

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет харчових технологій**

**О.М.Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук,
Л.В. Марцинкевич, О.О. Гавва**

СИСТЕМНА ІНЖЕНЕРІЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ

Монографія

**За редакцією доктора технічних наук,
професора Гавви О.М.**

Київ 2023

Рецензенти:

Регей І.І., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри поліграфічних і пакувальних машин та технологій пакування Української академії друкарства;

Єгоров В.Б., доктор технічних наук, професор Одеського національного технологічного університету

Івашук В.В., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління Національного університету харчових технологій

Системна інженерія пакувальних машин-автоматів [Текст]: моногр. / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук, Л.В. Марцинкевич, О.О. Гавва – К.: Видавництво «Сталь», 2023. – 466 с.

ISBN

Наведено основні методологічні підходи системної інженерії пакувальних машин-автоматів, які включають декомпозицію технологічних схем пакування продуктів із врахуванням часових і просторових ознак, морфологічний аналіз і синтез структури машин і їх основних функціонально-мехатронних модулів, багатокритеріальний і багатопараметричний синтез типових функціональних модулів, результати імітаційного моделювання роботи типових функціональних модулів, аналіз фізичного моделювання операцій пакування на пілотних зразках типових функціональних модулів та алгоритм функціонально-орієнтованого проєктування пакувальних машин-автоматів із врахуванням замкнених технологій виробництва.

Монографія корисна науковим працівникам, конструкторам та інженерно-технічним фахівцям, що працюють у сфері пакувального машинобудування й технічного обслуговування пакувальних машин, а також аспірантам і студентам вищих навчальних закладів.

Видано в авторській редакції.

© О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна,
С.В. Токарчук, Л.В. Марцинкевич, О.О. Гавва

ЗМІСТ

Передмова.....	6
Розділ 1. Стан та тенденції розвитку методів проєктування пакувальних машин-автоматів як основний фокус системної інженерії	10
1.1. Аналіз структури методів проєктування пакувальних машин.....	10
1.2. Методологія проєктування пакувальних машин із врахуванням їх життєвого циклу.....	20
1.3. Аналіз стану використання САПР для проєктування пакувальних машин.....	26
1.4. Основні підходи функціонально-орієнтованого проєктування пакувальних машин.....	30
1.5. Методи структурно-параметричного синтезу функціональних мехатронних модулів пакувальних машин.....	34
1.6. Особливості вирішення багатокритеріальних задач синтезу пакувальних машин.....	55
1.7. Методи порівняння та оцінки багатокритеріальних альтернатив.....	57
Висновки.....	60
Розділ 2. Декомпозиція структури пакувальних машин за функціональним призначенням	62
2.1. Методологія критеріальної декомпозиції структури пакувальних машин.....	62
2.2. Декомпозиція структури машин.....	64
2.2.1. Машини пакування сипкої продукції у споживчу тару.....	64
2.2.2. Машини пакування в'язкої та в'язко-пластичної продукції у споживчу тару.....	99
2.2.3. Машини пакування дрібно-штучної та штучної продукції у споживчу тару.....	123
2.2.4. Машини групового пакування пакувальних одиниць.....	131
2.2.5. Машини формуванн збільшених вантажних одиниць.....	141
Висновки	153
Розділ 3. Морфологічний аналіз та синтез структури типових функціональних модулів пакувальних машин-автоматів.....	154
3.1. Особливості морфологічного аналізу структури функціональних модулів пакувальних машин-автоматів.....	154
3.2. Морфологічний аналіз структури функціональних модулів пакувальних машин-автоматів.....	156

3.2.1. Аналіз структури машин пакування сипкої продукції у споживчу тару.....	156
3.2.2. Аналіз структури машин пакування в'язкої та в'язко-пластичної продукції у споживчу тару.....	166
3.2.3. Аналіз структури машин групового пакування	189
3.2.4. Аналіз структури машин формування збільшених вантажних одиниць	198
3.3. Алгоритм морфологічного синтезу структури пакувальних машин..	207
3.4. Морфологічний синтез пакувальних машин-автоматів.....	212
3.4.1. Синтез машин пакування сипкої продукції у споживчу тару.....	212
3.4.2. Синтез машин пакування в'язкої продукції у споживчу тару.....	225
3.4.3. Синтез машин групового пакування.....	234
3.4.4. Синтез машин формування збільшених вантажних одиниць.....	248
Висновки.....	259
Розділ 4. Багатокритеріальний та багатопараметричний синтез типових функціональних модулів пакувальних машин-автоматів..	
4.1. Багатопараметричний синтез типових функціональних модулів машин пакування сипкої продукції у споживчу тару.....	261
4.2. Багатокритеріальний синтез типових функціональних модулів машин-автоматів пакування дрібно-штучних і штучних продуктів у споживчу тару.....	273
Висновки.....	304
Розділ 5. Імітаційне моделювання роботи типових функціональних модулів пакувальних машин-автоматів із максимальним виконанням корисних функцій.....	
5.1. Алгоритми імітацій функціонування типових функціональних модулів пакувальних машин.....	306
5.2. Імітаційні моделі роботи типових функціональних модулів машин.....	315
5.2.1. Моделі роботи функціональних модулів машин-автоматів пакування сипкої продукції у споживчу тару.....	315
5.2.2. Моделі роботи функціональних модулів машин-автоматів пакування в'язких та в'язко-пластичних продуктів у споживчу тару....	328
5.2.3. Моделі роботи функціональних модулів машин-автоматів пакування дрібно-штучних і штучних продуктів у споживчу тару.....	343
Висновки	369
Розділ 6. Реалізація проєктів системної інженерії та результати їх експериментальних досліджень.....	
	370

6.1.Проект типового функціонального модуля дозування рідких харчових продуктів.....	370
6.2. Проект типового функціонального модуля мікродозування із застосуванням пневмосоплового ежектора.....	387
6.3.Проект типового функціонально-мехатронного модуля пневмосоплового оброблення споживчої упаковки.....	390
6.4. Проект типового функціонального модуля живлення і дозування дрібно-штучних продуктів	395
6.5. Проект типового функціонального модуля переміщення і позиціонування споживчої тари під час фасування дрібно-штучних продуктів.....	400
6.6.Проект типового функціонального модуля вертикального та горизонтального переміщення.....	405
6.7.Проект типового функціонального мехатронного модуля захоплювання із комбінованими елементами утримання.....	412
Висновки.....	430
Розділ 7. Рекомендації впровадження системної інженерії пакувальних машин-автоматів, основою якої є функціонально орієнтований підхід.....	
Висновки.....	431
Список використаних джерел.....	438
	440

ПЕРЕДМОВА

Сучасні пакувальні машини (ПМ) – це складні багатоопераційні технічні системи, до складу яких входять механічна, енергетична та кібернетична складові.

Проблема комплексного забезпечення конкурентоздатності пакувальних машин є першочерговою для машинобудування. Конкурентоздатність на всіх етапах життєвого циклу визначається такими факторами: співвідношення «ціна-якість виробу»; запланований термін служби; витрати на експлуатацію; витрати на профілактичне обслуговування; ремонтпридатність; характеристики ресурсозбереження; екологічні характеристики; можливість ефективної утилізації тощо [1].

У сучасних умовах найсуттєвішим способом забезпечення конкурентоздатності виробів машинобудування є швидке оновлення продукції, підвищення її якості за рахунок реалізації науково-технічних розробок, що можливо при одночасному зростанні технічного рівня виробництва, яке обумовлює технічну можливість створення високоякісної продукції та зменшення необхідних витрат на її проектування та утилізацію [2].

Ефективність таких рішень забезпечується можливістю осмисленої й цілеспрямованої оперативної зміни вимог до кожного етапу життєвого циклу пакувальної машини.

Під життєвим циклом ПМ розуміють відрізок етапу часу, який вимірюється з моменту проведення науково-дослідних робіт з обґрунтування техніко-економічних показників машини до зняття її з виробництва [3].

Тривалість життєвого циклу – змінна функція, що залежить від двох груп факторів. Перша група включає: технічні (новизна, складність, надійність, потреба і т.д.); економічні (собівартість, рентабельність, потреба і т.д.); організаційні (серійність, характер обслуговування, управління і т.д.). друга група – перехід на вироблення нової продукції; зміна технічних вимог

замовника; поява нових ринків збуту і т.д.

Життєвий цикл сучасних ПМ умовно можна навести сукупністю таких етапів: формування вимог до ПМ та формування технічного завдання на її розробку; проєктування машини; серійне виробництво; експлуатація; модернізація машини; утилізація.

Перший етап називається зовнішнім проєктуванням. При цьому виявляється мета, заради якої створюється машина, уточнюється коло розв'язуваних нею задач, визначаються умови роботи машини, формуються вимоги до технічних показників машини.

На другому етапі проєктування визначаються структура і параметри машини, варіанти побудови та способи практичної реалізації, конструкція, технологія виготовлення функціональних модулів та машини загалом.

При розробленні, випробуваннях й експлуатації пакувальних машин виникає завдання визначення оптимальних значень конструкційних і технологічних параметрів, раціональних експлуатаційних режимів, що забезпечують надійне функціонування машини при дії на неї множини дестабілізуючих факторів (волога, температура, рівень вібрації, абразивність середовища тощо).

На сьогодні є актуальною інтеграція функції розроблення й експлуатації складних технічних систем, таких як ПМ, у рамках мегасистеми «наука-техніка-виробництво-експлуатація». Для ефективної такої інтеграції в провідних машинобудівних компаніях світу впроваджують комп'ютерні технології CALS. CALS-технології в машинобудуванні – це єдине інформаційне середовище для всіх етапів життєвого циклу машини, яке забезпечує інтеграцію не тільки інформаційних технологій, але й різних електронних технологій опису машини на одному й тому самому етапі життєвого циклу з урахування умов різних виробництв [4].

Ефективність застосування CALS-технологій у машинобудуванні проявляється в підвищенні якості та конкурентоздатності продукції, більш

швидкому виході на ринок за рахунок скорочення тривалості виробничого циклу, зменшення витрат на проектування, виготовлення та експлуатацію машини.

Процес, який забезпечує керування підсистемами великої системи, до якої відносять пакувальні машини, є складовою системної інженерії. Основною метою системної інженерії є проектування та управління системами, щоб вони були ефективними. Ефективність методів системної інженерії визначається усуненням негативних та непередбачуваних ризиків, що виникають під час реалізації етапів життєвого циклу машин.

Метою написання цієї монографії є обґрунтування розробленої науково-технічної концепції функціонально-орієнтованого проектування пакувальних машин-автоматів із високими показниками життєвого циклу та критеріями ефективності.

Системний принцип реалізації життєвого циклу пакувальних машин вимагає безпосереднього зв'язку технологічного етапу проектування та виготовлення з експлуатаційним етапом.

Перекриття усіх стадій життєвого циклу пакувальних машин забезпечує підвищення якості їх функціональних і споживчих властивостей та ефективність швидкого виконання індивідуального замовлення.

Архітектоніка монографії включає 7 розділів, в яких розглянуто: декомпозицію технологічних схем пакування продуктів із врахуванням часових і просторових ознак; на основі морфологічного аналізу та синтезу за критеріями виконання корисних функцій виділено оптимальні структури функціональних модулів пакувальних машин; методологію багатокритеріального синтезу функціональних модулів; імітаційні моделі роботи типових функціональних модулів пакувальних машин; результати досліджень пілотних зразків типових функціональних модулів машин та концепцію функціонально-орієнтованого проектування пакувальних машин із врахуванням замкнених технологій виробництва.

Під час написання монографії для повноти представлення методології системної інженерії пакувальних машин, автори використали результати деяких опублікованих наукових праць проф.Пальчевського Б.О. та доц.Шаповал О.М. із відповідним посиланням, за що їм щиро вдячні

Автори вдячні рецензентам докторам технічних наук, професорам Регею І.І., Єгорову В.Б. та Іващуку В.В. за згоду висловити свої зауваження та побажання при підготовці рукопису до друку.

Особливу вдячність автори висловлюють компанії ТОВ «ТАС ЕВОТЕК» за сприяння виходу цієї монографії та особисто к.т.н. Пригодію Д.В. за доречно внесені уточнення у формулювання основних стадій життєвого циклу пакувальних машин й організацію видавництва.

Усі зауваження та побажання читачів будуть прийняті авторами із вдячністю та враховані у подальшій роботі.

РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ ЯК ОСНОВНИЙ ФОКУС СИСТЕМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

1.1 Аналіз структури методів проєктування пакувальних машин

Одним із підходів до створення новітніх пакувальних машин є технологія паралельного (спільного) інжинірингу [5]. Паралельний інжиніринг – це підхід у технологіях підтримки життєвого циклу, що замінює тривалий лінійний процес проєктування і дорогих дослідно-конструкторських робіт на паралельний.

Метод паралельного (спільного) інжинірингу виник на основі ідеології Lean Manufacturing (ощадливе виробництво) [6], яка передбачає розроблення сучасної пакувальної техніки здійснювати в умовах жорстких обмежень фінансових ресурсів.

Розвиток цього підходу базується на використанні раніше накопиченого досвіду під час проєктування нового пакувального обладнання та розроблення методів пошукового структурно-параметричного його синтезу.

Пошукова задача структурно-параметричного синтезу під час розроблення нової пакувальної машини виникає на концептуальній стадії проєкту, тобто на етапі зовнішнього проєктування [7]. Цей етап можна характеризувати неповнотою і неточністю інформації. Дані на цій стадії проєктування мають багатопараметричний й багатозначний характер.

Для ефективного керування мультипроєктом розробляють моделі, які дають можливість урахувати й застосувати раніше накопичений досвід під час проєктування нових пакувальних машин, що продовжують лінійку виробів виробничої програми [7].

Цей підхід до етапу зовнішнього проєктування пакувальних машин базується на таких системних принципах:

- кастомізація;

- зворотне проектування.

Принцип кастомізації передбачає виготовлення машини під конкретне замовлення споживача шляхом її комплектації додатковими елементами.

Пакувальна машина, на яку може поширюватися кастомізація повинна характеризуватися [8]:

- загальним для всіх моделей функціональним центром, що не змінюється залежно від бажання замовника;
- широким спектром опцій, які може вибирати замовник, серед яких можуть бути як функціональні характеристики, так і суб'єктивні характеристики відповідно до вподоби замовника.

Зворотне проектування – це дослідження пакувальної машини, а також документації на неї з метою зрозуміти принцип її роботи й, найчастіше, відтворити машину з подібними властивостями, але без копіювання як такої. Принцип зворотного проектування вивчає діяльність уже існуючого рішення, після чого результати аналізу можуть бути використані для покращення машини або для розроблення нових рішень [9]. Для реалізації цього принципу пропонується наступне:

- використовувати сукупність раніше отриманого досвіду рішень, у рамках яких на етапі зовнішнього проектування можна було б провести процес адаптації на конкретну машину відносно до вимог замовника.

