміщення, визначається із системи

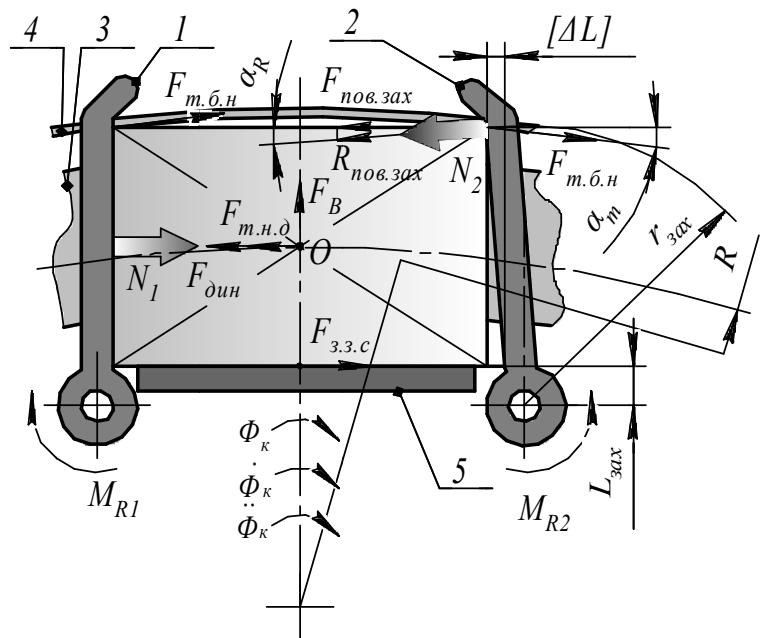


Рис. 6. Схема силового навантаження при переміщенні картонної пачки з продукцією роторною транспортною системою в вертикальних карманных носіях з фіксуючими поворотними захватами: 1- поворотний захват; 2- фіксуючий поворотний захват; 3- нижня несуча площина; 4- бічна напрямна; 5- задня стінка кармана.

рівнянь. Так на етапі розгону:

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_R &= \arctg \left( \frac{[\Delta L]}{B_n + L_{3ax}} \right); & (17) \\ F_{3.3.c} &= f_{3.3.c} \cdot (F_{нов.3ax} \cdot \tg(\alpha_R) - F_B), \text{ якщо } F_{нов.3ax} \cdot \tg(\alpha_R) > M \cdot (\dot{\Phi}_\kappa)^2 \cdot R; & (18) \\ F_{3.3.c} &= 0, \text{ якщо } F_{нов.3ax} \cdot \tg(\alpha_R) \leq M \cdot (\dot{\Phi}_\kappa)^2 \cdot R; & (19) \\ M_{R_1} &= 0,5 \cdot \left[ M \cdot R \cdot \ddot{\Phi}_\kappa + f_{т.н.д} \cdot M \cdot g + F_{нов.3ax} - F_{3.3.c} - M \cdot (\dot{\Phi}_\kappa)^2 \cdot R \cdot f_{б.н} \cdot \cos(\alpha_m) \right] \cdot B_n; & (20) \\ M_{R_2} &= \frac{M \cdot R \cdot \ddot{\Phi}_\kappa + f_{т.н.д} \cdot M \cdot g + F_{нов.3ax} - F_{3.3.c} - M \cdot (\dot{\Phi}_\kappa)^2 \cdot R \cdot f_{б.н} \cdot \cos(\alpha_m)}{\cos(\alpha_R)} \times \dots & (21) \\ &\dots \times \sqrt{[\Delta L]^2 + (B_n + L_{3ax})^2}, \end{aligned} \right.$$

де  $F_{нов.3ax}$  – необхідне зусилля розкриття пачки поворотним захватом на кут  $90^\circ$  (визначається за формулою (16) для  $K_i=1$ );  $\alpha_R$  – кут дії зусилля поворотного захвату;  $f_{т.н.д}$  – коефіцієнт тертя ковзання пачки по нижній несучій напрямній;  $F_{3.3.c}$  – сила тертя зчеплення пачки із задньою стінкою карманного носія;  $f_{3.3.c}$  – коефіцієнт тертя зчеплення пачки із задньою стінкою карманного носія;  $R$  – радіус кривизни траєкторії руху центру мас;  $\dot{\Phi}_\kappa$ ,  $\ddot{\Phi}_\kappa$  – відповідно швидкість і кутове прискорення переміщення карману з пачкою;  $f_{б.н}$  – коефіцієнт тертя ковзання пачки по бічній напрямній;  $M$  – маса пакованої одиниці;  $[\Delta L]$  – максимально можливе відхилення зовнішніх розмірів пачки і внутрішніх розмірів карманного носія, при яких не виникає руйнування картонної пачки по довжині;  $B_n$  – ширина пачки;  $L_{3ax}$  – відстань, яка характеризує положення шарніру поворотного захвату.

