

УДК 621.789

Деренівська А.В.,

Гавва О.М., д. т. н., проф.

Кривопляс-Володіна Л.О., к. т. н., доц.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПАКУВАННЯ СИПКОЇ ПРОДУКЦІЇ В КАРТОННІ ПАЧКИ

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

Відмінність конструктивних виконань обладнання для пакування СХП 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 їх проектування.

Створенням наукового підґрунтя для конструювання такого обладнання займалися наступні вчені: Сторіжко Й.І., Кривопляс О.П., Зенков Р.Л., Пальчевский Б.О., Масло М.А., Кірія Р.В. та ін. Але їх роботи носять фрагментарний характер і відображають наукові дослідження, що стосуються окремих операцій та робочих органів пакувального обладнання. Проектування новітнього пакувального обладнання потребує комплексного підходу до визначення його структури, взаємодії робочих органів його функціональних модулів та вибору раціональних параметрів їх роботи. Такий принцип проектування визначає актуальність даної роботи і забезпечує не тільки відповідність функціональних модулів критеріям ефективності, а й дає можливість вибору оптимальної технологічної схеми, компоновання та конструкційного виконання пакувального обладнання для сипкої харчової продукції.

На основі проведеного аналізу технологічних схем і конструкційних рішень пакувальних машин (ПМ) нами були розроблені графи, які відображають наявність та порядок виконання технологічних операцій в окремих функціональних модулях та ПМ загалом.

Для вибору раціональної структури ПМ нами були виділені такі основні критерії ефективності: енерговитрати, надійність, продуктивність і точність дозування.

Одним з основних критеріїв, який необхідно враховувати під час аналізу конструкційних схем функціональних модулів (ФМ) обладнання поряд з продуктивністю та якістю пакування є мінімізація енерговитрат як під час виготовлення, так і під час їх експлуатації. Однією з основних складових експлуатаційних витрат є споживання обладнанням енергії.

Для оцінювання якості пакувальної машини використані критерії надійності типових функціональних модулів, які були визначені експериментально у виробничих умовах за методикою, яка передбачає проведення хронометражу роботи та простоїв машини, що полягає в реєстрації періодів її роботоздатного та нероботоздатних станів.

Поряд із визначеними коефіцієнтами надійності ФМ пакувальних машин встановлено, що для підвищення надійності і продуктивності ПМ потрібно визначити раціональні параметри таких ФМ: дозувально-фасувального; транспортної системи ПМ; формоутворення картонної пачки з ПСЗП, який поєднує пристрої виділення одиничної ПСЗП з магазину та внутрішньомашинного переміщення.

Для оцінювання раціональної структури ПМ було використано SADT моделювання на трьох рівнях побудови концептуальної моделі, які дозволяють більш глибоко проаналізувати характер зміни структури ПМ. На рис.1 зображено s- модель із застосуванням методів синтезу, яка відображає ієрархічну структуру ПМ. На основі цього графу можна вийти на будь-яку структуру технологічного процесу.