Принцип, за яким множина характеристик X^* конкретної машини, що задаються «технічними вимогами» замовника до проектованої машини, ставиться у відповідність із множиною вихідних характеристик раніше розроблених машин X (машини-прототипи).

Нехай задана множина X , що містить « n » характеристик із дискретними і безперервними параметрами вихідної системи, і множина X^* , що містить « n^* » характеристик, що описують «технічні вимоги» до конкретного рішення

$$X = \bigcup_{i=1}^n X_i \text{ та } X^* = \bigcup_{i=1}^{n^*} X_i^*.$$

Для спрощення, без втрати спільності рішення, можна прийняти $n=n^*$, тобто привести у відповідність перелік характеристик конкретного рішення до характеристик рішення – прототипу.

Рішення з максимальним використанням раніше накопиченого досвіду

$$X^M = X \cap X^*$$

буде існувати й буде економічно виправданим, якщо виконуються такі умови.

Перша умова – можливість створення рішення X^M визначається наявністю або відсутністю перетинання множини рішення-прототипу X із множиною необхідної конкретної реалізації X^* . Інакше запропоновану модель на базі рішення-прототипу на етапі зовнішнього проектування можна використовувати, якщо при однакових зовнішніх впливах на певному інтервалі часу виконується умова:

$$X \cap X^* \neq \emptyset$$

Друга умова – якщо варіювати множину X різними значеннями технічних показників, що відповідають функціонально-повним варіантам компоновання й комплектації так, щоб множина характеристик рішення прототипу X покривала погоджені із замовником технічні вимоги конкретного рішення X^* , тобто область економічно виправданого рішення X^M може бути визначена.

Для ефективного використання прийнятої моделі, потрібно розробити методи прийняття рішення в процесі пошуку, формування й вибору прототипу пакувальної машини, що відповідає вимогам замовника.

Прийняття проектних рішень охоплює широке коло завдань і процедур – від вибору варіантів до задач творчого характеру, що не мають формального способу рішення. Однією із задач творчого характеру є структурно-параметричний синтез. Оскільки всі об'єкти і системи на певному рівні розгляду мають структуру, а елементи, що становлять структуру, мають

параметри, то практично будь-яка задача проектування може бути зведена до задачі структурно-параметричного синтезу. Ці завдання ставляться до тих об'єктів, що найбільш важко формалізуються. Саме із цієї причини структурно-параметричний синтез виконується за допомогою ПЕОМ.

Постановка й методи вирішення завдань структурно-параметричного синтезу в зв'язку із труднощами формалізації не досягли ступеня узагальнення й деталізації, властивій математичному забезпеченню процедур аналізу. Досягнутий ступінь узагальнення виражається у встановленні типової послідовності дій і використовуваних видів описів при їхніх перетвореннях у САПР. Вихідний опис, зазвичай, це технічне завдання (ТЗ) на проектування, згідно з ним складають опис на деякій формальній мові, що є вхідною мовою використовуваних підсистем САПР. Потім виконують перетворення описів, а одержуваний підсумковий для даного етапу опис документують [10].

Прийняття проектних рішень у процесі структурно-параметричного синтезу включає такі етапи:

- формалізація вихідного опису й подання множини альтернатив (X);
- оцінювання поєднань і сумісності елементів;
- вибір критеріїв (K) для оцінювання ефективності отриманого рішення;
- визначення моделі розрахунку якості альтернатив за заданими критеріями ($X \rightarrow K$);
- визначення правил вибору оптимального рішення.

Для вирішення завдань, що виникають на кожному з наведених етапів, розроблено ряд методів. Формування комплексного методу ухвалення рішення в процесі структурно-параметричного синтезу нової машини, що відповідає вимогам замовника, з максимальним використанням накопиченого досвіду проведемо на основі аналізу цих методів із визначенням найбільш перспективних із них.

Кожній альтернативі конкретного зразка машини можна поставити у відповідність значення впорядкованої множини (набору) атрибутів $X = \langle x_1,$

$x_2 \dots x_n$), що характеризують властивості альтернативи. При цьому x_i може бути величиною типу real, integer, boolean, string (в останньому випадку величину називають предметною або лінгвістичною) [6]. Множину X називають записом (у теорії баз даних), фреймом (у штучному інтелекті) або хромосомою (у генетичних алгоритмах).

Властива проектним завданням невизначеність та нечіткість вихідних даних, а іноді й моделей, диктують використання спеціальних методів кількісного формулювання вихідних не кількісних даних і відносин. Ці спеціальні методи або відносять до області побудови вимірювальних шкал, або є предметом теорії нечітких множин.

Вимірювальні шкали можуть бути:

- абсолютними;
- номінальними (класифікаційними) – значення шкали представляють класи еквівалентності, прикладом може бути шкала кольорів; такі шкали відповідають величинам не кількісного характеру;
- порядковими, якщо між об'єктами A й B встановлено одне з наступних відносин: простого порядку яке відповідає, якщо A краще B , то B гірше A , і дотримується транзитивність; або слабого порядку, тобто або A не гірше B , або A не краще B ; або часткового порядку;
- інтервальними, що відображають кількісні відносини інтервалів.

Найпростіший спосіб задання множини альтернатив A – явне перерахування всіх альтернатив. Семантика й форма опису альтернатив істотно залежать від прикладного аспекту. Для подання таких описів у пам'яті ПЕОМ і доступу до них використовують інформаційно-пошукові системи (ІПС). Кожній альтернативі в ІПС відповідає пошуковий образ, що складається зі значень атрибутів x_i , ключових слів і вербальних характеристик [10, 11].

Явне перерахування альтернатив при поданні множини альтернатив можливо лише при малій потужності X . Тому в більшості випадків використовують неявний опис X у вигляді способу (алгоритму або набору

правил) синтезу проектних рішень із обмеженого набору елементів.

У більшості випадків структурно-параметричного синтезу математична модель у вигляді алгоритму, що дає можливість по заданій множині X й заданій структурі об'єкта розрахувати вектор критеріїв K , виявляється невідомою. У такому випадку намагаються використовувати підхід на базі систем штучного інтелекту.

Якщо всі керовані параметри альтернатив, позначені у вигляді множини X , є кількісними оцінками, то використовують наближені методи оптимізації. Якщо у X входять також параметри не кількісного характеру й простір X неметризуємий, то перспективними є еволюційні методи обчислень, серед яких найбільш розвинені генетичні методи. Нарешті, під час відсутності обґрунтованих моделей їх створюють, ґрунтуючись на експертних знаннях у вигляді деякої системи штучного інтелекту.

Основні методи прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу пакувальних машин, що задовольняє вимогам замовника з максимальним використанням раніше накопиченого досвіду наведені в табл. 1.1.

Серед методів, що наведені в табл. 1.1, найбільш перспективними є методи морфологічного аналізу і синтезу, альтернативні І-АБО-дерева, генетичні алгоритми й методи, теорії нечітких множин.

Вибір цих методів обумовлений наявністю алгоритмів для вирішення кожного з перерахованих етапів задачі ухвалення рішення в процесі структурно-параметричного синтезу.

Ці методи найбільшою мірою задовольняють вимогам універсальності, обліку багатокритеріальності вибору, вони одержали широке втілення в системах комп'ютерної підтримки, мають мінімум обмежень.

Таблиця 1.1 — Критичний аналіз методів прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу

№	Призначення методу	Назва методу	Суть методу	Обмеження
1	2	3	4	5
1	Подання множини альтернатив	Морфологічні таблиці [8, 9]	Множина альтернатив представляється у вигляді відносин M , що називаються морфологічною таблицею $M = \langle P, A \rangle$, де P — множина характеристик або функцій, властива об'єктам, що розглядаються, n — число цих властивостей, $A = \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle$; A_i — множина значень (способів реалізації) i -ї характеристики	Надмірність можливих варіантів; немає обліку залежностей множини A_i
		Альтернативні І-АБО-деревця [12]	У цьому методі функції представлені вершинами І, значення функцій — вершинами АБО	Використання методу ускладнено для виробів, що складаються із щільно скомпонованих елементів та взаємно переплітаються
		Генетичні алгоритми (ГА) [13]	Властивості об'єктів представлені значеннями параметрів, що поєднані у запис, який називають хромосомою. У ГА оперують підмножиною хромосом, які називають популяцією	Сусідні числа в бітовому поданні можуть різнитися в декількох позиціях, що ускладнює функціонування генетичного алгоритму

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
2	Оцінка поєднань та сумісності елементів	Метод висновку по прецедентах (СВТІ- метод) [10]	У більшості випадках для подання прецедентів досить простого параметричного подання: CASE= $(x_1, x_2, \dots, x_n, R)$, де $x_1, \dots, x_n$ - параметри ситуації, що описує даний прецедент; $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$, де n - кількість параметрів для опису прецеденту, а $X_1, \dots, X_n$ - області припустимих значень відповідних параметрів, R - рішення	Некомпактне (без узагальнення) зберігання інформації.
		Метод аналізу ієрархій [9]	Будується ієрархія, що включає мету, розташовану в її вершині, проміжні рівні (критерії) і альтернативи, що формують самий нижній ієрархічний рівень	Трудомісткість процесу
		Методи теорії нечітких множин [14]	У нечіткій логіці альтернативи представляються нечіткими множинами.	Неможливість математичного аналізу нечітких множин існуючими методами
		Альтернативні І- АБО- дерева	Вводяться таблиці сумісності вершин І-АБО-дерева. Ці таблиці призначені для визначення вершин, які не можуть з'явитися в описі технічного рішення (ТР) одночасно	Трудомісткість процесу
		Методи теорії нечітких множин [14]	Вводяться правила, що відображають заборони на сполучення певних компонентів структур, певних значень параметрів	Трудомісткість процесу
		Метод висновку по прецедентах	Вводяться правила, що відображають заборони на сполучення певних компонентів структур, певних значень параметрів	Трудомісткість процесу

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
3	Вибір критеріїв (K) для оцінювання ефективності отриманого рішення. Оцінка альтернатив	Метод експертних оцінок [15]	Суть методу базується на проведенні експертами інтуїтивно логічного аналізу проблеми з кількісною оцінкою суджень і формальним обробленням результатів. Отримана в результаті оброблення узагальнена думка приймається як рішення проблеми	Обмежена здатність мозку порівнювати більше, ніж 7 ± 2 альтернатив одночасно
4	Визначення моделі розрахунку якості альтернатив за заданими критеріями ($X \rightarrow K$)	Морфологічний синтез	За отриманими експертними даними визначається вектор пріоритетів альтернатив і розраховується цільова функція	
		Альтернативні I-АБО-дерева	Модель оцінки варіантів TP ґрунтується на обчисленні значень показників I-вершин, які виражають зв'язок між списком вимог і конструктивних ознак в I-АБО-дереві. Показники I-вершин обчислюються через показники їхніх приймачів, при цьому використовуються п'ять способів згортки й обчислення показників: згортка «сума», «мінімум», «максимум», «середньозважена» і «класифікаційна»	Трудомісткість процесу
		Генетичні методи [16]	Існує декілька методів наблизеної побудови множини Парето на основі генетичних алгоритмів. Найбільш ефективний і простий у реалізації метод FFGA. Цей метод використовує процедуру ранжирування індивідів (альтернатив), засновану на Парето-домінуванні. При цьому ранг кожного з індивідів визначається кількістю домінуючих його інших індивідів даної популяції (так що чим нижче ранг, тим	Мають потребу в значних обчислювальних ресурсах

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
			індивід ближче до множини Парето). Придатність індивіда обчислюється на основі величини, зворотної його рангу. Отже, придатність індивіда визначається не значенням цільової функції, а рангом кожного індивіда в популяції	
		Методи теорії нечітких множин	Експертні оцінки альтернативних варіантів за критеріями можуть бути надані як нечіткі множини, виражені за допомогою функцій приналежності	Слабка стійкість результатів щодо вихідних даних
5	Визначення моделі розрахунку якості альтернатив за заданими критеріями ($X \rightarrow K$)	Морфологічний синтез	Варіанти ТР упорядковуються в напрямку зменшення значень цільової функції.	
		Генетичні методи	Чим нижче ранг, тим індивід ближче до множини Парето (метод FFGA)	
6	Визначення правил вибору оптимального рішення	Методи теорії нечітких множин	Для різних методів теорії нечітких множин існують різні правила вибору. Для багатокритеріального вибору альтернатив на основі перетинання нечітких множин кращою вважається альтернатива, що має найбільшу функцію приналежності.	
		Альтернативні І-АБО-дерева	Вибирається ТР у вигляді І-дерева, якщо всі вершини сумісні й показники обраного (синтезованого) ТР відповідають вимогам ТЗ, то запам'ятовується значення критеріїв якості. Якщо значення якості наступного ТР краще попереднього, то фіксується наступне ТР і його значення критеріїв якості. Наприкінці алгоритму мають краще ТР.	

1.2. Методологія проєктування пакувальних машин із врахуванням їх життєвого циклу

На сьогодні розвиток багатомоделіного автоматизованого виробництва, до складу яких входять пакувальні машини, привів до створення комп'ютеризованого інтегрованого виробництва, концепція якого передбачає:

- використання комп'ютерних технологій для автоматизації технологічних процесів та операцій;
- інформаційну інтеграцію процесів, яка досягається за рахунок використання спільних баз даних при розробленні та проєктуванні машин, підготовці виробництва, його матеріально-технічному забезпеченні, планування та керування ним;
- наявність інтегрованої автоматизованої керування (JASK), яка виконує функції автоматизації процесів проєктування, підготовки виробництва, виготовлення машин та керування підприємством, а також забезпечення інформаційної інтеграції процесів.

Реалізація комп'ютеризованих інтегрованих виробництв передбачає автоматизацію усіх видів робіт та інтегровану інформаційну підтримку рішень із допомогою сучасних інформаційних технологій та інтегральних систем на усіх стадіях життєвого циклу (ЖЦ) виробу. Створення реконфігурованих виробничих систем PBC (RMS – Reconfigurable manufacturing system), здатних змінювати просторово-часову організацію (архітектуру) виробничої системи, дає можливість задовольняти ринковий попит на продукцію.

За визначенням, наведеним у стандарті ISO 9004-1, життєвий цикл продукції – це сукупність процесів, що виконуються від моменту виявлення потреб суспільства у певній продукції до моменту задоволення цих потреб та утилізації продукції. До основних стадій життєвого циклу відносять: маркетинг; проєктування і розроблення продукції; планування і розроблення процесів; закупівля матеріалів і комплектуючих; виробництво та надання послуг; пакування і зберігання; реалізація; монтаж і введення в експлуатацію;

технічна допомога і сервісне обслуговування; післяпродажна діяльність або експлуатація; утилізація і переробка по завершенні корисного терміну служби.

Для підтримки життєвого циклу виробів створена інтегрована система PLM (Product Lifecycle Management). [17]

До PLM відносять практично всі засоби і системи автоматизації: конструкторські та технологічні САПР (CAD/ CAM/CAE), засоби керування взаємодією з клієнтами – CRM (Customer Relationship Management), ланцюг поставок – SCM (Supply Chain Management), технічним обслуговуванням і т.д. Сюди ж відноситься система управління даними про виріб – PDM (Product Data Management), яка є основою PLM і відіграє ключову роль в організації інформаційної взаємодії усіх учасників життєвого циклу виробу через інтегроване інформаційне середовище (IJC).