Готова пакована одиниця подається на наступні технологічні операції з позиціонуванням за заданим кроком. Для покрокового розміщення пачок доцільно використовувати шнекові транспортні системи (рис. 7).

Результати досліджень кінематичних параметрів переміщення пачки дали можливість встановити мінімально можливу довжину шнекової транспортної системи, яка забезпечує заданий крок між пачками та порівняти приріст кроку між ними (табл.).

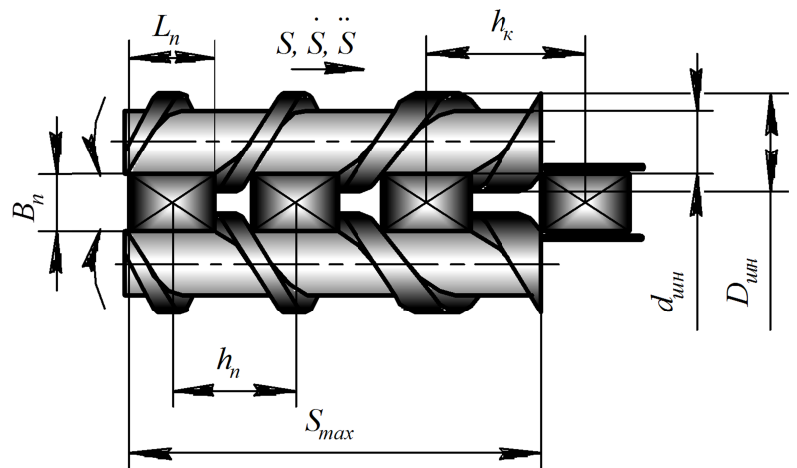


Рис.7. Технологічна схема переміщення картонної пачки шнековим конвеєром зі змінним кроком: 1, 2– шнековий конвеєр зі змінним кроком; 3– картонна пачка.

Таблиця. Залежності для визначення і оцінки геометричних параметрів шнекових конвеєрів

| Мінімально можлива кількість витків шнекового конвеєра                                                                              | Мінімально можлива довжина робочої поверхні шнекового конвеєра | Безрозмірний коефіцієнт максимального приросту кроку між пачками |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Закон переміщення пачки</b>                                                                                                      |                                                                |                                                                  |
| з постійним прискоренням:<br>$n_g = \frac{h_n + h_k}{2h_n}$                                                                         | $S_{max} = \frac{(h_n + h_k)^2}{4h_n}$                         | $k_h = 2k_{te} \cdot (1 - k_{te})$                               |
| із зміною прискорення по косинусоїдальному закону:<br>$n_g = \frac{\pi}{2 \arccos\left(\frac{h_k^2 - h_n^2}{h_n^2 + h_k^2}\right)}$ | $S_{max} = \frac{h_n^2 + h_k^2}{2h_n}$                         | $k_h = \sin\left(\frac{\pi \cdot k_{te}}{2}\right)$              |

У таблиці прийняті такі позначення:  $h_n$ ,  $h_k$  – початковий та кінцевий крок між пачками,  $k_{te}$  – безрозмірний часовий коефіцієнт, який характеризується співвідношенням тривалості видачі пачок та тривалості переміщення пачки в шнековій транспортній системі.

Виконані дослідження дали можливість визначити та розробити методику розрахунку раціональних геометричних, кінематичних та динамічних параметрів внутрішньомашинної транспортної системи ПМ.

У *п'ятому розділі* наведено результати експериментальних досліджень, метою яких було знаходження значень параметрів, що використані при розробленні математичних моделей та перевірка адекватності фізичних і математичних моделей реальним процесам.

Для визначення питомих моментів опору розкриттю заготовки пачки по лінії бігування, залежно від кута розкриття, на приладі Bending Resistance Tester 79-25 Series проведені досліді для різних видів картону (рис. 8).

Для дослідження процесу ущільнення продукції в пачці після фасування створено експериментальну установку, яка здійснює горизонтальні та вертикальні коливання (рис. 9). Отримані залежності для визначення тривалості ущільнення СХП в пачці для продукції з різними кутами природнього відкосу  $\varphi$  залежно від