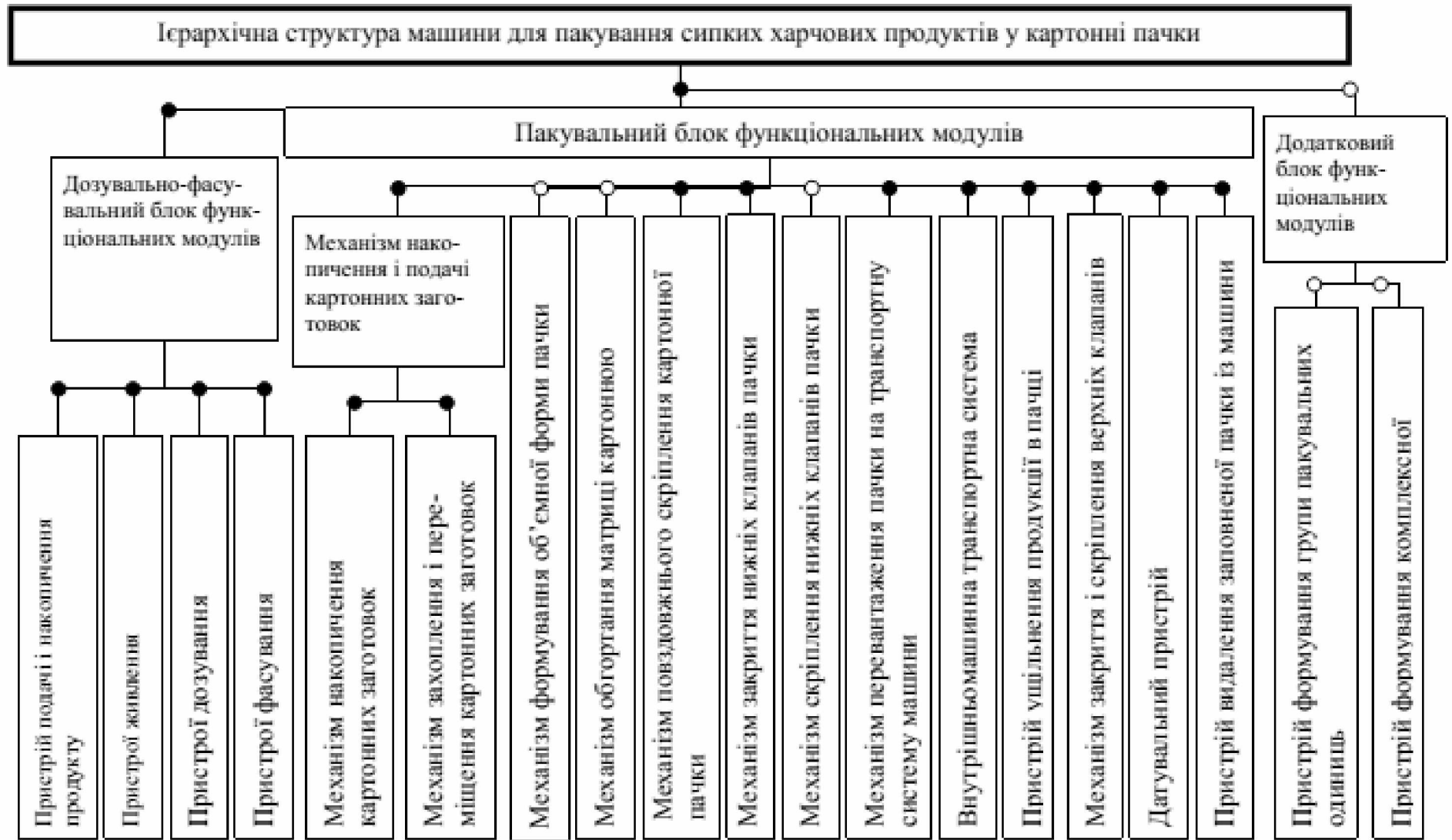


Рисунок 1 - Узагальнений граф ієрархічної структури машини для пакування сипкого продукту в картонні пачки:

● - вершини зв'язані «та», ○ - вершини зв'язані «або»

У зв'язку з тим що з точки зору критеріїв ефективності – дозувально- фасувальний модуль енергомісткий і недостатньо надійний, та відповідає за одну із основних технологічних характеристик ПМ - точність дози продукції, проведено дослідження конструктивних, динамічних і кінематичних параметрів процесу дозування.

Між точністю дозування та продуктивністю існує певна функціональна залежність: точність дозування зменшується при підвищенні продуктивності за рахунок: збільшення швидкості витікання продукції з випускного каналу бункера; збільшення швидкості подачі продукції живильником; збільшення шару продукції на робочому органі живильника; збільшення відносної частки тривалості «грубого» дозування за рахунок зменшення частки тривалості «тонкого» дозування.

За об'єкт дослідження прийнято лінійно- ваговий дозатор, що характеризується відносно не високою вартістю, має високу точність дозування та відносно низьку продуктивність.

У загальному вигляді структуру сучасного порційного лінійного вагового дозатора для сипкої продукції можна навести сукупністю елементів, кожний з яких виконує окремі функції операції дозування (рис.2).

Дослідження процесу витікання сипкої харчової продукції з випускного каналу у боковій частині бункера дало можливість: - визначити раціональні геометричні параметри бункера; визначити параметри переміщення продукції з бункера на живильник; забезпечити рівномірне розподілення сипкої продукції на живильнику; зменшити режимну складову динамічної похибки дозування.