Реалізація стратегії PLM передбачає виконання трьох груп методів [18]:

- Технології аналізу та реінжинірингу бізнес-процесів, які включають організаційні методи реструктуризації способу функціонування машини з метою підвищення його ефективності. Ці технології потрібні для переходу від паперового до електронного документообігу і впровадження нових методів розробки машин (виробів).

- Технології представлення даних про виріб в електронному вигляді, передбачають набір методів для подання в електронному вигляді даних про виріб, що відносяться до окремих процесів його життєвого циклу. Ці технології призначення для автоматизації окремих процесів ЖЦ.

- Технології інтеграції даних про виріб, включають набір методів для інтеграції автоматизованих процесів ЖЦ та належних до них даних, наведених в електронному вигляді.

Концепція реконфігурованих виробничих (технічних) систем є альтернативою гнучким виробничим системам.

В США, Німеччині та Японії основною концепцією розвитку машинобудівного виробництва є створення реконфігурованих виробничих

систем – РВС. Реконфігуровані виробничі системи – це нові системи із змінною архітектурою, які вчасно можуть адаптувати свою структуру, мають для цього швидкі і надійні процеси планування та впровадження змін і можуть розвиватися разом із зростаючою динамікою ринку [19].

РВС базуються на таких принципах [20]:

- проектування і впровадження у виробництво машин із переналагоджувальною структурою;
- проектування технічної системи навколо групи деталей з економічно ефективною гнучкістю, необхідного для виробництва всіх виробів цієї групи (скорочує витрати системи).

На відміну від традиційних вузькоспеціалізованих технічних систем виробничі можливості РВС можуть змінюватись плавно, залежно від вимог виробника і кінцевого споживача.

В сучасних умовах найважливішими засобами забезпечення конкурентоздатності продукції є її оновлення, підвищення якості з рахунок реалізації науково-технічних розробок. Це можливо при одночасному рості технічного рівня виробництва, яке обумовлює технологічні можливості створення високоякісної продукції і зменшення необхідних витрат на її виробництво. Особливо це важливо для пакувальних машин, які працюють у важких умовах (високі швидкості, знакозмінні навантаження, температурні градієнти тощо).

Аналіз життєвого циклу потрібний для встановлення раціональності і пропорційності розподілення ресурсів по етапах життєвого циклу, тривалості роботи на цих етапах і знаходження резервів ресурсозбереження.

Під час експлуатації пакувальних машин відбуваються важко прогнозовані зміни їх параметрів. Це обумовлено впливом багаточисельних факторів, які діють на експлуатаційні характеристики не ізольовано, а комплексно і знаходяться в складній залежності один від другого. Їх умовно можна диференціювати на три групи: конструктивні; технологічні;

експлуатаційні. В сукупності всі фактори за відповідний період експлуатації пакувальних машин суттєво на них діють.

За деяких умов експлуатації машин виникають локальні несправності, які в подальшому розвиваються дуже швидко. Це призводить до різкого зниження роботоздатності всієї машини.

А тому пакувальні машини оцінюють на предмет їх стійкості до нормальної (заданої) тривалості експлуатації.

При розробленні, випробуваннях і експлуатації пакувальних машин виникає потреба у визначенні оптимальних значень конструкційних і технологічних параметрів, раціональних експлуатаційних режимів, які забезпечують надійне функціонування машини при дії великої кількості дестабілізуючих факторів (температура, вологість, дисперсність абразивного середовища, рівень вібрації тощо). Під час вирішення цих задач потрібно визначити:

- перелік експлуатаційних факторів, що впливають на досліджуваний показник надійності (якісна оцінка);
- залежність (функціональна або стохастична) між показниками надійності і встановленим переліком експлуатаційних факторів (кількісна оцінка).

Число можливих факторів, від яких в тій чи іншій мірі залежить надійність функціональних модулів і машини загалом, практично необмежено. Їх можна навести у вигляді таких груп: конструкційні, технологічні, експлуатаційні, організаційні, спеціальні та ін.

Сьогодні є потребою інтеграція функцій розробки і експлуатації складних технічних систем, до яких відносять пакувальні машини, в рамках мега системи – наука – техніка – виробництво – експлуатація.

Складові цієї системи розглядаються не тільки як послідовний ланцюг, який складається із просторово-часових автономних компонентів (структурно-функціональні), але і як органічно поєднана система. Об'єднання такої системи

базується загальною метою її функціонування.

Поряд із цим найважливішою і найскладнішою метою, що об'єднує завдання, які вирішуються на етапах життєвого цикла машини є забезпечення її технологічності.

Забезпечення технологічності конструкції машини заключається в досягненні оптимальних трудових, матеріальних і енергетичних витрат на проектування, виготовлення, монтаж, технологічне обслуговування і ремонт, при забезпеченні заданих показників якості машини.

В загальному вигляді ефективність управління стратегіями життєвого цикла визначаються як ефективний обмін і перерозподілення вхідних і вихідних ресурсів в конкретній машині.

Основними факторами, що визначають роботоздатність пакувальної машини та її стан, є параметри якості, продуктивності і економічної доцільності [9].

Умова роботоздатності за параметром продуктивності має вигляд:

$$(\exists \Pi_{ni})(\forall \Pi_i)(\Pi_i \subset \bar{\Pi}_i) \Rightarrow v_n \subset \bar{V}_n,$$

де Π_{ni} – нормативне значення i -го параметра продуктивності; $\bar{V}_n$ – область допустимих значень вихідних із системи V - ресурсів за параметром продуктивності.

Умова роботоздатності за параметром якості:

$$(\exists q_{ni})(\forall q_i)(q_i \subset Q_i) \Rightarrow v_k \subset \bar{V}_n,$$

де q_{ni} – нормативне значення i -го показника якості; Q_i – область допустимих і недопустимих значень Q ; v_k – ресурси, що залежать від параметрів якості.

Ймовірність роботоздатного стану системи в момент t до рівнів:

$$P(t) = P\{X_0 \cdot X_{t_0} = 1; \quad X(t) \subset \bar{X}; \quad U_{(t-t_0)} \subset \bar{U}; \quad v(t) \subset \bar{V}\}$$

або

$$P(t) = P\{X(t) \subset \bar{X} | X_0 \cdot X_{t_0} = 1; \quad U_{(t-t_0)} \subset \bar{U}; \quad v(t) \subset \bar{V}\},$$

де

$$X_0 = \begin{cases} 1 - \text{машина після періода підготовки, виробництва знаходиться} \\ \quad \text{в роботоздатному стані, в момент } t = 0 \\ 0 - \text{машина в момент } t = 0 \text{ є нероботоздатною.} \end{cases}$$

$$X_{t_0} = \begin{cases} 1 - \text{машина після чергової підналадки знаходиться} \\ \quad \text{в роботоздатному стані в момент } t = t_0 \\ 0 - \text{машина після чергової підналадки знаходиться в} \\ \quad \text{нероботоздатному стані.} \end{cases}$$

Узагальнивши вирази запишемо:

$$P(t) = P \begin{cases} X(t) \subset \bar{X} | X_0 \cdot X_{t_0} = 1; \\ (\forall_i)(\Pi_i(t) \geq \Pi_n); \\ (\forall_i)(B_i(t) \leq B_n); \\ (\forall_{i,j})(q_{i,j}(t) \subset \bar{Q}), \end{cases}$$

де i – кількість видів операцій, що виконуються машиною; Π_i, Π_n – величини нормативної і миттєвої продуктивності; $B_i(t)$ – вартість i -го виду операції; $q_{i,j}(t)$ – показник якості i -го виду операції.

Для етапів проектування і виготовлення машини важливо враховувати і досліджувати оптимальні відношення собівартості і ймовірності виготовлення якісних деталей [21].

Математичне очікування вартості дефектних виробів:

$$CM(Y) = \frac{1}{P_S} (PC(1 - P_S)),$$

де C – витрати на виробництво одного виробу (по кільком варіантам). При варіанті C' ймовірність виконання завдання за показником якості дорівнює P'_S . Параметр $M(Y)$ – середнє число виробів для забезпечення програми виготовлення якісних Π виробів.

Встановлено, що для кожного P'_S є межа, яку не можна перевершити даже при безмежному збільшенні вартості виробів.

Таким чином, з точки зору впливу на витрати за весь життєвий цикл машини, етап виробництва і технологічного опанування займає одне із важливих місць.

Завершальні етапи життєвого циклу – експлуатація і утилізація машини мають найбільшу тривалість із всіх етапів. На етапі експлуатації машина дає

економічний ефект.

Поряд із цим потрібно враховувати і той факт, що з моменту експлуатації відбувається зношування деталей і проявляються несправності, зв'язані з експлуатацією машини, перевершують корисну віддачу наступає момент її утилізації.

1.3 Аналіз стану використання САПР для проектування пакувальних машин

Сучасні умови виробництв вимагають підвищення параметрів якості та універсальності пакувального обладнання, що призводить до ускладнення його конструкції, системи керування і, як наслідок, збільшення об'єму та удосконалення проектних робіт. З іншого боку зменшення фінансування цих робіт призводить до необхідності скорочення тривалості та зменшення трудомісткості процесу проектування [22]. Це зумовлює необхідність застосування систем автоматизованого проектування (САПР), які б дали можливість підвищити ефективність робіт, пов'язаних із проектуванням пакувальних машин.

Отже, головним завданням у створенні САПР є розроблення нової технології проектування, яка б дала можливість на основних етапах проектування правильно вибирати основні параметри конструкції машини та оцінити різні характеристики її ефективності, а також упродовж усього процесу проектування контролювати зміни цих характеристик так, щоб у результаті випробувань була відсутня доцільність проведення будь-яких доведень [23].

Основною особливістю сучасної методики проектування, на основі якої створюється САПР, є застосування системних принципів опису як мети проектування, так і його результату – об'єкта проектування, з одного боку, а також можливість застосування сучасних математичних методів для знаходження оптимального варіанту, що є інтелектуальною технологією проектування.

Алгоритмізація процесу синтезу компонування стала можливою тільки після створення систем їх формалізованого опису з різною мірою конкретизації. Існує ряд методів кодування функцій, технічних характеристик і компонувань машин [24] — [28]. Зокрема, в роботі [24] запропоновано описувати компонування за допомогою структурних формул, побудованих згідно принципів алгебри і теорії множин, що відображають структуру машини та розміщення функціонального модуля в координатному просторі.

Графічний метод опису і синтезу компонувань пакувальної машини, наведений в роботах [28, 29] полягає в побудові моделей її структури у вигляді принципово-структурних схем, що описують не лише склад та просторове розташування функціональних модулів, а й зв'язки між ними та траєкторію переміщення робочих органів функціональних модулів, що надає більш повну інформацію про пакувальну машину порівняно із структурними формулами.

У роботі [30] описані чотири різні типи кодування – координатний, елементний, блоковий і конструктивний, що відповідають різним етапам проектування. Запропонована система кодування дає можливість повно, однозначно та з різною мірою конкретизації описувати компонування. Проте система (особливо її конструктивний код) є надто детальною для різних етапів проектування і більшою мірою призначена для використання на стадії технічного проекту.

Можливість проектування компонувань із застосуванням ЕОМ наведена в роботах [25], [27], [31]. Кожне компонування аналізується по ряду параметрів для вибору варіанту, який найкраще задовольняє умовам виробництва, за допомогою ряду спеціально розроблених програм.

САПР, які найчастіше використовуються для проектування пакувальних машин, є САД-системи, призначені для створення 3-и вимірних віртуальних моделей машини та її типових функціональних пристроїв у графічному середовищі відповідних програм. Для цього використовують три типи даних про пакувальну машину: множина віртуальних моделей функціональних

модулів, множина ознак чи характеристик пакувальних машин (геометричні, фізичні, технічні та техніко-економічні); множина відношень між функціональними модулями та ознаками чи характеристиками пакувальної машини. Визначальним для якості майбутньої машини є розробка системи правил для об'єднання електронних моделей функціональних модулів у загальну модель машини, які б враховували можливість оцінки отриманого варіанту компоновання за відповідними критеріями оптимальності для порівняння його з іншими можливими і вибору кращого [32, 33].

Аналіз робіт у області автоматизації проектування технологічних машин свідчить про те, що автоматизовані, головним чином, креслярські і обчислювальні операції пов'язані з їх конструюванням. У той же час проблеми вибору найбільш раціональних технологічних і конструкторських рішень компоновань машин із складових елементів, підбір цих елементів залишаються поза межами автоматизованого розв'язання [23], [34]. Це істотно обмежує можливості створення нових конструкцій пакувальних машин на основі синтезу їх компоновань, тому потребує подальшого опрацювання.

Таким чином, для нових автоматизованих методів проектування новітніх пакувальних машин потрібно створити системи програмних процедур у САПР пакувальних машин, які б дали можливість конструктору на основі обмеженої інформації про пакувальну машину виконати завдання синтезу, моделювання, оцінки, оптимізації та відбору альтернатив.

Поряд із цим потрібно враховувати і той факт, що пакувальні машини нового покоління з функцією гнучкості для переналаджування потребують нових робочих органів та їх приводів, які б відповідали новим вимогам експлуатації. Це мають бути керовані і контрольовані приводи. Четверте покоління пакувального обладнання має електронні системи керування, які ґрунтуються на спільному використанні компонентів різної фізичної природи. У пакувальному обладнанні розрізняють три основних функціональних блоки, які характеризуються з'єднанням відповідних функціональних елементів в

системи: механічну, електричну та апаратно-програмну. Таке взаємопроникнення електричної системи в механічну та синергетична апаратно-програмна інтеграція складових елементів утворюють мехатронний об'єкт.

Мехатронний підхід до проектування нового пакувального обладнання полягає в тому, що такі об'єкти повинні створюватися як органічно-цілісні електро-механо-гідро-електронні технічні системи, що включають електронно-комп'ютерну апаратуру автоматичного управління [35 — 37].

Аналіз літературних та інформаційних джерел [24], [36] — [38] стосовно проектування пакувального обладнання з мехатронних модулів показав, що цілісної науково-обґрунтованої методології їх формування не існує. Під поняттям методології в такому випадку можна розуміти цілісну систему знань, яка відображає об'єктивну реальність та дає можливість глибоко проникнути в сутність феномену «формування пакувального обладнання з мехатронних модулів».

Потреба в такій методології проектування пояснюється збільшенням функціональних вимог до новітнього пакувального обладнання. Аналіз сучасного стану функціональних можливостей нових модуль-елементів засвідчує їх стрімкий розвиток у напрямках: вирішення функціональних задач шляхом широкого застосування покрокових та серводвигунів, безштокових пневматичних циліндрів та ін.; впровадження нових систем керування апаратних модулів на рівні застосування мікропроцесорного керування різної структури з можливістю реалізації логічного інтелекту; впровадження безперервного інформаційного зв'язку на прикладі впровадження модулів для забезпечення зворотного зв'язку шляхом використання значної кількості датчиків різних груп та видів.