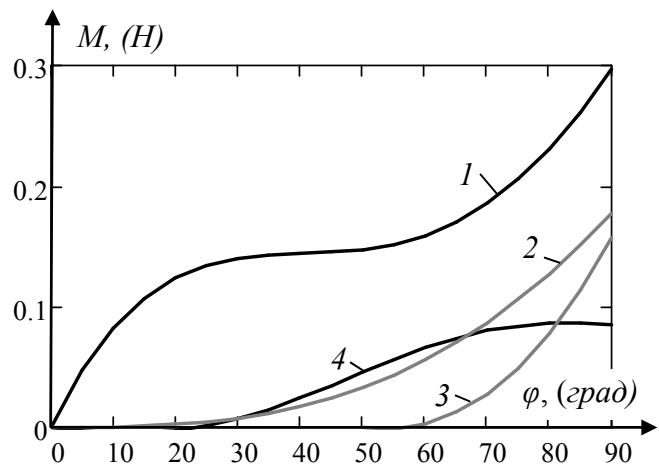


Рис. 8. Апроксимаційні залежності питомих моментів опору розкриттю зразка картону хром-ерзац товщиною 0,35мм по лінії бігування:

1- зразок висічений вздовж машинного напрямку волокон та з розкритими гранями; 2- впоперек машинного напрямку волокон та з розкритими гранями; 3- вздовж машинного напрямку волокон картону через 15 с після розкриття граней; 4- вздовж машинного напрямку волокон та з попередньо складеними гранями.

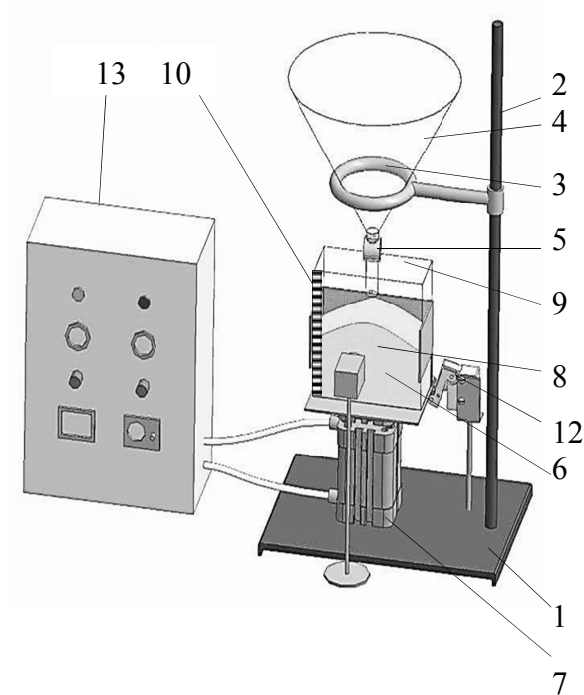


Рис. 9. Експериментальна установка, яка здійснює вертикальні коливання, для проведення дослідження тривалості процесу утрушування СХП в пачці: 1- станина; 2- стійка; 3- кільце; 4- бункер; 5- поворотний кран; 6- сипка продукція; 7- пневмоциліндр Samozzi 32R2A032A030; 8- карман для пачки; 9- прозора полімерна пачка; 10- градуювальна шкала; 11- таймер; 12- контактний датчик положення з механічним робочим органом в вигляді ролика; 13- шафа керування.

режиму ущільнення, напряму, амплітуди  $A$  та частоти коливань  $n$ .

Для вертикального напряму коливань поліноміальна залежність тривалості ущільнення СХП має вигляд:

$$T = 39,847 + 4,183 \cdot A - 3,039 \cdot n - \dots - 0,252 \cdot \varphi - 0,127 \cdot A \cdot \varphi - 1,107 \cdot A \cdot n + \dots + 0,012 \cdot \varphi \cdot n + 0,333 \cdot A \cdot \varphi \cdot n. \quad (22)$$

Для проведення дослідження швидкості переміщення сипкої продукції через бічний випускний канал прямокутного бункера з різним кутом нахилу дна розроблено експериментальну установку (рис.10). Результати експериментів наведені на рис. 11.

Результати проведеного імітаційного моделювання в програмному пакеті *Universal Mechanism*, представлені графіками зміни швидкості переміщення СХП через випускний канал бункера з різними кутами нахилу його дна (рис. 11). Встановлено, що межа відхилень значень швид-