Розроблена математична модель руху заслінки дає можливість: реалізувати раціональні режими роботи лінійних вагових дозаторів; забезпечити реалізацію будь-якого безперервного закону руху заслінки та регулювання інтенсивності видачі продукції з бункера за рахунок зміни площі перерізу вхідного отвору порожнини наповнення пневмоциліндра.

У результаті дослідження раціонального розташування зважувальної місткості було встановлено, що: відхилення від раціонального розташування зважувальної місткості відносно робочої поверхні переміщення продукції призводить до зниження точності дозування; за умови раціонального розташування зважувальної місткості режимна складова динамічної похибки дозування зменшується в межах від 15-38% відносної похибки; значущим параметром, який впливає на значення раціонального розташування зважувальної місткості, є швидкість руху продукції в момент її сходження з несучої площини живильника; одним із технічних рішень для регулювання положення зважувальної місткості відносно поверхні робочого органу живильника може бути встановлення зважувальної місткості на приводні рухомі напрямні за допомогою яких здійснюється відповідне керування.

Проведений огляд можливих станів сипкої продукції при її ущільненні за рахунок вібрації показав, що для забезпечення динамічної стабільності переміщення продукції в картонній пачці без втрат та просипання її за межі пачки, необхідно використовувати віброущільнення.

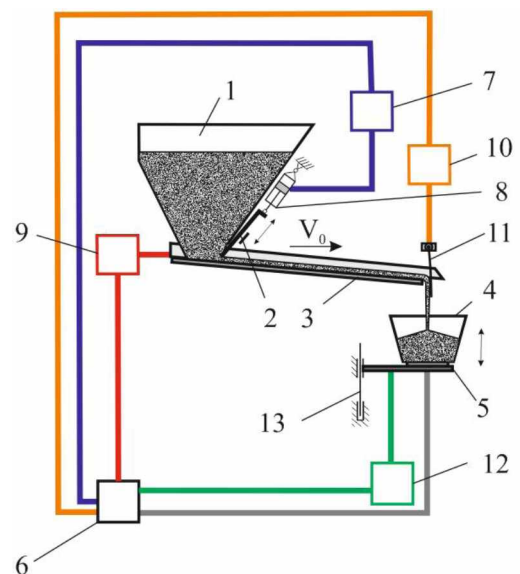


Рисунок 2 – Структурна схема лінійного вагового дозатора для сипкої продукції:

- 1 – приймальний бункер,
- 2 – живильник,
- 3 – зважувальна місткість,
- 4 – датчик ваги,
- 5 – системи керування вагою дози продукції,
- 6 – системи керування видачі продукції з бункера,
- 7 – заслінка

Проведене дослідження ущільнення дає можливість попередньо визначити на скільки зменшиться висота гірки сипкої продукції в картонній пачці при ущільненні за рахунок вертикально направленої вібрації.

Другим по важливості функціональним модулем є модуль формоутворення заготовки картонної пачки. Від якості формоутворення залежить якість пакування СХП – забезпечення герметичності та збереження вмісту пачки.

При розкритті плоскоскладеної заготовки пачки робочий орган пристрою формоутворення повинен подолати моменти сил опору, які виникають в лініях бігування.

Для дослідження необхідного зусилля на робочих органах механізму формоутворення при розкритті плоскоскладеної заготовки попередньо були проведені експериментальні дослідження на приладі для визначення опору згину Bending Resistance Tester 79-25 Series (рис.3), у результаті чого була отримана залежність між питомим моментом сил опору по лінії бігування для зразка (рис.4) висіченого: вздовж машинного напрямку волокон з розкритими гранями; впоперек машинного напрямку волокон з розкритими гранями; вздовж машинного напрямку волокон з попередньо складеними гранями; вздовж машинного напрямку волокон картону через 15 с після розкриття граней.