Слід констатувати, що сьогодення розвитку методів та методик проектування пакувального обладнання характеризується здебільшого критичним відставанням від потреб споживачів і потребує переходу на нову

концепцію проектування, що базується на функціонально-орієнтованих підходах.

1.4. Основні підходи функціонально-орієнтованого проектування пакувальних машин

Функціонально-орієнтований підхід до створення новітніх пакувальних машин передбачає виявлення сукупності корисних, нейтральних та шкідливих функцій машини на її життєвому циклі та оптимізація її структури й параметрів із можливістю реалізації тільки корисних функцій і унеможливлення появ функцій шкідливих та нейтральних. Функціональний підхід, на відміну від підходу предметного (об'єктного), виходить із того, що створюваний виріб повинен реалізовувати низку функцій, які можуть забезпечуватися окремими матеріальними носіями, що є найдешевшими, або робота з якими є найменш витратною. На рис 1.1 наведена класифікація функцій виробу [39].

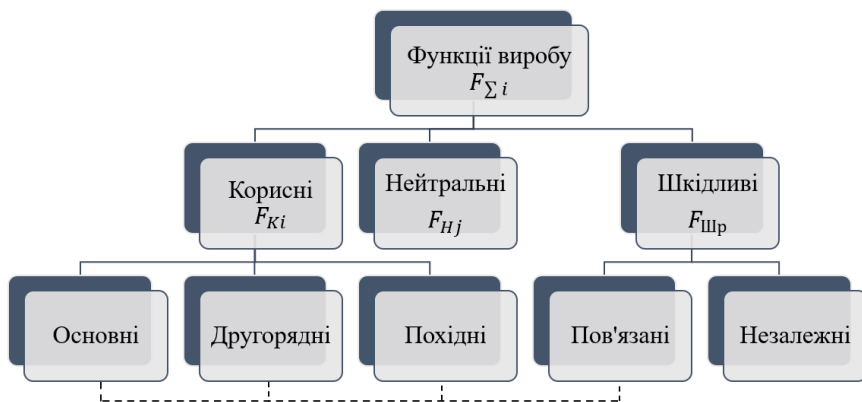


Рисунок 1.1 – Класифікація функцій виробу

Цей підхід відкриває значні перспективи в сучасному машинобудуванні.

Шкідлива функція присутня у виробі в тому чи іншому вигляді, однак для споживача важливими є виключно функції корисні, а не шкідливі, з якими слід боротися.

При цьому шкідливі функції можуть бути ослаблені або повністю усунені відповідним підбором відповідних матеріальних і енергетичних носіїв, які з мінімальними витратами забезпечують потрібне виконання корисних функцій і зменшують, або, в ідеальному випадку, унеможливають появу функцій шкідливих та нейтральних.

Ефективність пошуку алгоритмів розв'язку проблеми комплексного забезпечення конкурентоздатності пакувальних машин забезпечується можливістю осмисленої й цілеспрямованої оперативної зміни вимог до кожного етапу їх життєвого циклу.

В узагальненому вигляді життєвий цикл машини життєвий цикл машини можна навести сукупністю трьох характерних етапів, на яких закладаються матеріальні носії функцій (рис.1.2)



Рисунок 1.2 – Етапи життєвого циклу виробу

На етапі створення аналізується сукупність функцій, що має реалізувати виріб, визначається головна функція, з'єднані з нею корисні, нейтральні та шкідливі функції, а також відбувається попереднє встановлення матеріальних носіїв функцій та зв'язки їх між собою. При цьому можлива поява нових ефектів (нових функцій), що мають позитивний або негативний характер. Використання морфологічного аналізу або інших методів аналізу сукупності властивостей складних технічних систем дає можливість виявити можливі раціональні комбінації матеріальних носіїв.

На етапі виробництва відбувається реалізація закладених технологічних процесів, направлених на матеріалізацію потрібних функцій готового виробу.

На етапі експлуатації готовий виріб виявляє свої корисні функції (головні та другорядні), нейтральні та шкідливі; однак протягом роботи рівні його функцій змінюються. Пошкодження виробу відбувається тоді, коли корисні функції вже не проявляються на рівні, обумовленому технічними або технологічними вимогами; або навпаки, шкідливі функції, неподолані під час проєктування та виробництва, починають набувати характеру превалюючих, що також веде до виходу виробу із ладу. Тобто параметрична відмова виробу проявлятиметься як зниження рівня корисних функцій, функціональна – як раптова подія, що призведе до зміни сукупності функцій, закладених при проєктуванні та виготовленні.

Здебільшого для типових виробів машинобудування із позицій функціонального підходу формування конкретної корисної споживчої функції F_K пов'язане із появою нейтральних F_H та шкідливих $F_{\text{ш}}$ функцій. Тож ідеальним з точки зору експлуатації є виріб, що несе тільки корисні у певних конкретних умовах функції. Отже можна записати умову ідеального виробу:

$$F_K = F_{Ki}; \quad F_{\text{ш}} = 0; \quad F_H \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де F_{Ki} – задані корисні властивості виробу.

Тоді споживчі властивості виробу (його фізико-механічні, геометричні параметри тощо) визначатимуться:

$$P = \sum_{i=1}^l F_{Ki} + \sum_{j=1}^m F_{Hj} + \sum_{k=1}^n F_{\text{ш}p}. \quad (1.2)$$

Тож оптимізація рівняння (1.2) і обмеження (1.1) дають можливість виконати пошук найбільш раціональних матеріальних носіїв та методів їх отримання.

Якщо припустити, що

$$1 = F_K + F_{\text{ш}} + F_H, \quad (1.3)$$

$$\text{то } F_{\text{ш}} = p \cdot F_K, \text{ а } F_H = q \cdot F_K.$$

Наявність функціонального зв'язку (1.3) дає можливість записати вираз (1.2) у такому вигляді:

$$P = \sum_{i=1}^l W_K \cdot F_{Ki} + \sum_{j=1}^m W_H \cdot q \cdot F_{Kj} + \sum_{k=1}^n W_{\text{ш}} \cdot p \cdot F_{Kk}. \quad (1.4)$$

де W_F – складова технологічного процесу, що формує конкретну функцію.

Мінімізація зайвих властивостей дає змогу записати вираз, що відображає наближення реального виробу до ідеального через сукупність його властивостей:

$$P = \sum_{i=1}^l \overline{W_K} \cdot F_{Ki} + \sum_{j=1}^m \overline{W_K} \cdot q \cdot F_{Kj} + \sum_{k=1}^n \overline{W_K} \cdot p \cdot F_{Kk}. \quad (1.5)$$

При виконанні певних перетворень матимемо вираз:

$$P = \sum_{i=1}^l F_{Ki} (\overline{W_K} + \overline{W_K} \cdot q + \overline{W_K} \cdot p). \quad (1.6)$$

Наближення виробу із сукупністю властивостей (1.6) до ідеального передбачає перетворення складових в нуль, що можливо за умови відсутності функціонального зв'язку між корисними та шкідливими властивостями або за умови, що процес формування функції з обраним матеріальним носієм одночасно є інверсним до створення шкідливої функції.

Нааявність та взаємозв'язок між окремими елементами технологічного процесу дає можливість записати вираз (1.6) у вигляді:

$$P = \sum_{i=1}^l F_{Ki} (W_K + \overline{W_K} + \overline{W_K} \cdot q + \overline{W_K} \cdot p + \overline{W_K} (p + q)). \quad (1.7)$$

Оскільки створення конкретного виробу завжди передбачає певну кількість альтернатив, отримана залежність має бути доповненою кількісними ознаками кожної із функцій (як корисних, так і шкідливих), які формуватимуть інтегральний показник якості виробу J [39].

$$J = \sum_{i=1}^l F_{Ki} (b_{ki} \cdot W_{Ki} - \overline{b_{vi}} \cdot \overline{W_{Ki}} \cdot p - \overline{b_{ri}} \cdot \overline{W_{Ki}} (p + q)), \quad (1.8)$$

за умови, що $\overline{b_{ni}} \cdot \overline{W_{Ki}} \cdot q = 0$. Тут b_{ki} - відповідні вагові коефіцієнти кожної із корисних функцій, b_{vi} - вагові коефіцієнти кожної зі шкідливих функцій, b_{ri} - вагові коефіцієнти взаємодії незалежних елементів, що виявляють резерви у зміні вихідних властивостей готового виробу.

Успішне вирішення задач функціонально-орієнованого проектування пакувальної машини можливе лише на основі різностороннього цілісного розгляду системи та її розвитку в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем

та іншими технічними системами. Лише системний підхід може привести до істинно творчих, новаторських проєктних рішень.

1.5 Методи структурно-параметричного синтезу функціональних мехатронних модулів пакувальних машин

В основі розділення описів по ступеню деталізації ПМ та відображення її властивостей і характеристик є блочно-ієрархічний підхід до проєктування пакувального обладнання, (недолік – абстрагування ПМ) із різними прийомами аналізу та синтезу. Евристичний прийом синтезу – це неформалізований прийом, який використовується при синтезі технічних об'єктів, що дає змогу визначити у якому напрямі шукати потрібне технічне рішення (недолік - зберігаються у спеціальних фондах баз даних: «змінити напрям обертання», «перейти від однорідних матеріалів до композиційних»). Багатоваріантний аналіз полягає у дослідженні властивостей об'єкту в деякій області простору внутрішніх параметрів. Такий аналіз вимагає багатократного рішення систем рівнянь (багатократного виконання одноваріантного аналізу). Індуктивний підхід - має виявити закономірності в структурних рішеннях найбільш вдалих технічних конструкцій, систематизувати і надати рекомендації для вдосконалення структури конкретної конструкції

Однак, порівняльна оцінка конструкцій ускладнюється внаслідок значної їхньої кількості (рис.1.3) і складності вдосконалення або недосконалості структури машини у сукупності з іншими чинниками, що впливають на цей процес.

У технологічну систему виробу потрапляють по вхідному потоку V , а вивантажуються крізь вихідний потік W . Напрямки стрілок вказують на рух блоків технологічного впливу в кожному модулі технологічного процесу. Таким чином, такий теоретичний підхід дає можливість створювати нетрадиційні прогресивні технології.

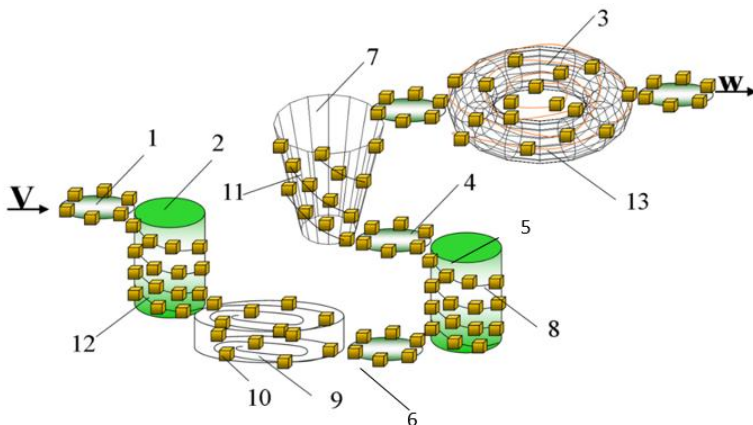


Рисунок 1.3 – Узагальнена структура побудови потокової лінії пакування продуктів на основі функціональних мехатронних модулів: 1- транспортний ротор, 2, 5 – потоково-витрачений технологічний модуль, 3 – потокова система технологічних модулів, 4, 6 – транспортний ротор, 7 – потоково-просторовий технологічний модуль, 8 – потокова межа технологічного модуля, 9 - блок технологічного впливу, 10 – вироб, 11 – просторова траєкторія руху блока технологічного впливу, 12 – потік блоків технологічного впливу, 13 – замкнені рекурентні траєкторії руху блоків технологічного впливу

Це дає можливість суттєво підвищити техніко-економічні показники виготовлення виробів пакувального машинобудування на базі технологій і технологічних систем нового виду.

В умовах інтенсивного розвитку комп'ютерних технологій, динамічної зміни внутрішнього і зовнішнього середовища для задоволення вимог замовників необхідні принципово нові підходи щодо використання інформаційних, матеріальних та енергетичних ресурсів, які є об'єктами відповідних перетворень у межах пакувальних процесів. У зв'язку з цим особливий інтерес мають сучасні стратегії, методи і технології в управлінні процесом проектування і розроблення нових виробів і модернізації існуючих. Передумовою розвитку пакувального обладнання є аналіз і синтез існуючих конструкцій машин і ліній, виділення переваг і недоліків окремих функціональних модулів. Одним із напрямків вирішення проблеми створення

нового покоління пакувального обладнання є залучення принципу модульного проектування, у відповідності з яким будь-яка частина системи синтезується із окремих елементів (модулів). Модульне проектування обладнання узгоджується з еволюційним підходом і надає виробнику обладнання можливість проектувати складні технічні системи з послідовними і паралельними, плоскими і просторовими внутрішньо-машинними транспортними системами [13, 40-42]. Сукупність функціонально зв'язаних між собою модулів утворює модульну структуру машини. Одним із важливих параметрів при проектуванні технологічних потоково-транспортних систем є коефіцієнт використання технологічного простору на всіх ієрархічних рівнях:

$$K_p = V_k / V_{0p}, \quad (1.9)$$

де V_k – об'єм простору, в якому розташовують обладнання (технологічні елементи); K_p – коефіцієнт використання технологічного простору на p – рівні; V_{0p} – загальний об'єм простору, який обмежує функціональну технологічну одиницю.