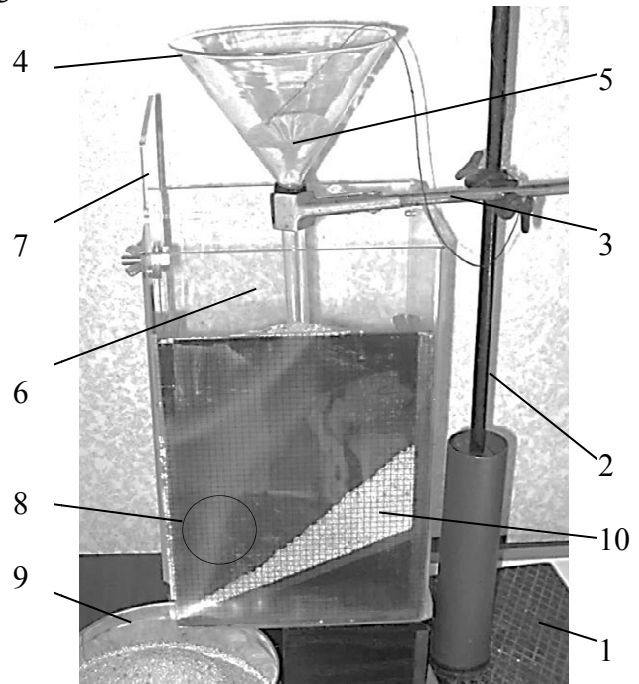


Рис. 10. Експериментальна установка для визначення швидкості переміщення сипкої продукції через бічний випускний канал прямокутного бункера: 1- станина; 2- стійка; 3- захват; 4- бункер- накопичувач; 5- поворотний кран; 6- бункер видачі продукції; 7- активна заслінка; 8- градуювальна шкала; 9- місткість для СХП; 10- СХП.

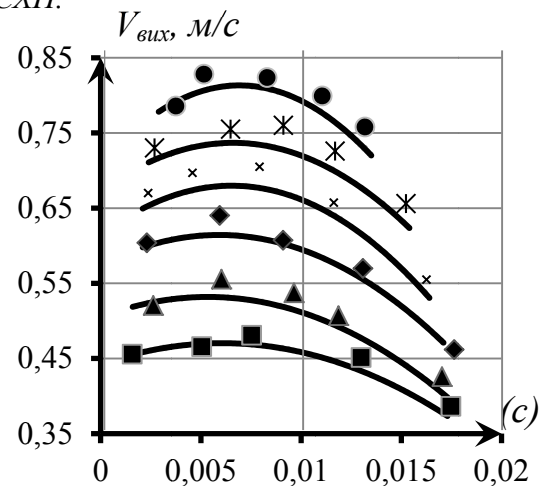


Рис. 11. Графік зміни швидкості витікання СХП через випускний канал бункера з різними кутами нахилу його дна: ■ — 0 град; ▲ — 25 град; ◆ — 35 град; × — 45 град; Ж — 55 град; ● — 65 град; — значення імітаційного моделювання, отримані в програмному пакеті *Universal Mechanism*.

кості переміщення СХП через випускний канал бункера, отриманих під час імітаційного моделювання, порівняно з даними експериментів становить  $\delta \leq 7\%$ , що є допустимим.

Проведені експериментальні дослідження дали змогу науково обґрунтувати визначення раціональних параметрів дозувально- фасувального модуля ПМ, пристрою формоутворення картонної пачки, механізму ущільнення СХП в пачці, внутрішньомашинних транспортних систем з карманими носіями.

## ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу технологічних схем та конструкцій існуючих машин для пакування сипкої харчової продукції в картонні пачки встановлено, що створення новітнього покоління таких машин повинно базуватись на модульному принципі із використанням високопродуктивних функціональних модулів та застосуванням методів синтезу структури машин.
2. У реальних умовах експлуатації проаналізовані технічні критерії ефективності машин для пакування сипкої харчової продукції. Встановлено, що для вибору раціональної структури пакувальної машини достатньо враховувати такі технічні критерії ефективності, як: продуктивність, енерговитрати та точність функціонування (дозування).
3. Застосувавши топологічний метод дослідження матеріальних і енергетичних потоків, що проходять через пакувальну машину, встановлено співвідношення витрат енергії різними функціональними модулями. Основними споживачами енергії є дозувально- фасувальний модуль та модуль формування і транспортування картонної пачки.
4. Проведене математичне моделювання переміщення сипкої харчової продукції в різних структурних елементах дозувально- фасувального модуля (лінійного вагового дозатора) дало можливість одержати аналітичні залежності для визначення: раціональної швидкості переміщення продукції живильником; функції керування заслінкою бункера дозатора; раціонального розташування зважувальної ємності відносно несучої поверхні живильника; конфігурацію та точку закріплення напрямної для направленої руху продукції у зважувальну ємність.
5. Реалізація раціональних кінематичних і геометричних параметрів дозувально- фасувального модуля зменшує складову динамічної похибки дозування на 45-55%.
6. Виконано аналітичні дослідження дії різних видів робочих органів пристрою формоутворення пачки із плоскоскладеної заготовки на її елементи з врахуванням особливостей бігування картону, результатами яких встановлено, що для надійного формування пачки та мінімальної силової дії доречно застосовувати комбіновані робочі органи: активні (вакуум- захоплювальні елементи) та пасивні (напрямні).
7. Теоретично обґрунтовано доцільність застосування і параметри нового технічного рішення карманих носіїв внутрішньо-машинної транспортної систем, що забезпечує якісне формування картонної пачки у формі паралелепіпеда.
8. Виконано аналіз та синтез шнекових конвеєрів внутрішньо- машинних транспортних систем для переміщення пачок, що дало можливість визначити їх раціональні кінематичні та геометричні параметри за умови забезпечення продуктивності і кроку розташування пачки на магістральному конвеєрі.