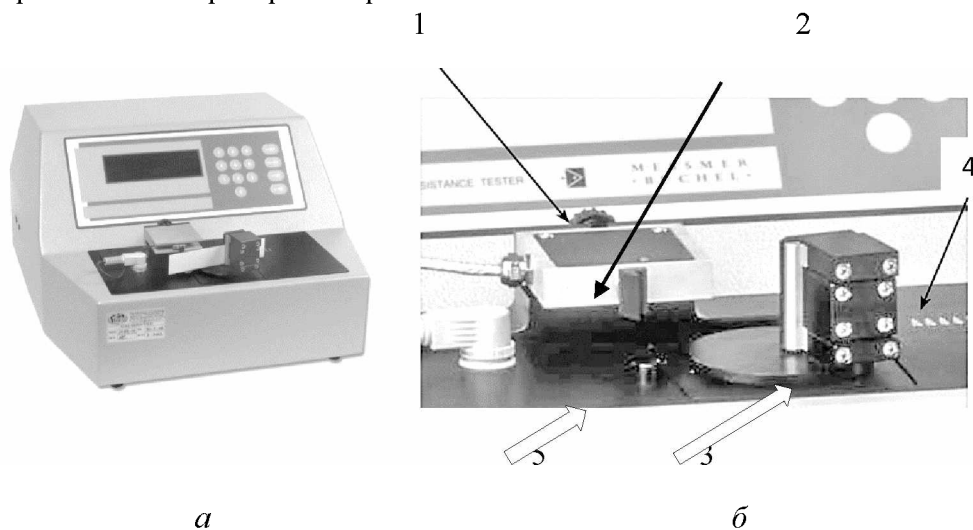


Рисунок 3 – Прилад для визначення опору згину Bending Resistance Tester 79-25 Series: а – загальний вигляд, б- робочі органи та механізми регулювання; 1- механізм зміни положення головки з тензодатчиком; 2- головка з тензодатчиком; 3- пневматичний захват на поворотній платформі; 4- механізм позиціонування пневматичного захвату, 5- опора для фіксації заготовки в коректному положенні

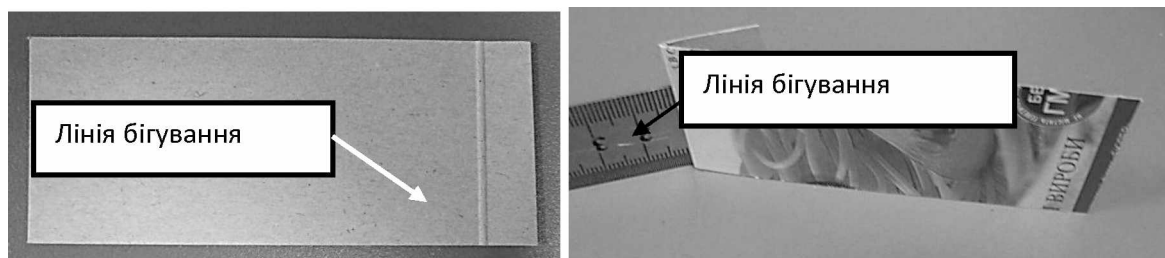


Рисунок 4 – Типи випробувальних зразків: а) грані розкриті, б) грані попередньо складені

У результаті проведених експериментальних і аналітичних досліджень була розроблена методика визначення раціональних параметрів модуля формоутворення з робочими органами у вигляді: штовхача, поворотного захвату, вакуумного поворотного захвату, системи криволінійна напрямна та вакуумний захват.

Після формоутворення пачка подається в транспортну систему з карманными носіями для подальшого виконання операцій пакування.

Нами була запропонована конструкція карманного носія з поворотними захватами, які забезпечують жорстку фіксацію пачки та її форму у вигляді паралелепіпеда для лінійної (рис. 5, 6) та роторної транспортної системи (рис. 7, 8).

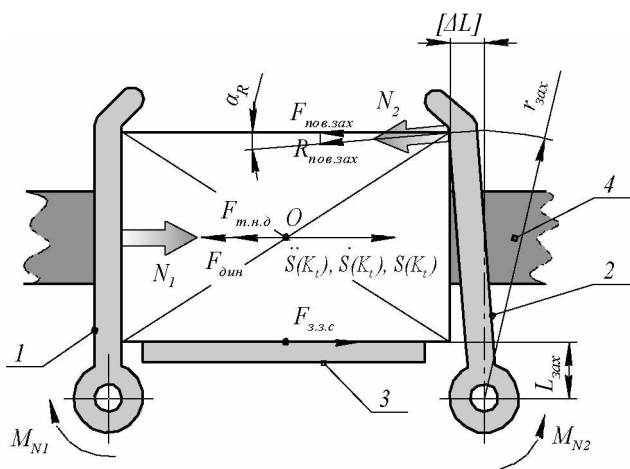


Рисунок 5 – Схема силового навантаження при вертикальному переміщенні заповненої картонної пачки в карманному носії з одним фіксуєючим захватом: 1- поворотний захват, 2 - фіксуєючий поворотний захват, 3 - задня стінка кармана, 4 - нижнє несуче дно