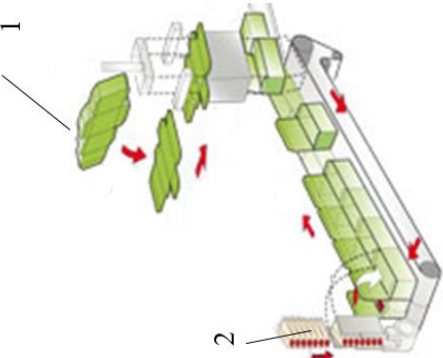
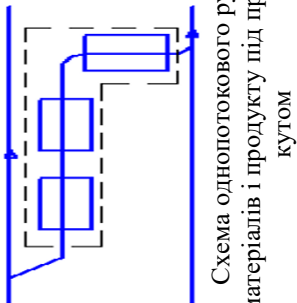
Принцип роботи фасувально-пакувального обладнання базується на взаємопов'язаному русі кількох матеріальних потоків - потоку пакувального матеріалу, допоміжних пакувальних засобів, тари та продукції. Якщо проектуються складні технологічні системи з n - потоково-просторових модулів, потрібно їх компоувати у просторі формуючи виробничі ділянки, а потім ділянки просторово компоувати відносно всього об'ємного простору виробничого цеху [43]. При цьому потрібно зауважити, що їх розміщення проводять із розрахунку підвищення щільності потоково-просторових функціональних модулів у виробничому цеху. Можливі шляхи підвищення ефективності роботи пакувального обладнання і напрямки його розвитку проаналізуємо на основі внутрішньо машинних зв'язків і ліній пакування. Внутрішньо машинні зв'язки відображають структуру пакувальних машин і залежать від їх класу, групи та виду [44]. Клас машини-автомата визначається співвідношенням тривалості робочого T_p , технологічного T_m , і кінематичного

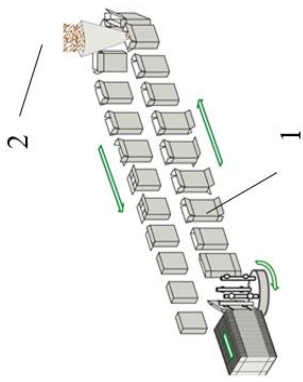
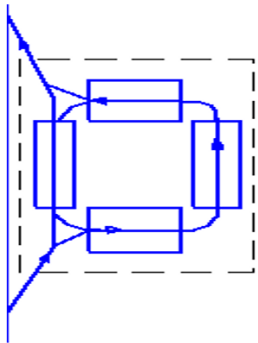
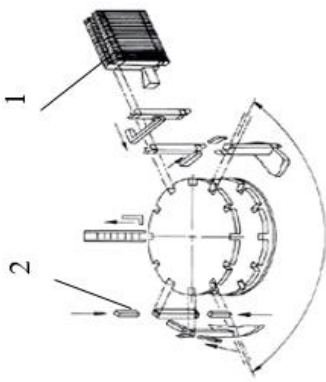
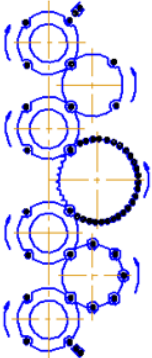
Тк циклів машини.

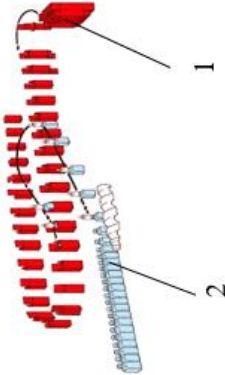
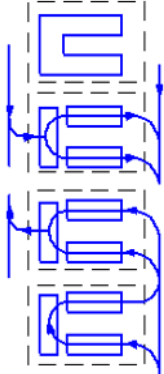
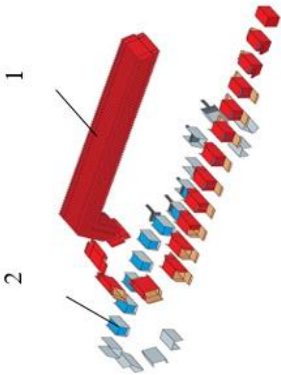
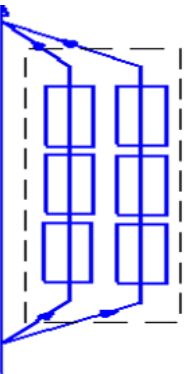
Однотипна група машин-автоматів характеризується способом переміщення продукції, тари та упаковки. Розрізняють дві групи машин-автоматів: машини першої групи характеризуються тим, що продукція та упаковка переміщуються послідовно робочими органами, з одночасним виконанням технологічних операцій; машини другої групи здійснюють технологічні переміщення спеціалізованим робочим органом (транспортними схемами). Вид машин-автоматів залежить від траєкторії переміщення продукції та упаковки. Виокремлюють чотири види машин-автоматів: перший вид – переміщення здійснюються по лінійній траєкторії, другий по дузі і по колу, третій по комбінованим траєкторіям, четвертий по складним траєкторіям [45].

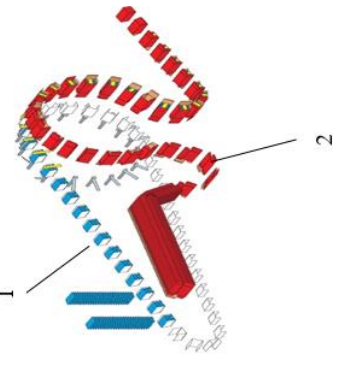
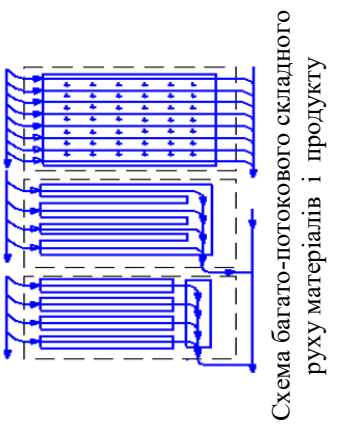
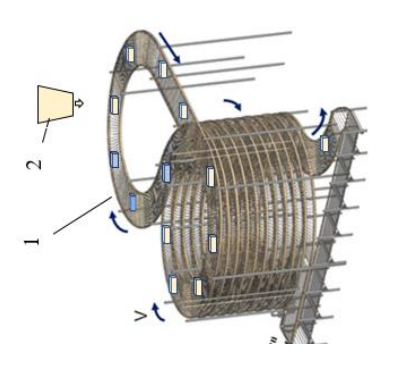
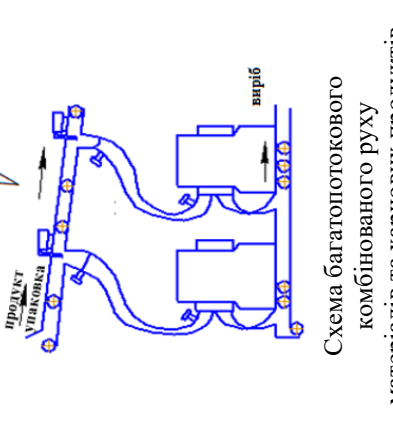
На основі аналізу роботи і конструкції пакувального обладнання встановлено, що найбільш ефективним способом транспортування об'єктів оброблення (пакування) – є транспортні засоби напрямленої дії, з вільним режимом (ритмом) роботи. В цьому випадку всі робочі органи можуть проявити власні індивідуальні характеристики. Основним принципом побудови внутрішньо машинного транспортування продукції є безперервність його подачі на етап оброблення. Крім цього, для зручності обслуговування потрібно обирати мінімальну кількість видів транспортних засобів для оброблення одного матеріального потоку – тобто потоку продукції та упаковки [46]. Під час складання компоновки пакувального обладнання (машини або лінії), при розробленні внутрішнього циклу оброблення продукції, потрібно враховувати можливі варіанти переміщення продукції у внутрішньо машинному транспортному модулі. Причому внутрішні зв'язки і напрямки матеріальних потоків у модулі можуть суттєво відрізнитись (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Класифікація внутрішньо машинних транспортних зв'язків у просторових структурах пакувального обладнання

п/п	Технологічна схема пакувального процесу	Загальна схема руху матеріалів і продукту	Опис
1	2	3	4
1	 1 – улаковка; 2 – продукт;	 Схема однопотокового руху матеріалів і продукту під прямим кутом	Плоскі внутрішньо машинні транспортні потоки ПМ, на прикладі технологічної схеми модуля формування плоских заготовок в картонну пачку з подальшим пакуванням штучних харчових продуктів

1	2	3	4
2		 Циклічна схема руху матеріалів і продукту	Плоскі внутрішньо машинні транспортні потоки на прикладі технологічної схеми машини-автомату для пакування сипкої продукції в чотири-клапанні пакки.
3		 Схема колового руху матеріалів і продукту	Плоскі внутрішньо машинні транспортні потоки на прикладі технологічної схеми пакувальної машини-автомату роторного типу для сипких та дрібноштучних продуктів

1	2	3	4
4		 Схема однопотокового руху матеріалів і продукту по складній траєкторії	Плоскі внутрішньо машинні транспортні потоки на прикладі пакувальної машини-автомату зі складним плоским рухом споживчої упаковки та продукту.
5		 Схема багатопотокового прямолінійного руху матеріалів і продукту	Просторові внутрішньо машинні транспортні потоки на прикладі технологічної схеми пакувальної машини-автомату для штучних продуктів

1	2	3	4
6		 Схема багато-поточкового складного руху матеріалів і продукту	Об'єднання і компонування транспортних модулів дає можливість утворити різноманітну конфігурацію внутрішньо машинних транспортних систем, з можливістю швидкого переналадження і адаптації під різні види продукту та упаковки
7		 Схема багато-поточкового комбінованого руху матеріалів та харчових продуктів	Транспортні та технологічні модулі пакувального обладнання із просторовою схемою компонування, з можливістю швидкого переналадження і адаптації під різні види продукту і упаковки.

Будь-яке виробництво має ієрархічну структуру, а отже, і процеси, які відбуваються в ньому, мають таку ж структуру.

На сьогодні значна кількість фірм розробляє повнофункціональні системи автоматизованого проектування (САПР) — лінійки взаємозалежних програм (модулів), що підтримують більшість проектних процедур у певних областях проектування.

Основним недоліком цих пакетів програм є те, що в них запропоновані для користування типові методи одно- і багатокритеріальної оптимізації, кожен з яких має свої обмеження щодо застосування, точності та швидкості отримання результату. Це не дає можливість комплексно, з єдиних позицій, оцінювати якість майбутнього виробу на різних стадіях проектування, оптимізувати його структуру й параметри одночасно.

Методикам і прикладним аспектам багатокритеріальної оптимізації технологічних машин і пакувальних машин-автоматів присвячено ряд наукових праць [47-72]. Методи та концепція наскрізного проектування інтенсивно розробляється і впроваджуються зарубіжними вченими (Concurrent Technology) — одночасне проектування обладнання, окремих функціональних модулів (ФМ) і побудова технологічного процесу [72-90].

Результатами наукових досліджень встановлено, що найскладніше формалізувати в процесі проектування саме процедури структурного синтезу. Тому задачі, які потрібно вирішити перед структурним синтезом, класифікують за такими ознаками [57, 74, 76, 92-95]: за стадією проектування; за можливостями формалізації; за типом структур, що синтезують.

Розрізняють такі процедури залежно від стадії проектування:

- визначення основних принципів для функціонування майбутньої пакувальної машини;
- визначення технічного рішення в рамках заданих принципів функціонування машини для пакування продукції і окремих ФМ ПМ;
- послідовне покрокове оформлення технічної документації.

До задач структурного синтезу, залежно від формалізації, відносять задачі п'яти рівнів складності [57, 74, 96-99]:

1-й – характеризують задачами для проведення параметричного синтезу. За цим рівнем структура об'єкта вже визначена;

2-й – характеризують задачами повного перебору вже відомих рішень — до таких відносять комбінаторні задачі;

3-й – характеризують комбінаторними задачами, які неможливо розв'язати шляхом повного перебору за встановлений час при використанні існуючих пакетів програм;

4-й – характеризують задачами пошуку варіантів структур у множинах невідомої або необмеженої потужності;

5-й – характеризують задачами, розв'язання яких є проблематичним.

За типом структур, які синтезують, задачі поділяють на задачі одновимірної, схемної та геометричної синтезу.

Формалізацію процедур структурного синтезу здійснюють на основі одного з таких підходів [63, 64, 66, 77, 100-113]: перебір; послідовний синтез; трансформація опису різних аспектів. Пошук раціонального рішення при заданому технологічному процесі пакування і обраному принципі дії окремих ФМ ПМ і є задачею оптимального структурного синтезу. Формальна процедура, що регламентує цей процес, на сьогодні не розроблена. Тому при розв'язанні конкретних задач потрібно в кожному окремому випадку будувати свій алгоритм. Аналізуючи узагальнену структуру машини для пакування продуктів і виконуючи паралельно покроковий опис технологічного процесу пакування, можна провести структурний синтез пакувального обладнання загалом і окремих ФМ. Загальний підхід побудови схеми структурного синтезу машини для пакування продукції, наведено на рис.1.4. Вихідним пунктом для оптимального синтезу пакувальної машини є аналіз технічних вимог щодо її впровадження у промислове виробництво і економічну доцільність.

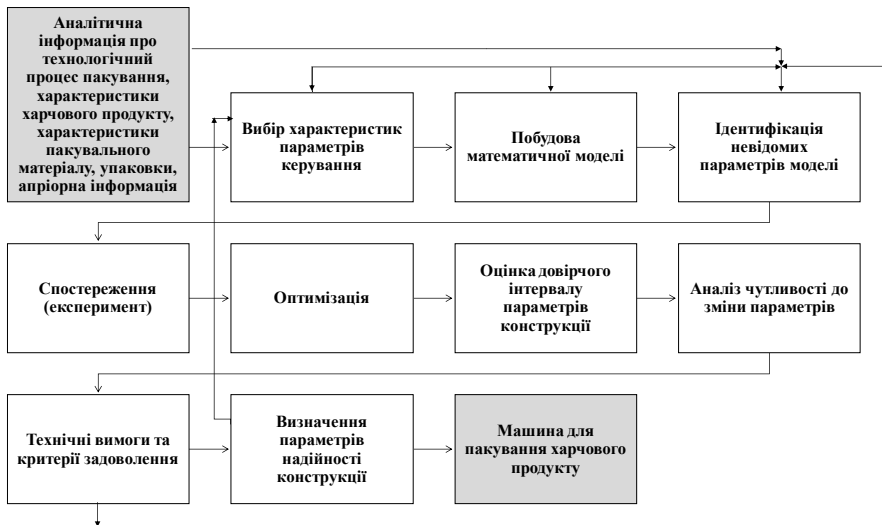


Рисунок 1.4 – Блок-схема алгоритму оптимального синтезу пакувальної машини

Алгоритми перебору передбачають перебір лише довершених готових структур ФМ ПМ. Такі структури створюють заздалегідь (використовують бази даних) або генерують за відомими правилами з певного заданого набору елементів. Алгоритми перебору рекомендовано реалізовувати лише для відносно простих пакувальних систем, при цьому вони включають такі складові частини: вибір і генерування наступного варіанта; оцінку варіанта; прийняття рішення. Щоб вирішити задачі синтезу 3-го та 4-го рівнів складності потрібно обрати частковий перебір варіантів структур, які побудовано на основі часткової модифікації певних вихідних структур ФМ ПМ, або вибраних з обмеженої множини готових структур ФМ ПМ.

В алгоритмах перебору особливе місце належить алгоритмам дискретного математичного програмування (ДМП) [95, 96]. Подібні алгоритми застосовують і для задач структурного синтезу пакувальних машин. У загальному вигляді задачу структурного синтезу можна звести до наступного математичного опису:

$$z_D = \{z \in D \mid \varphi(z) \geq 0, \psi(z) = 0\}, \text{extr}_{z \in z_D} f(z), \quad (1.10)$$

де D — дискретна множина; $\varphi(z)$ та $\psi(z)$ — вектор-функції.

Застосування задач ДМП обґрунтовано для пошуку ознак таких структур, які виражено кількісно, а також для визначення функції цих ознак.