8. На розроблених установках виконано експериментальні дослідження операції ущільнення сипкої харчової продукції в пачці під дією вібраційних коливань та переміщення сипкої продукції із бокового каналу бункера. Результати досліджень дали можливість одержати поліноміальні рівняння для визначення раціональних параметрів операції та підтвердити адекватність проведених теоретичних досліджень реальним процесам. Відносна похибка вихідних параметрів не перевищує 7-10%.

9. Результати досліджень передані для впровадження під час створення нового пакувального обладнання на провідних підприємствах пакувального машинобудування України: ТОВ «Пакувальні технології» – 9,53 тис. грн.; ТОВ «ЕлоПак» – 5,42 тис.грн.; ТОВ «НВП ІНТА» – 8,3 тис.грн.; ТОВ «ФУД ТЕХ ІНЖІНІРІНГ» – 12,5 тис.грн. на одну машину.

Результати досліджень також впроваджені у навчальний процес Національного університету харчових технологій і використовуються на практичних заняттях дисципліни «Пакувальне обладнання» для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» та з дисциплін «Розрахунок і конструювання пакувального обладнання», «Обладнання для виготовлення упаковки» для студентів спеціальності 7/8.05050206 «Машини та технології пакування», а також в курсовому, дипломному проектуванні та магістерських роботах.

## **ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### ***Монографія:***

1. Функціонально модульне проектування пакувальних машин: монографія/ О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс- Володіна, С.В. Токарчук та ін. – К: Видавництво «Сталь», 2015. – 547 с.

*Особистий внесок дисертанта по п.1: дослідження і аналіз видів картонної та паперової споживчої упаковки, структурних та технологічних схем машин, розробка SADT- моделей машин для пакування сипкої харчової продукції, шляхи підвищення точності дозування лінійного вагового дозатора.*

### ***Статті у наукометричних виданнях:***

2. Гавва О.М. Теоретичні та практичні аспекти підвищення точності дозування сипкої харчової продукції в лінійних вагових дозаторах / О.М. Гавва, А.В. Деренівська, Л.О. Кривопляс-Володіна // Наукові праці НУХТ. – 2013. – №50. – С. 70-77.

*Особистий внесок дисертанта по п.2: дослідження шляхів підвищення точності дозування лінійного вагового дозатора та пошук його раціональних параметрів.*

3. Гавва О.М. Забезпечення заданої інтенсивності переміщення сипкої продукції із бункера в лінійних вагових дозаторах / О.М. Гавва, А.В. Деренівська, Л. О. Кривопляс-Володіна // Вібрації в техніці та технологіях. – 2012. – № 4(68). – С.103- 108.

*Особистий внесок дисертанта по п.3: дослідження кінематичних параметрів переміщення заслінки бункера лінійного вагового дозатора.*

### ***Статті в фахових виданнях:***

4. Гавва О.М. Лінійні вагові дозувальні пристрої дискретної дії для сипкої продукції (обґрунтування раціональних параметрів) / О.М. Гавва, А.В. Деренівська // Упаковка. – 2014. - № 1 (С. 50-54.), №2 (С.42-47).

*Особистий внесок дисертанта по п.4: запропонована схема лінійного вагового дозувального пристрою та проведене комплексне дослідження геометричних, кінематичних та динамічних параметрів його робочих органів.*

5. Гавва О.М. Шляхи зменшення динамічної складової похибки дозування сипкої продукції / О.М. Гавва, А.В. Деренівська, Л.О. Кривопляс-Володіна // Харчова промисловість. – 2013. – №14. – С. 125-130.

*Особистий внесок дисертанта по п.5: дослідження шляхів зменшення похибки дозування за рахунок її динамічної складової.*

6. Гавва О.М. Раціональне компонування лінійних вагових дозаторів для сипкої харчової продукції / О.М. Гавва, А.В. Деренівська, М. А. Масло // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – № 3. – С.183-187.

*Особистий внесок дисертанта по п.6: дослідження раціонального компонування лінійних вагових дозаторів для сипкої харчової продукції.*

7. Гавва О.М. Раціональне розташування зважувальної місткості у вагових дозаторах для сипкої продукції / О.М. Гавва, А.В. Деренівська, М.А. Масло // Упаковка. – 2013. - № 2. – С. 54-57.