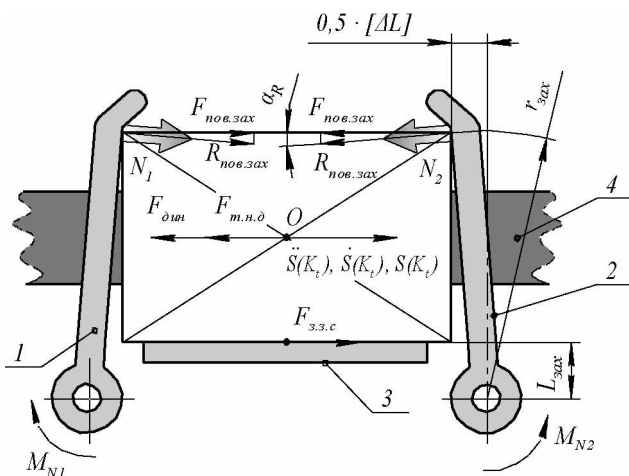


Рисунок 6 – Схема силового навантаження при вертикальному переміщенні заповненої картонної пачки в карманному носії з двома фіксуєючими захватами: 1,2 - фіксуєючі поворотні захвати, 3 - задня стінка кармана, 4 - нижнє несуче дно

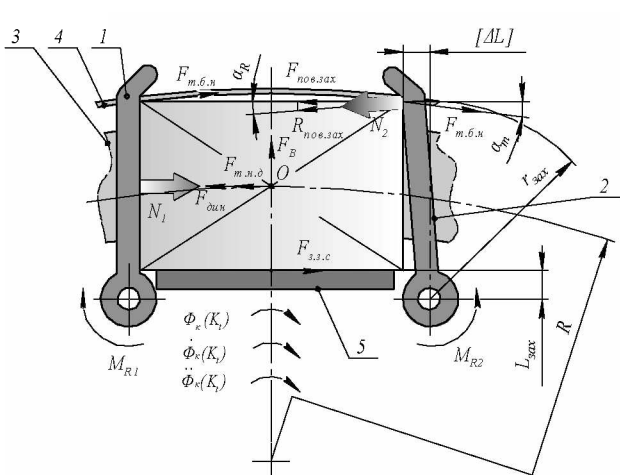


Рисунок 7 – Схема силового навантаження при переміщенні картонної пачки з продукцією роторною транспортною системою в вертикальних карманних носіях з поворотними захватами: 1 - поворотний захват, 2 - фіксуєючий поворотний захват, 3 - нижнє несуче дно, 4 - бічна напрямна, 5 - задня стінка кармана

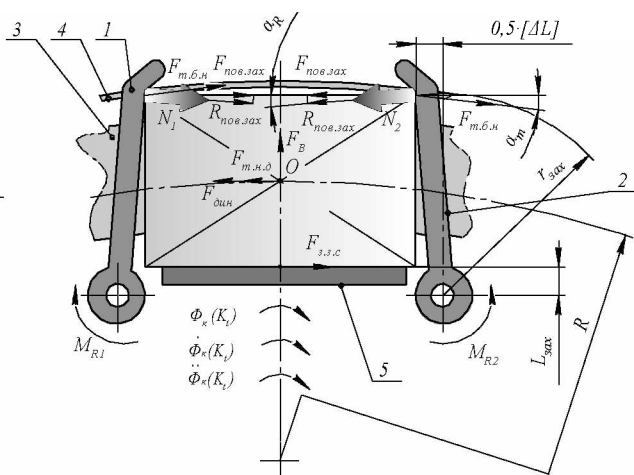


Рисунок 8 – Схема силового навантаження при переміщенні картонної пачки з продукцією роторною транспортною системою в вертикальних карманних носіях з поворотними захватами: 1,2 - фіксуєючі поворотні захвати, 3 - нижнє несуче дно, 4 - бічна напрямна, 5 - задня стінка кармана