Подібні ознаки об'єднують у вектор z , а розроблену формулу переваги представляють у вигляді функції мети (цілі) $f(z)$.

Враховуючи, що задачі структурного синтезу до ДМП не є підставою для успішного її розв'язання (тому що існуючі методи ДМП не є універсальними та економічними в реалізації) — цей метод синтезу для машин пакування потребує доопрацювання із залученням сучасних прикладних програмних пакетів, наприклад: AnyLogic, LogicX, ScadaSistem та інші. При використанні послідовних алгоритмів пошуку технічного рішення для пакувальної машини, характерним є поетапне розв'язання задачі синтезу ФМ ПМ з оцінкою отриманих проміжних структур. Існують два способи побудови структур ФМПМ [58, 59, 74, 96, 102, 114 - 119]: нарощування; вилучення.

При нарощуванні структури ФМ ПМ здійснюють почергове додавання нових елементів до певної початкової структури. При задіянні алгоритму вилучення — відкидають певні зайві елементи із деякої надлишкової узагальненої структури пакувальної машини.

Подібний підхід можна застосовувати лише тоді, коли вже сформована узагальнена структура машини для пакування продукції.

При формуванні структури пакувальних машин складної будови (для гнучких виробничих систем, робототехнічних комплексів, слідкувальних і позиційних систем, тощо) доцільно застосовувати варіантний метод побудови структури та метод варіації складу засобів ФМ [95].

Розв'язок задач структурної оптимізації пакувальних машин, зокрема для ДМП, формують методами: відсікання, комбінаторними і широкого спектру наближення [50, 120, 121].

Структурний синтез сучасних пакувальних машин ще не в повній мірі формалізований, у більшості випадків його виконують евристичним методом,

який в основному визначається переважно ерудицією і інтуїцією конструктора. Поряд із структурним синтезом проводять параметричний синтез.

Параметричний синтез – частина процесу проектування, яка вирішує задачу визначення основних конструктивних (геометричних і механічних) параметрів машин у цілому, її окремих механізмів, пристроїв і робочих органів. Вибір здійснюють не тільки з умови правильності функціонування системи, а й з умови забезпечення оптимальності за прийнятими критеріями якості. Задачу оптимального параметричного синтезу часто називають задачею параметричної оптимізації. Виділяють дві математичні моделі задач оптимального параметричного синтезу [9, 71, 72, 98, 116, 118, 122 – 136, 137 – 146.]: скалярна (однопараметрична, багатопараметрична) і векторна.

Задача скалярного багатопараметричного синтезу в загальному вигляді формулюється так: знайти вектор $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, який забезпечить мінімум (максимум) функції мети [98, 103, 126, 136, 71, 147 – 151]:

$$\min_{x \in R^n} f(x)$$

за обмежень

$$\begin{aligned} g_i(x) &= 0, i = 1, 2, \dots, m_e; \\ g_i(x) &= 0, i = m_e + 1, \dots, m; \\ x_L &\leq x \leq x_U, \end{aligned}$$

де x — вектор оптимізаційних параметрів ($x \in R^n$); $f(x)$ — скалярна функція мети (цілі) векторного аргумента; $g_i(x)$ — скалярні функції-обмеження векторного аргумента.

Задача максимізації функції мети зводиться до задачі мінімізації заміною $f(x)$ на $-f'(x)$.

Ефективність і точність розв’язання поставленої задачі залежить від кількості параметрів, обмежень і функції мети. Якщо функція мети та обмеження лінійні, то для розв’язання задачі застосовують методи лінійного програмування [52, 152]. У випадку лінійних обмежень, але квадратичної функції мети, оптимізаційна задача є задачею квадратичного програмування [133, 144, 151]. У загальному випадку — це задача нелінійного програмування

[89, 153 – 155].

Залежно від математичної моделі, при розв’язанні задач оптимального синтезу застосовують: класичні аналітичні методи дослідження функцій; метод множників Лагранжа; варіаційне числення; принцип максимума Понтрягіна; лінійне програмування, нелінійне програмування, динамічне програмування; методи випадкового пошуку.

Основні методи параметричного синтезу, які можна застосувати при дослідженні ФМ ПМ наведені в таблиці 1.3.

Щоб зменшити кількість недоліків для методів спрямованого пошуку створено комбіновані алгоритми, де на першій стадії застосовують пасивний пошук, а далі — один із методів спрямованого пошуку. Існуючі складнощі розв’язання задач оптимізації з багатьма змінними й складними функціями мети, а також поява сучасних прикладних програмних пакетів для моделювання, обумовили широке впровадження для розв’язання задач оптимізації та синтезу пакувальних машин методів на модульному принципі. Для таких пошукових методів, задачі не потребують обчислення похідних від функції мети.

Ці методи поділяють на дві групи: пасивного пошуку (сканування, статистичних випробувань); спрямованого пошуку (одностадійні – градієнтні, випадкового пошуку; багатостадійні – динамічне програмування, покоординатний пошук). Розробник ФМ та пакувальних машин зіштовхується із складними задачами які, переважно, не можна віднести до однокритеріальних, тому недостатньо застосувати апарат дослідження операцій. Всі ФМ ПМ є складними технічними системами і характеризуються багатьма властивостями, що визначають їх споживчу якість та вартість. Зв’язок і припущення між окремими суттєвими характеристиками ФМ ПМ спонукає йти на компроміс і вибирати для кожної характеристики не максимально можливе, а дещо менше – раціональне значення, за якого усі інші важливі характеристики матимуть прийнятну величину

Таблиця 1.3 – Класифікація методів параметричного синтезу ФМ ПМ

№ п.п	Назва методу синтезу ФМ ПМ	Особливості алгоритму	Особливості застосування
1	2	3	4
1.	Метод класичного функціонального аналізу	Дані знаходять з необхідної умови її існування — похідну в точці екстремума яка дорівнює нулю [18]. Тоді оптимальний розв'язок z^* можна знайти з системи рівнянь: $\frac{\partial f(z)}{\partial z_i} = 0; i = 1, 2, \dots, n$. Для визначення, яким екстремумом (максимумом чи мінімумом) є точка z^*, застосовують достатню умову існування екстремума. У випадку опису пакувальної машини функціями із складних нелінійних рівнянь, систему рівнянь розв'язують числовими методами на комп'ютері або методами нелінійного програмування, звівши задачу до мінімізації функції: $\xi(z) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(z)}{\partial z_i} \right)^2$.	Застосовують переважно для розв'язання складних задач оптимізації без обмежень.
2	Метод множників Лагранжа	Полягає у введенні p невідомих множників $\lambda_j (j=1, 2, \dots, p)$ та побудові функції Лагранжа $L = f(z) - \sum_{j=1}^p \lambda_j g_j(z)$. Для визначення оптимальних значень змінних $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ розв'язують систему з $n+p$ рівнянь: $\frac{\partial L}{\partial x_i} = 0, i=1, 2, \dots, n; g_i(x) = 0; j=1, 2, \dots, p$ відносно незалежних z і λ. Метод є ускладненим при класичному функціональному аналізі, зокрема, у випадку наявності нелінійних рівнянь.	Дає можливість розв'язувати задачі оптимізації такої ж складності, але з обмеженнями типу рівностей [118, 156].
3	Принцип максимума Понтрягіна	Принцип максимума Понтрягіна — це необхідна умова оптимальності процесів, які описуються системами диференціальних рівнянь:	Застосовують в основному для задач керування і меншою мірою для задач

		$\frac{dx_i(t)}{dt} = f_i[x(t), u(t)], i=1, 2, \dots, n,$ де $\mathbf{x}(t)$ — вектор змінних стану або фазових координат; $\mathbf{u}(t)$ — вектор керування. Дає можливість визначити оптимальне керування, яке приводить систему з початкового стану $\mathbf{x}(t_0)$ в кінцевий стан $\mathbf{x}(t_1)$ і мінімізує інтеграл $I = \int_{t_2}^{t_1} f_0[x(t), u(t), t] dt,$ при граничних умовах $\mathbf{x}(t_0)=\mathbf{x}_0$, $\mathbf{x}(t_1) \in S$, де S — цільова множина, і обмеженнях на керування $\mathbf{u}(t) \in U$ для всіх t, де U містить допустимі керування.	оптимального проектування [163].
4.	Методи варіаційного числення	Використовують для пошуку функцій, які надають екстремуму функціоналу, поданому у вигляді деякого інтеграла, наприклад, такого вигляду [126, 158]: $I = \int_{z_1}^{z_2} F[z, \dot{z} y(z), \dot{z} \dot{z} y_z(z)] \dot{z} dz,$ де підінтегральна функція залежить від z явно і неявно, оскільки вкладає функцію $y(z)$ та її першу похідну $y_z(z)$. Задача полягає у визначенні такої функції $y(z)$, коли функція набуває максимального або мінімального значення.	Застосовують для пошуку функцій, які надають екстремуму функціоналу, поданому у вигляді деякого інтеграла, наприклад [126, 158]:
5.	Лінійне програмування	Для розв'язання задач лінійного програмування переважно застосовують симплекс-метод [52], який за скінченну кількість ітерацій дає можливість знайти оптимальний розв'язок $f(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ за таких обмежень: $x_j \geq 0$, $j=1, 2, \dots, n$; $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$, $i=1, 2, \dots, m_1$; $\sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq b_k$, $k=1, 2, \dots, m_2$; $\sum_{j=1}^n a_{lj} x_j \leq b_l$, $l=1, 2, \dots, m_3$, де c_j, a_{ij}, a_{kj}, b_i, b_k, b_l — задані дійсні числа; x_j — параметри оптимізації.	Розв'язання задач пошуку екстремуму функції мети [52, 152]

6	Метод динамічного програмування.	Рівнями системи можуть бути окремі складальні одиниці та агрегати машини чи устаткування. Критерії оптимальності багатостадійних і багаторівневих систем здебільшого подають у вигляді адитивної або мультиплікативної функції критеріїв для окремих стадій функціонування чи рівнів системи. В основу динамічного програмування покладено принцип оптимальності Белмана, відповідно до якого оптимальна стратегія наділена такою властивістю, що якими не були б початкові стан і розв'язок, наступні розв'язки треба вибирати, виходячи з оптимальної стратегії з урахуванням стану, обумовленого першим розв'язком. Математично принцип оптимальності для дискретних процесів записують так [132]: $f_N(x_1) = \max_{u_1 \in U} \{f_{N+1}[\phi_1](x_1, u_1)\}$, де U – множина допустимих керувань; $f_N(x_1)$ – максимальне значення критерію оптимальності для N стадій процесу; x_1 та x_2 – вектор параметрів стану відповідно на першій та другій стадіях; u_1 – вектор керування на першій стадії; $Q_1(x_1, u_1)$ – значення критерію оптимальності на першій стадії; $f_{N-1}(x_2)$ – максимальне значення критерію оптимальності для $N-1$ стадій процесу від останньої стадії; ϕ_1 – деяка функція, що описує залежність x_2 від x_1 та u_1. Сутність методу динамічного програмування полягає в тому, що розв'язок початкової задачі N-стадійного процесу зводиться до розв'язання за допомогою рекурентної формули (1.6) низки задач: дво-, три-, ..., n-стадійної.	Для оптимізації багатостадійних процесів або складних багаторівневих систем [143, 118, 159]. При цьому під рівнем системи розуміють складові частини, на які її можна поділити, кожна з яких характеризується сукупністю параметрів. Недоліком методу динамічного програмування є складність його застосування для задач великої розмірності навіть при використанні сучасних комп'ютерів, оскільки для розв'язання такої задачі потрібна висока швидкість та великий об'єм пам'яті.
---	----------------------------------	---	---

Продовження таблиці 1.3

	Нелінійне програмування (НЛП)	Метою є пошук екстремуму функції мети $f(z)$, $z \in \mathbf{R}^n$ за обмежень: $g_i(z) \leq 0, i=1, 2, \dots, m_1$; $g_k(z) \leq 0, k=1, 2, \dots, m_2$; $g_l(z) \leq 0, l=1, 2, \dots, m_3$. На відміну від лінійного програмування функція мети й обмеження в загальному випадку є нелінійними функціями. Залежно від обмежень методи НЛП поділяють на дві групи: методи безумовної та умовної оптимізації. Першу групу застосовують для розв'язування задач без обмежень на параметри оптимізації, другу — для задач з обмеженнями. Методи безумовної оптимізації, в свою чергу, поділяють на методи, в яких застосовуються похідні від функції мети за змінними, та методи без застосування похідних (пошукові методи). До методів з використанням похідних відносять такі методи [160, 162]: градієнтні, Ньютона, спряжених напрямів, змінної метрики (квазіньютонівські). Градієнтні методи ґрунтуються на аналізі першої похідної від функції мети й реалізації руху до оптимального її значення в напрямі градієнта, що збігається з напрямом найвидшого зростання (при пошуку максимуму) або зменшення вектора (при пошуку мінімуму) функції мети. Компонентами вектора градієнта $\nabla f(z)$ є часткові похідні від функції мети за всіма змінними: $\nabla f(z) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(z)}{\partial z_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial f(z)}{\partial z_n} \end{bmatrix}$	Не існують універсальних методів розв'язання, що обумовлено різноманітністю математичних моделей задач оптимізації в нелінійній постановці та їхньою складністю. Разом з тим, для певних класів задач, часткових випадків НЛП, розроблені загальні підходи та ефективні алгоритми розв'язання задач відповідних класів
--	--------------------------------------	--	---

		На кожній k-тій стадії розрахунків перехід з положення $z(k)$ в положення $z(k+1)$ здійснюється за такою формулою: $z(k+1) = zk + \Delta zk$, де $\Delta z(k)$ — величина кроку на k-тій стадії. Залежно від способу визначення кроку $\Delta z(k)$ існують різні методи НЛП. Одним з найрозповсюдженіших градієнтних методів є метод найшвидшого опускання [135, 162], відповідно до якого перехід з положення $\Delta z(k)$ в положення $\Delta z(k+1)$ відбувається за формулою $z_i^{(k+1)} = z_i^{(k)} - \lambda^{(k)} \frac{\frac{\partial f(z)}{\partial z_i^{(k)}}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial f(z)}{\partial z_i^{(k)}} \right)^2}},$ $i=1, 2, \dots, n$, де $\lambda(k)$ визначається розв'язком одновимірної задачі мінімізації функції $f(z(k+1))$ відносно $\lambda(k)$. Для цього можна застосовувати один з таких методів одновимірної оптимізації: золотого перерізу, дихотомії, Кіфера, Девіса, Свена, Кемпі, Пауела [155].
--	--	--

Пасивний пошук для синтезу ФМ ПМ часто базується на рівномірному перегляді певної кількості варіантів проекту, що належать наперед заданій області в просторі параметрів оптимізації. При цьому ніяк не враховується інформація на попередніх кроках пошуку. До таких методів відносять: метод сканування, який передбачає обхід вузлів n -мірної сітки, побудованої в області зміни параметрів; метод L_π -пошуку, за допомогою якого порівнюють значення функції мети в точках, сформованих за допомогою L_{π_t} - послідовностей [57, 95].