*Особистий внесок дисертанта по п.7: дослідження режимної складової динамічної похибки дозування сипкої продукції під час падіння в зважувальну місткість.*

8. Деренівська А.В. Дослідження операції бігування заготовки картонної упаковки/ А.В. Деренівська, М.А. Масло, Г.Р. Валіулін // Харчова промисловість. – 2010. – №9. – С. 177-180.

*Особистий внесок дисертанта по п.8: аналітичне дослідження величини деформації картону в лініях бігування.*

9. Деренівська А.В. Дослідження операції переміщення сформованих картонних пачок з плоскоскладених заготовок карманными носіями в роторних машинах / А.В. Деренівська, Л.О. Кривопляс-Володіна, В.М. Любімов // Харчова промисловість. – 2011. – №11. – С. 90-94.

*Особистий внесок дисертанта по п.9: дослідження формоутворення та переміщення картонної заготовки пачки в карманных носіях транспортної системи пакувальної машини.*

10. Деренівська А.В. Переміщення картонних пачок шнековими конвеєрами у пакувальних машинах / А.В. Деренівська, Л.О. Кривопляс-Володіна, О.М. Гавва, // Упаковка. – 2012. – № 4. – С. 46-48.

*Особистий внесок дисертанта по п.10: обґрунтовано раціональні параметри шнекових конвеєрів внутрішньомашинної транспортної системи пакувальної машини.*

11. Деренівська А.В. Дослідження кінематики операції переміщення упаковки у формі паралелепіпеда за допомогою шнекового конвеєра в пакувальних машинах-автоматах. / А.В. Деренівська, О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна // Харчова промисловість. – 2012. – №13. – С. 180-184.

*Особистий внесок дисертанта по п.11: проведено дослідження коефіцієнтів приросту кроку між пачками та необхідної довжини робочої ділянки шнеків.*

**Статті в закордонних виданнях:**

12. Derenivska A. Optimization of transportation of bulk solids food products in the linear weightfeeder of packing machine / A. Derenivska, O. Gavva, L. Krivoplyas-

Volodina, O. Kokhan // Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. – 2014. - № 3. – P. 20-23.

*Особистий внесок дисертанта по п.12: виконано дослідження процесу орієнтування сипкої продукції при переміщенні її з живильника в зважувальну ємність.*

13. Gavva O. Ways to reduce dosing error of granular products in linear weight dosing machine / O. Gavva, A. Derenivska, L. Krivoplyas-Volodina // Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. – 2013. - № 2. – P. 232-236.

*Особистий внесок дисертанта по п.13: дослідження шляхів та способів підвищення точності дозування сипкої харчової продукції в лінійних вагових дозаторах.*

14. Гавва А. Научное обоснование параметров истечения сыпучей пищевой продукции из выпускного канала бункера в линейных весовых дозаторах. / А. Гавва, А. Дереновская, Н. Масло // Научни трудове. – 2013. – Том 52, серия 10.2. «Биотехнологии и хранительни технологии» – С. 115-119.

*Особистий внесок дисертанта по п.14: дослідження кінематичних параметрів переміщення сипкої продукції через боковий випускний канал прямокутного бункера.*

15. Дереновская А.В. Формообразование картонной пачки в карманных носителях транспортной системы упаковочной машины. / А.В. Дереновская, А.Н. Гавва, А.И. Волчко // Научни трудове. – 2013. – Том XL. – С. 1211-1214.

*Особистий внесок дисертанта по п.15: дослідження процесу формоутворення картоної пачки в карманих носіях транспортної системи.*

16. Derenivska, A. V. Research of the profile's geometry of screw conveyors, which are forming part of transport systems for moving carton packages / A. V. Derenivska, O. M. Gavva, V. M. Lyubimov // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. - 2014. – № 4. – P. 142-146.

*Особистий внесок дисертанта по п.16: дослідження геометрії профілю шнекового конвеєра транспортної системи для переміщення картонних пачок.*

17. Derenivska A. Rationale mode operating of mechanism for compacting bulk products in carton box in automatic packaging machines / A. Derenivska, A. Gavva, L. Kryvoplyas-Volodina // Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. – 2015. – № 6. – P. 7-12.

*Особистий внесок дисертанта по п. 17: аналітичне та експериментальне дослідження зміни висоти гірки сипкої продукції в пачці у процесі її ущільнення.*

#### **Патенти на винаходи:**

18. Патент України на винахід № 95754, МПК (2011.01) B65B 7/00, B65G 47/24 (2006.01). Пристрій для переорієнтування сформованих пакетів / Гавва О.М., Деренівська А.В., Кривопляс- Володіна Л.О., Масло М.А.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № a201013166; заявл. 05.11.2010; опубл. 25.08.2011, бюл. № 16, 2011.