Для даних конструкцій карманних носіїв мінімальні величини реактивних моментів в шарнірі MR, які не спричинюють деформацію пачки, утримують її в карманному носії і забезпечують її правильну форму та які необхідні для замикання захватів на кожному із етапів переміщення, дорівнюватимуть:

$$\begin{cases} M_{N_1} \geq 0,5 \cdot N_1 \cdot B_n; \\ M_{N_2} \geq N_2 \cdot r_{зах} \end{cases}$$

-для карманного носія з одним фіксуєчим захватом:

$$\begin{cases} M_{N_1} \geq N_1 \cdot r_{зах}; \\ M_{N_2} \geq N_2 \cdot r_{зах} \end{cases}$$

-для карманного носія з двома фіксуєчими захватами:

де N_1, N_2 зусилля, які діють з боку пачки на повороті захвати відповідно 1 та 2; B_n – ширина пачки; $r_{зах}$ – радіус захвату, тобто відстань від точки контакту захвату з ребром пачки

Готова пакована одиниця подається на наступні технологічні операції з позиціонуванням за заданим кроком. Для покрокового розміщення пачок доцільно використовувати шнекові транспортні системи (рис. 9).

Була розв’язана задача з визначення геометричних параметрів шнеків відповідно до обраного закону зміни прискорення переміщення пачки з виходом на раціональні параметри шнеків – кількості витків та довжини.

Висновки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу науково обґрунтувати раціональні значення параметрів таких ФМ пакувальної машини, як: дозувально- фасувальний, пристрій формоутворення картонної пачки, механізм ущільнення СХП в пачці, внутрішньомашинні транспортні системи – з карманними носіями та шнековими конвеєрами.

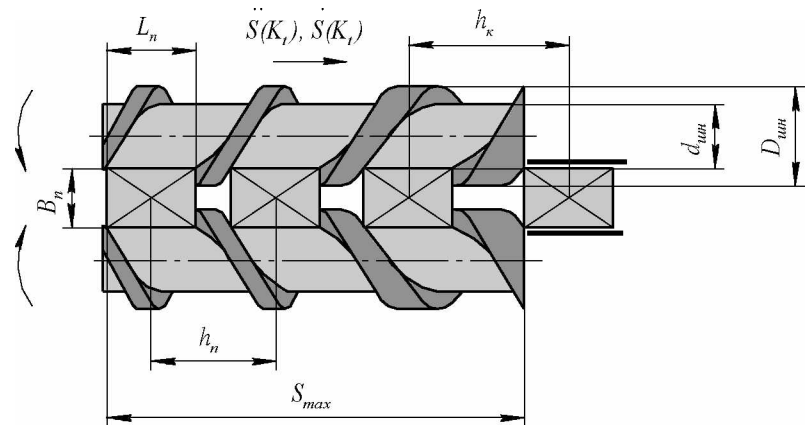


Рисунок 9 – Технологічна схема переміщення картонної пачки шнековим конвеєром зі змінним кроком: 1, 2 - шнековий конвеєр зі змінним кроком; 3- картонна пачка

Література

1. Edward Keith Lloyd, Norman Biggs, Robin James Wilson. Graph Theory 1736-1936. Oxford University Press, 1986
2. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.; под ред. А.В. Горбатова. — М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1982. — 296 с.
3. Феклин К. П. Основы структурно-параметрического синтеза упаковочных машин / К. П. Феклин // Тара и упаковка. - 2001. - №6. - С. 4-6.
4. Марка Дэвид. Методология структурного анализа и проектирования (SADT) / Дэвид А. Марка, Клемент МакГоуэн // М.: МетаТехнология, 1993г. 243с.
5. Спиваковский А.О., Дячков В.К. Транспортирующие машины: Учебное пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд. перераб.– М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
6. Масло, М. А. Конструктивні елементи транспортних систем пакувального обладнання / М. А. Масло, О. М. Гавва // Упаковка. – 2006. – № 2. – С. 44–46.