Залежно від того, в якому вигляді є дія різних критеріїв, багатокритеріальні задачі поділяють на декілька класів [116, 168]: множина якостей, множина об'єктів, множина умов функціонування, множина стадій функціонування, множина варіантів постановки задачі, комбінація перерахованих класів. Задачу багатокритеріального оптимізаційного синтезу подають у такому вигляді [95]:

$$f_i(x) \rightarrow \min_x; x \in D (i = \overline{1, k}); D = \left\{ x \in R^n \mid g_i(x) \leq 0; g_i(x) = 0 (i = \overline{1, m}); \right. \\ \left. (i = \overline{m+1, s}); a_j \leq x_j \leq b_j (j = \overline{1, q}) \right\}. \quad (1.31)$$

Задача багатокритеріального синтезу передбачає мінімізацію кожного з вихідних критеріїв f_i . У межах множини допустимих розв'язків виконуються прямі, функціональні та критеріальні обмеження, наведені у вигляді системи рівностей і нерівностей. Вона не є стандартною, оскільки включає векторний критерій оптимальності. Тому, у більшості випадків для її розв'язання переважно шукають відповідні методи зведення до однокритеріальної задачі, для якої розроблені ефективні числові методи. Проблемі пошуку оптимального розв'язку багатокритеріальних задач присвячено наукові праці [163, 164, 118, 130, 165, 62, 110, 137, 151, 166-172]. Разом із тим, на шляху створення теорії багатокритеріальної оптимізації існують певні труднощі. Перша проблема, яка виникає при розв'язуванні багатокритеріальних задач, полягає у визначенні області зміни часткових критеріїв якості, де

розташований оптимальний розв'язок, та пошук області компромісу часткових критеріїв. Пошук області компромісу є надзвичайно важливим, оскільки дає можливість досліджувати не всю множину допустимих розв'язків, а лише її незначну частину, де наперед відомо, що там є оптимальний розв'язок. Область компромісу, залежно від характеру зміни часткових критеріїв, може бути у вигляді неперервної межі або дискретних точок чи відрізків, розташованих на ній. Як вважають автори праць [173, 174], практично всі відомі методи векторного синтезу оптимальних конструкцій безпосередньо або опосередковано зводяться до скалярного синтезу. Тобто, часткові критерії певним способом об'єднують в інтегральний критерій, який потім максимізують (або мінімізують). Якість оптимізації конструкції пакувальної машини в таких випадках суттєво залежить від встановлення об'єктивно існуючої залежності між частковими та інтегральним критеріями, що надзвичайно важко, а іноді просто неможливо зробити. Тому на практиці інтегральний критерій утворюють формальним поєднанням часткових критеріїв, що неминуче призводить до суб'єктивності отриманого оптимального розв'язку. На думку авторів [125, 137] багатокритеріальну задачу синтезу можна зводити до однокритеріальної, але робити це доцільно тільки на завершальній стадії проектування. Для розв'язання цих задач застосовують також мінімаксні критерії, пов'язані з використанням контрольних показників $t_1, t_2, \dots, t_k$, записаних у правих частинах критеріальних обмежень [55, 162]: $f_i(x) \leq t_i$.

У цьому випадку за скалярний критерій вибирають функціонал

$$J(x) = \min_i \alpha_i [t_i - f_i(x)] \rightarrow \max, \text{ або } J(x) = \max_i \alpha_i [f_i(x) - t_i] \rightarrow \min, \quad x \in D,$$

де область допустимих розв'язків задається сукупністю функціональних і прямих обмежень.

Для задавання контрольних показників застосовують методи експертних оцінок, або розраховують їх, розв'язуючи k однокритеріальних задач: $t_i = \min_{x \in D} f_i(x)$. У літературі відомі й інші методи оптимізації та синтезу, які можна

використати для технологічного обладнання і ФМ ПМ [76, 175, 115, 100, 92, 93, 177, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 192, 42, 43, 184, 67, 111, 139, 145, 153, 171, 185-210 та ін.]. Здебільшого вони адаптовані для оптимізації конкретних конструкцій і не набули ще широкого застосування, зокрема для багатокритеріального синтезу пакувальних машин. Надзвичайно актуальною і такою, що інтенсивно розробляється провідними фірмами світу у галузі систем автоматизованого проектування, є технологія наскрізного проектування (Concurrent Technology) — паралельне проектування виробу, технологічного процесу і виробничої системи. Основою такої технології є спільне проектування, суть якого полягає у послідовному виконанні таких чотирьох стадій [107, 184]:

1. Концептуальне проектування — декомпозиція об'єкта проектування і технології його виготовлення на складові елементи: функціонально-конструктивні (ФКЕ) та функціонально-технологічні (ФТЕ).
2. Структурне проектування — синтез ФКЕ і ФТЕ для генерування множини конструктивно-технологічних рішень.
3. Параметрична оптимізація — кількісна оцінка кожного конструктивно-технологічного рішення за обраними критеріями.
4. Вибір кращого варіанта конструктивно-технологічного рішення — рангування альтернативних варіантів.

Такий інтегрований підхід до проектування ще більше ускладнює процедуру вибору критеріїв оцінки якості майбутнього виробу, встановлення взаємозв'язку цих критеріїв із параметрами проектування, узгодження розмірностей; потребує комплексної оцінки якості пакувального обладнання.

1.6 Особливості вирішення багатокритеріальних задач синтезу пакувальних машин

Пошук оптимального рішення з декількома критеріями є актуальною задачею, адже у будь-якій технічній системі (пакувальна машина) є характеристики, кількісні значення яких бажано максимізувати, а є і такі, які

бажано кількісно всіляко зменшувати. Але між окремими характеристиками існує взаємна залежність і діє ряд обмежень. У результаті цього виявляється, що поза деякою областю збільшення одних характеристик неминуче тягне за собою зменшення інших, причому тих, чисельні значення яких бажано також збільшувати, і навпаки.

Залежно від того, в якому вигляді проявляється дія різних критеріїв, багатокритеріальні задачі можуть бути поділені на декілька класів.

- **Клас 1 - безліч якостей.** При виборі рішення мають прийматися до уваги кілька основних характеристик/якостей пакувальної машини. Прикладом завдання класу 1 може бути проектування оптимальної пакувальної машини для певної групи продуктів. За критерії оптимальності можна прийняти: масу, габарити, час переналагодження (ці параметри бажано мінімізувати), а також продуктивність, точність, термін служби тощо (ці характеристики потрібно по можливості максимізувати).

- **Клас 2 - безліч об'єктів.** Тут пакувальна машина складається з ряду функціональних модулів, якість функціонування кожного з яких - описується своїм одиничним критерієм, а ефективність машини визначається сукупністю одиничних критеріїв. Ця сукупність і є векторний критерій оптимізації. Фізична природа і розмірність одиничних критеріїв у задачах цього класу зазвичай однакові.

- **Клас 3 - безліч умов.** Пакувальна машина має функціонувати в різних умовах, для кожної з яких якість функціонування характеризується деяким одиничним критерієм. Ефективність пакувальної машини визначається при цьому сукупністю величин критеріїв для кожної з умов. Одиничні критерії в задачах цього класу мають однакову природу та розмірність.

- **Клас 4 - безліч етапів.** Пакувальна машина функціонує протягом ряду етапів (здебільшого тимчасових), причому якість функціонування на кожному етапі характеризується своїм окремим критерієм. Ефективність машини залежить від її функціонування на всіх етапах і, відповідно, виражається

векторним критерієм, складовими якого будуть одиничні, поетапні критерії.

- **Клас 5 - безліч варіантів постановки завдання.** У пакувальних машинах цього класу невизначеність виникає в самій постановці задачі, наприклад, якість функціонування машини залежить від значення деякого параметра, про який відома лише область його можливої зміни і залежність одиничного критерію від чисельного значення параметра. Якщо закон розподілу для параметра невідомий, то ефективність машини буде виражатися векторним критерієм, складовими якого будуть одиничні критерії для всіх можливих значень невідомого параметра. Розмірність одиничних критеріїв у задачах цього класу однакова.

Крім наведених класів задач можуть виникати також завдання, які містять риси двох або більше класів, або завдання, в яких складові векторного критерію є, в свою чергу, не скалярні, а векторні одиничні критерії.

1.7 Методи порівняння та оцінки багатокритеріальних альтернатив

Основними методами порівняння та оцінювання багатокритеріальних альтернатив в умовах визначеності вихідної інформації є:

- попарне порівняння: розробник, який приймає рішення (ОПР) здійснює попарне порівняння альтернатив щодо кожного критерію. Кількість альтернатив невелика, критерії як якісні, так і кількісні;

- лексикографічний метод: згідно даного методу ОПР здатний впорядкувати розглянуті критерії за ступенем їх значущості. Далі задається мінімальне значення для кожного критерію. Потім критерії ранжуються за вагою, визначається найбільш значущий і щодо нього розв'язуються критеріальні рівняння. Якщо в результаті цього рішення залишається одна альтернатива, вона визнається найбільш раціональною, якщо ні - вирішується задача щодо наступного за важливістю критерію і так до тих пір, поки залишиться лише одна альтернатива. Кількість можливих для цього методу альтернатив будь-яка, критерії можуть бути будь-якими;

- метод лексикографічного напіввпорядкування: відрізняється від лексикографічного методу можливістю використання кількісних критеріїв. У цьому методі відсіювання альтернатив не таке жорстке, в безліч допустимих рішень можуть входити альтернативи, оцінки за критерієм яких не сильно відрізняються від максимальних. Кількість порівнюваних альтернатив невелика;

- метод перестановок: у цьому методі перевіряються всі можливі перестановки альтернатив за перевагами і вони порівнюються між собою. Для цього критеріям надають вагу та складається матриця прийняття рішень. Далі відбувається побудова варіантів усіх перестановок і побудова безлічі номерів критеріїв (для кожної пари альтернатив), значення яких узгоджуються з порядком альтернатив цієї перестановки. Потім виконують оцінювання кожної альтернативи. Можлива будь-яка кількість альтернатив, критерії можуть бути будь-якими.

Методи, що базуються на кількісному відображенні уподобань розробника на множині критеріїв:

- метод простих збільшень: метод полягає в тому, що після призначення або встановлення ОПР ваги критеріїв, альтернативи порівнюються за шкалою одного критерію. Використовуватись можуть критерії будь-якого типу, кількість альтернатив велика;

- метод аналітичних ієрархій: спочатку відбувається розрахунок ваги кожного критерію, а потім до них вираховується вартість альтернативи, чим більше вартість, тим краще альтернатива. Для розрахунку ваги критеріїв їх попарно порівнюють, отримуючи оцінку співвідношення пар критеріїв з яких утворюється найсиметричніша матриця.

Методи, що базуються на інформації про допустимі значення критеріїв:

- задання мінімально допустимих значень критеріїв: цей підхід використовує чисельні критерії, відповідно до значень ОПР встановлює певну межу найменших значень, в які має входити той чи інший варіант;

- аналіз альтернатив тільки за критеріями, при яких досягаються «найкращі» показники: цей метод встановлює завдання внесення мінімуму дозволених значень критеріїв, а крім того ОПР відокремлює варіанти, які задовольняють більшою мірою. Кількість альтернатив - це кожне значення, а критерії - кількісні.

Методи, які не потребують ранжирування критеріїв:

- критерій Харвіца: критерій пропонує компроміс у методах максимуму і максимуму. Критерій Харвіца вважається межею цих критеріїв, а мета полягає в приписуванні деякої ваги оцінкам. Помноживши підсумки на відповідну вагу та підсумовуючи їх, ОПР отримує єдину суму. Потім обирається інший варіант з максимальним значенням.

- метод максимуму: цей метод можна інтерпретувати як найбільший виграш із тих, які безпосередньо можуть бути досягнуті ОПР в найбільш програшних для нього ситуаціях, і, таким чином, будуть гарантованим виграшем. Знаходження максимуму, як математичної операції, умовно складається в послідовному розв'язанні простих однокритеріальних завдань. Кількість альтернатив може бути будь-яким, а критерії кількісними.

- метод максимуму: цей метод є протилежністю методу максимуму, в даному методі відштовхуються не від найгіршого, а від найкращого варіанту.

Методи прийняття групових рішень:

- метод Дельфі: цей метод базується на тому, що експерти, які знаходяться в команді, не знаходяться у постійному контакті, а лише час від часу викладають і обговорюють власні пропозиції;

- метод ранжування альтернатив: ранжування альтернатив — це забезпечення ОПР загальною різноманітністю альтернатив вирішення проблеми. Після вивчення проблематики відбувається розподіл варіантів вирішення відповідно до рівня максимальної переваги і виявляються найбільш недоречні, які виключаються. У подальшому відбувається ранжування варіантів, які залишилися і знову відкидаються недоречні. Таким чином,

процес не зупиняється до отримання конкретного варіанту. Кількість альтернатив будь-яка, критерії не використовуються.

- метод парних порівнянь: почергове виділення ОПР пари альтернатив, розглянувши які фахівець змушений надати для будь-якої пари відповідне рішення. Потім відбувається ранжування відповідно до уподобань та потреб. У разі, якщо перелік із рішеннями досить великий, пропонується співставляти по 3 варіанти. Цей метод називається методом множинних порівнянь. Методи відрізняються тільки кількістю порівнюваних альтернатив.

- метод групового прийняття рішення за допомогою кластеризації експертних оцінок альтернатив: підхід базується на застосуванні кластеризації, тобто процедури об'єднання альтернатив у категорії, згідно принципу подібності за властивостями, ознакою. ОПР підбирає один із запропонованих способів кластеризації оцінок будь-якої варіації і здійснює кластеризацію відповідно до критеріїв. Головною перевагою цього методу є те, що в кінцевому оцінюванні враховуються всі без винятку кластери. При цьому вплив будь-якого із кластерів на остаточну оцінку відповідає його вазі. Кількість альтернатив і види критеріїв різні.

Висновки

1. Основною проблемою подальшого розвитку відомих методологій проектування є відсутність аналітичних і логічних залежностей, що пов'язують функціональне призначення пакувальної машини з її структурою, вимогами та умовами експлуатації й утилізації.

2. Проектування нового покоління пакувальних машин неможливе без створення нових систем програмних процедур у САПР технологіях, які б дали можливість конструктору на основі обмеженої інформації про пакувальну машину виконати всі етапи аналізу, синтезу, моделювання, оптимізації та відбору альтернатив.

3. Структурованість якості пакувальних машин є основою

функціонального принципу функціонально-кібернетичної еквівалентності. За такою технологією на етапі проектування аналізується сукупність функцій, що має реалізувати пакувальна машина, визначається головна функція, сполучені з нею корисні, нейтральні та шкідливі функції, а також встановлюються функціональні модуль-носії функцій та з'єднання їх між собою.

4. Для розв'язання складних сучасних умов виробництва пакованих продуктів доречним є застосування методів об'єктно-орієнтованого аналізу та дизайну й функціонально-орієнтованих технологій машинобудівного виробництва.