19. Патент України на винахід № 96888, МПК B65B 1/06 (2006.01). Дозувально-фасувальний пристрій для порошкоподібної сипкої продукції / Гавва О.М., Деренівська А.В., Кривопляс- Володіна Л.О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № a201015051; заявл. 14.12.2010; опубл. 12.12.2011, бюл. № 23, 2011.

20. Патент України на винахід № 99501, МПК (2012.01) B65B 7/00 B31B 3/00. Пристрій для переорієнтування картонних пакетів / Гавва О.М., Деренівська А.В.,

Кривопляс- Володіна Л.О., Тищенко Е. А.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № а201008450; заявл. 06.07.2010; опубл. 27.08.2012, бюл. № 16, 2012.

21. Патент України на винахід № 104112, МПК В65В 1/06 (2006.01), G01F 11/10(2006.01). Пристрій для дозування сипких гігроскопічних продуктів / Волчко А.І., Волчко А.А., Деренівська А.В., Кривопляс- Володіна Л.О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № а201303583; заявл. 22.03.2013; опубл. 25.12.2013, бюл. № 24, 2013.

22. Патент України на винахід 106149, МПК В65В 1/06 (2006.01). Пристрій для дозування сипкої продукції / Волчко А.І., Гавва О.М., Захаревич В.Б., Деренівська А.В., Зворська А.В., Волчко А.А.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № а201304266; заявл. 05.04.2013, опубл. 25.07.2014, бюл. № 14, 2014.

23. Патент України на винахід 106150, МПК В65В 1/06 (2006.01). Пристрій для дозування сипкої продукції / Волчко А.І., Гавва О.М., Захаревич В.Б., Деренівська А.В., Зворська А.В., Волчко А.А.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № а201304267; заявл. 05.04.2013, опубл. 25.07.2014, бюл. № 14, 2014.

24. Патент України на винахід 109620, МПК В65В 1/06 (2006.01), В65В 5/06(2006.01), В65В 35/12 (2006.01) Пристрій для дозування штучних виробів сферичної форми / Волчко А. І.; Гавва О.М.; Захаревич В.Б.; Кривопляс-Володіна Л.О.; Деренівська А.В.; Ступак Б.Ю.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – № а201411424; заявл. 20.10.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 17, 2015 р.

*Особистий внесок до п.18-24: патентний пошук, розробка конструкції обладнання, підготовка матеріалів заявок.*

## АННОТАЦІЯ

**Деренівська А. В. Наукове обґрунтування параметрів обладнання для пакування сипкої харчової продукції в картонні пачки: - 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, 2015.

У дисертації виконано аналіз технологічних схем та конструкцій обладнання для пакування сипкої харчової продукції у картонну пачку й існуючих наукових досліджень операцій та його робочих органів із врахуванням функціонально-модульної побудови машини. Встановлено, що із-за складності технологічної топології процесу, відсутнє комплексне наукове обґрунтування вибору раціональних параметрів робочих органів таких пакувальних машин.

Для пошуку раціональної структури та шляхів підвищення ефективності роботи пакувальної машини проведені у виробничих умовах дослідження технічних критеріїв ефективності, тобто критеріїв надійності функціональних

модулів та витрат енергії на виконання технологічних операцій.

Запропоновано алгоритм визначення раціональної структури пакувальної машини шляхом використання методів синтезу моделей пакувальної машини та попередньо формованої бази даних критеріїв ефективності (надійність, енерговитрати, продуктивність та точність дозування).

Визначено раціональні геометричні, кінематичні та динамічні параметри робочих органів дозувально- фасувального модуля, пристрою ущільнення, модуля формоутворення та внутрішньомашинних транспортних систем із карманными носіями й шнековими конвеєрами. Проведені експериментальні дослідження дали змогу підтвердити адекватність визначення цих параметрів.

*Ключові слова:* пакувальна машина, теорія графів, функціональний модуль, сипка харчова продукція, транспортна система, картонна пачка, раціональні параметри, критерій ефективності.

## ANNOTATION

**Derenivska A.V. Scientific substantiation of parameters of equipment for packing bulk food products in carton boxes: - Manuscript.**

The 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 Technology, Kyiv, 2015.

In the thesis the analysis of technological and structural schemes for bulk packaging for food products in carton pack and existing research parameters of its work on the basis of functional and modular construction. It was established that, due to the complexity of the technological process topology, there is no scientific justification for the choice of rational parameters functional module packaging machines.

To search for possible ways to improve the efficiency of the packing machines have been done in a production environment, experimental investigation of reliability criteria defined functional modules and energy costs, which pass through the packaging machine functionalities.

The definition of a rational structure packing machine by using method of synthesis for models packaging machines and pre-formed database performance criteria (reliability, energy consumption, performance and accuracy of dosing).

Rational geometric, kinematic and dynamic parameters of working bodies dosing and packing module sealing device, module and forming inside machine transport systems with handheld media and screw conveyors. And Experimental studies have scientifically substantiate determine these parameters.

*Keywords:* packing machine, graph theory, functional module, bulk food products, transport system, cardboard pack, rational parameters, the criterion of efficiency.

## АННОТАЦИЯ

**Дереновская А.В. Научное обоснование параметров оборудования для упаковывания сыпучей пищевой продукции в картонные пачки: - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2015.

В диссертации выполнен анализ технологических схем и конструкций оборудования для упаковывания сыпучей пищевой продукции в картонную пачку, существующих аналитических и экспериментальных исследований операций и рабочих органов с учетом функционально-модульного строения машин. Установлено, что через сложности технологической топологии процесса, ее многомерности, отсутствует комплексное научное обоснование структуры и рациональных параметров рабочих органов упаковочных машин.

Для поиска рациональной структуры и путей повышения эффективности работы упаковочной машины проведены в производственных условиях экспериментальные исследования технических критериев эффективности, то есть надежности функциональных модулей и затраты энергии на выполнение технологических операций.

Проведенный анализ структуры упаковочной машины позволил проанализировать характер изменения ее структуры на трех уровнях: структурному, функциональному и структурно-функциональному, - и предложить любую структуру технологического процесса упаковывания. С помощью этого свойства SADT модели и наличия предварительно сформированной базы данных механизмов, устройств и функциональных модулей с уже определенными критериями эффективности (надежность, энергозатраты, производительность и точность дозирования), можно определить рациональную структуру упаковочной машины.

Для минимизации погрешности дозирования необходимо обеспечить свободное, близкое к гидравлическому, перемещение продукции через выпускной канал бункера, эффективную работу питателя и взвешивающего устройства, то есть:

- управлять процессом перемещения продукции через выпускной канал бункера;
- управлять процессом отвода сыпучей продукции от выпускного канала бункера;
- управлять процессом перемещения сыпучей продукции с рабочего органа питателя во взвешивающую емкость.

Обеспечить стабильность интенсивности перемещения продукции при различных режимах работы линейного весового дозатора возможно за счет использования дополнительных вспомогательных устройств, поиска рациональных геометрических параметров структурных элементов дозатора и кинематических параметров перемещения продукции.

Для этого определены следующие рациональные параметры:

- скорость перемещения заслонки бункера для регулирования интенсивности перемещения продукции через выпускной канал бункера;
- минимально возможная скорость отвода сыпучей продукции питателем от бункера;
- геометрические параметры направляющей для ориентирования продукции в центр взвешивающей емкости, расположение взвешивающей емкости относительно рабочей поверхности питателя.

Исследован характер зависимости динамической составляющей погрешности дозирования сыпучей пищевой продукции от расположения взвешивающей емкости.

Выполненные исследования внутримашинной транспортной системы упаковочной машины дают возможность определить минимальные значения требуемых:

- усилий на рабочих органах модуля формообразования заготовки картонной пачки, которые обеспечат раскрытие пачки на угол  $90^\circ$ ;
- моментов сил в шарнирах поворотных захватов, необходимых для их замыкания и удержания картонной пачки в карманном носителе.

На основе проведенного исследования транспортной системы с шнековыми конвейерами математически описана пространственная кривая образующая профиль шнеков на этапах отделения единичной пачки от ряда однотипных и пошагового ее позиционирования. Разработана методика расчета и выбора минимально возможного количества витков и рабочей длины шнековых конвейеров. Проведено сравнение прироста шага между двумя соседними пачками для разных законов их перемещения шнековыми конвейерами.

Проведенные экспериментальные исследования дали возможность научно обосновать определение рациональных параметров рабочих органов при различных режимах работы (грубом или точном дозировании) дозирочно-фасовочного модуля упаковочной машины; проанализировать разные режимы уплотнения продукции в пачке, в зависимости от направления колебаний, амплитуды и частоты, а также рекомендовать механизмы, которые работают в режиме уплотнения с горизонтальным направлением вибраций, к использованию для различных видов сыпучей продукции; определить рациональные усилия на рабочих органах для раскрытия плоскосложенной заготовки картонной пачки в устройстве формообразования; определить усилия фиксации пачки фиксирующими поворотными захватами при перемещении в карманном носителе внутримашинной транспортной системы.

*Ключевые слова:* упаковочная машина, теория графов, функциональный модуль, сыпучая пищевая продукция, транспортная система, картонная пачка, рациональные параметры, критерий эффективности.

Підп. до друку 01.02.2016. Наклад 100 пр. Зам. № 20-14

---

НУХТ. 01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68  
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.