5. Пошук найкращого варіанта конструкції та структури пакувальної машини має базуватися на виконанні багатопараметричного синтезу як окремих функціональних модулів, так і машини загалом.

РОЗДІЛ 2. ДЕКОМПОЗИЦІЯ СТРУКТУРИ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНИМ ПРИЗНАЧЕННЯМ ТА ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ

2.1 Методологія критеріальної декомпозиції структури пакувальних машин

Серед важливих завдань у напрямку створення, удосконалення та експлуатації пакувального обладнання є адаптування й удосконалення системи збору, оброблення та аналізу інформації про його технічний стан і надійність. Своєчасне виявлення моментів виникнення деградаційних процесів, що визначають терміни переходу у граничний стан та є індивідуальними для кожного типу функціональних модулів пакувальної машини, є основною метою контролю рівня надійності техніки на етапі її компонування та експлуатації. Усе більшого поширення набуває система твердотілого параметричного моделювання. Спільним недоліком програмних продуктів моделювання є те, що в них подані для використання типові методи одно- і багатокритеріальної оптимізації, кожен з яких має свої обмеження щодо застосування, точності та швидкості отримання результату. Це не дає можливості комплексно, з єдиних позицій, оцінювати якість майбутнього обладнання на різних стадіях проектування, оптимізувати його структуру й параметри одночасно.

Розробник функціональних модулів та машин для пакування харчових продуктів зіштовхується із складними задачами які, переважно, не можна віднести до однокритеріальних, тому неможливо застосувати апарат дослідження операцій. Всі ФМ ПМ є складними технічними системами і характеризуються багатьма властивостями, що визначають їх технічну ефективність і споживчу вартість. Зв'язок і припущення між окремими суттєвими характеристиками ФМ ПМ спонукає йти на компроміс і вибирати для кожної характеристики не максимально можливе, а дещо менше значення,

за якого й усі інші важливі характеристики матимуть прийнятну величину.

Тому, доцільним є використання *методу декомпозиції*. Цей метод пов'язаний зі скороченням множини можливих розв'язків для конкуруючих проектних рішень [211, 212]. Подання складної системи як сукупності пов'язаних підсистем дає можливість будувати раціональніші алгоритми та методи оптимального синтезу порівняно з традиційними універсальними алгоритмами нелінійного проектування. Головною проблемою при такому підході до синтезу є виявлення зв'язку між складовими підсистемами, оскільки відомо [213, 214], що складна технічна система, побудована з оптимальних складових, здебільшого не є оптимальною.

Створюючи структуру ПМ при функціонально-модульному проектуванні можна виділити такі проектні процедури [215]:

$$\text{ПМ} = \langle A, S, W \rangle,$$

де A — аналіз та декомпозиція задачі проектування, яка задається службовою функцією ПМ та дає змогу виділити множину функціональних модулів і зв'язків між ними; S — синтез та генерування варіантів модулів у структуру машини; W - оцінка, порівняння та відхилення неперспективних варіантів.

Перша проектна операція A – це аналіз службової функції ПМ, її декомпозиція та виділення множини вихідних функціональних модулів і зв'язків між ними.

На **другій проектній операції S** за допомогою комбінаторних методів генеруються варіанти структури шляхом різних поєднань виділених вихідних елементів.

Третя проектна операція W передбачає оцінку кожного варіанта ПМ, відхилення неперспективних і вибір оптимального за допомогою розроблених або прийнятих критеріїв та обмежень.

Суть методу оцінки структури ПМ методом декомпозиції із подальшим морфологічним аналізом, полягає у наступному:

- 1) опис варіантів структури у вигляді дерева, вершини якого

відповідають елементам матриці, а стрілки позначають їх зв'язки, або таблиці декомпозиції ПМ, ФМ за логістичними принципами побудови технологічного процесу (послідовні операції, паралельні, послідовно- паралельні); знаходження сумарного часу виконання циклу T_{Σ} ;

2) знаходження першого варіанта структури та прийняття його вартості за максимально допустиму $B_{\max}$, а надійності — за мінімально допустиму $K_{\Gamma\min}$ виходячи із технічної продуктивності ПМ;

3) перебирання варіантів компонування ПМ за всіма відгалуженнями графа (або таблиці) та порівняння отриманих значень B_{ij} та $K_{\Gamma ij}$ із вже набраною вартістю $B_{\max}$ та $K_{\Gamma\min}$, який обчислюється за загальною формулою знаходження оптимального варіанту за економічним показником:

$$E_{\text{ПМ}} = \frac{B_{\text{ПМ}}}{Q_{\text{ТЕХ}}} \quad (2.1)$$

де $B_{\text{ПМ}}$ – вартість ПМ; $Q_{\text{ТЕХ}}$ – технічна продуктивність ПМ.

4) вибір варіанта із оптимальними результатами.

2.2 Декомпозиція структури машин

Методику виконання декомпозиції структури машин наведено на прикладі машин для пакування сипкої, в'язкої, в'язко-пластичної та дрібно-штучної продукції у споживчу тару й групового пакування та формування збільшених вантажних одиниць.

2.2.1 Машини пакування сипкої продукції у споживчу тару

Машини для пакування СХП у споживчу тару умовно можна навести сукупністю двох функціональних модулів: модуль дозування і фасування та модуль пакування і герметизації упаковки.

Здебільшого структура функціонального модуля дозування та фасування СХП є подібною для різних видів і типів пакувальних машин, а структура функціонального модуля пакування і герметизації залежить від виду і типу упаковки.

На рис. 2.1 наведений технологічний граф процесу дозування та фасування сипкої харчової продукції (СХП), а в табл. 2.1 опис графу.

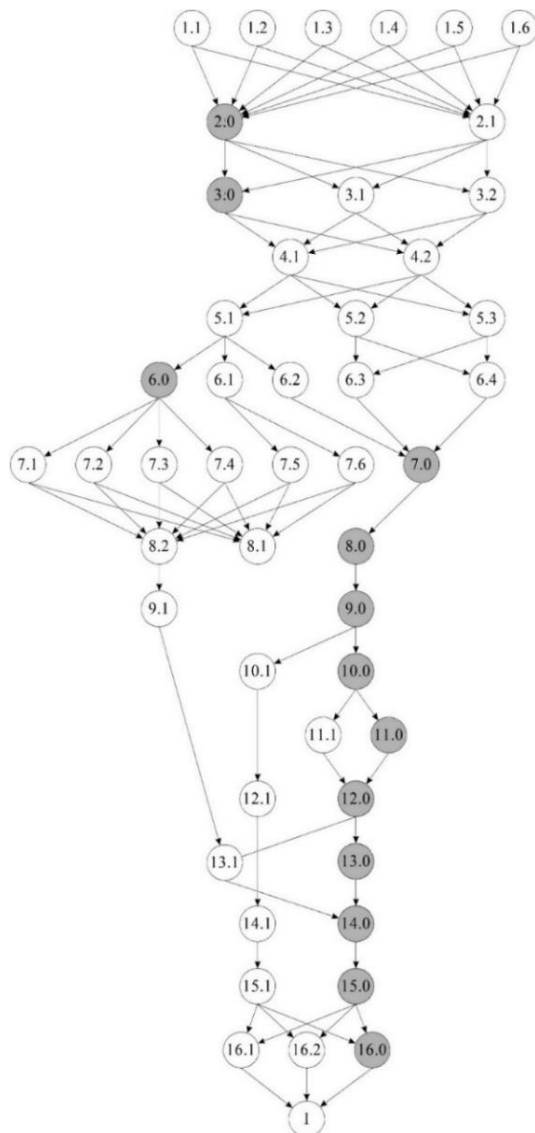


Рисунок 2.1 – Граф технологічного процесу дозування і фасування сипкої харчової продукції

Таблиця 2.1 – Опис технологічних операцій до графу дозування і фасування сипкої харчової продукції

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
I. Граф технологічного процесу дозування і фасування сипкої продукції (рис.2.1)		
Рівень 1.	1.1	Накопичення сипкої продукції в прямокутному бункері з бічним вивантажувальним каналом.
	1.2	Накопичення сипкої продукції в прямокутному бункері з похилим дном і бічним вивантажувальним каналом.
	1.3	Накопичення сипкої продукції в прямокутному бункері з похилим дном, передньою та задньою стінками, а також бічним вивантажувальним каналом.
	1.4	Накопичення сипкої продукції в прямокутному бункері з похилим дном та стінками, а також бічним вивантажувальним каналом.
	1.5	Накопичення сипкої продукції в циліндричному бункері.
	1.6	Накопичення сипкої продукції в еліптичному бункері.
Рівень 2.	2.0	Переміщення продукції в бункері самоплином.
	2.1	Переміщення продукції в бункері за допомогою пристрою перемішування (допоміжних пристроїв)
Рівень 3.	3.0	Зміна інтенсивності переміщення потоку сипкої продукції із бункера вручну.
	3.1	Автоматизована зміна інтенсивності переміщення потоку сипкої продукції із бункера.
Рівень 4.	4.1	Зміна положення манжети тарілчатого живильника.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
	4.2	Зміна перерізу вивантажувального каналу за допомогою зміни положення заслінки.
Рівень 5.	5.1	Переміщення продукції із бункера через круглий вивантажувальний отвір.
	5.2	Переміщення продукції із бункера через квадратний вивантажувальний отвір.
	5.3	Переміщення продукції із бункера через прямокутний вивантажувальний отвір.
Рівень 6.	6.0	
	6.1	Переміщення продукції шнековим живильником.
	6.2	Переміщення продукції стрічковим живильником.
	6.3	Подача продукції тарілчатим живильником.
	6.4	Переміщення продукції вібраційним живильником.
Рівень 7.	7.0	
	7.1	Зміна об'єму мірних ємностей за рахунок їх телескопічної конструкції в стаканчиковому дозаторі
	7.2	Зміна об'єму мірного каналу за рахунок його телескопічної конструкції в дозаторі шибєрного типу відповідно до заданої дози
	7.3	Зміна об'єму камери за рахунок зміни положення її денць в камерному дозаторі відповідно до заданої дози
	7.4	Зміна періоду коливач продуктопровода маятникового дозатора відповідно до заданої дози
	7.5	Зміна тривалості обертання дозувального шнека відповідно до заданої дози
	7.6	Зміна тривалості обертання дозувального шнека та виштовхування продукції, що включає тільки осьове переміщення шнека, відповідно до заданої дози

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Рівень 8.	8.0	
	8.1	Проведення об'ємного дозування
	8.2	Формування «грубої дози» об'ємним способом
Рівень 9.	9.0	
	9.1	Переміщення «грубої дози» продукції в зважувальну ємність
Рівень 10.	10.0	
	10.1	Завантаження частин дози продукції в проміжні ємності комбінаційного дозатора
Рівень 11.	11.0	
	11.1	Формування «грубої дози» для вагового способу дозування
Рівень 12.	12.0	
	12.1	Переміщення частин дози продукції в нижні зважувальні ємності
Рівень 13.	13.0	
	13.1	Проведення тонкого дозування ваговим способом
Рівень 14.	14.0	
	14.1	Зважування частин дози продукції
Рівень 15.	15.0	
	15.1	Формування заданої дози продукції із сукупності частин дози
Рівень 16.	16.0	
	16.1	Фасування продукції періодичним потоком
	16.2	Фасування продукції безперервним потоком

Конструктивно простішою машиною для пакування СХП в паперові пакети є машина лінійного типу. Вона має невелику продуктивність. Якщо машина укомплектована ваговим дозатором, то операція контрольного зважування не передбачена. Якщо укомплектована об'ємним дозатором, то на одному з етапів після дозування потрібно контрольне визначення ваги

продукту. Це зважувальний пристрій, де в разі відхилення ваги продукту вище встановленої межі, бракована пакувальна одиниця буде виштовхуватися, а в разі одностороннього відхилення ваги у трьох-чотирьох пакетів поспіль, подається зворотній сигнал на дозатор для зміни числа обертів шнека або розташування нижнього стакану відносно верхнього з метою коригування величини дози.

Більш продуктивними є пакувальні машини роторного типу, де розкриття пакету та операція дозування виконується в роторі, що обертається в горизонтальній площині (каруселі).

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в попередньо виготовлені паперові пакети можна виділити основні типові структури дозувально-фасувальних модулів:

1) для дозування ваговим способом:

1.4 – 2.0 – 3.0 – 4.2 – 5.3 – 6.3 – 7.0 – 8.0 – 9.0 – 10.0 – 11.1 – 12.0 – 13.1 – 14.0 – 15.0 – 16.1

2) для дозування комбінованим способом:

1.5 – 2.0 – 3.0 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 7.1 – 8.2 – 9.1 – 10.0 – 11.0 – 12.0 – 13.1 – 14.0 – 15.0 – 16.1

3) для дозування об'ємним способом:

1.5 – 2.0 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.0 – 7.1 – 8.1 – 9.0 – 10.0 – 11.0 – 12.0 – 13.0 – 14.0 – 15.0 – 16.2

3) для дозування комбінаційним способом:

1.3 – 2.0 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.0 – 7.1 – 8.0 – 9.0 – 10.1 – 11.0 – 12.1 – 13.0 – 14.1 – 15.1 – 16.1

Формалізоване представлення графа технологічного процесу дозування і фасування СХП в попередньо виготовлені паперові пакети виражається наступним чином:

$$S: m_1(x_{1.1} \cup x_{1.2} \cup x_{1.3} \cup x_{1.4} \cup x_{1.5} \cup x_{1.6}) \cap m_2(x_{2.0} \cup x_{2.1}) \cap m_3(x_{3.0} \cup x_{3.1} \cup x_{3.2}) \cap \\ \cap m_4(x_{4.1} \cup x_{4.2}) \cap m_5(x_{5.1} \cup x_{5.2} \cup x_{5.3}) \cap m_6(x_{6.0} \cup x_{6.1} \cup x_{6.2} \cup x_{6.3} \cup x_{6.4}) \cap \\ \cap m_7(x_{7.0} \cup x_{7.1} \cup x_{7.2} \cup x_{7.3} \cup x_{7.4} \cup x_{7.5} \cup x_{7.6}) \cap m_8(x_{8.0} \cup x_{8.1} \cup x_{8.2}) \cap \\ \cap m_9(x_{9.0} \cup x_{9.1}) \cap m_{10}(x_{10.0} \cup x_{10.1}) \cap m_{11}(x_{11.0} \cap x_{11.1}) \cap m_{12}(x_{12.0} \cap x_{12.1}) \cap \\ \cap m_{13}(x_{13.0} \cup x_{13.1}) \cap m_{14}(x_{14.0} \cup x_{14.1}) \cap m_{15}(x_{15.0} \cup x_{15.1}) \cap m_{16}(x_{16.1})$$

Розглянемо можливі схеми декомпозиції структури машин для пакування в попередньо виготовлені паперові пакети застосувавши структурний граф технологічного процесу (рис.2.2), якому притаманні характерні операції, опис яких наведено в табл. 2.2.

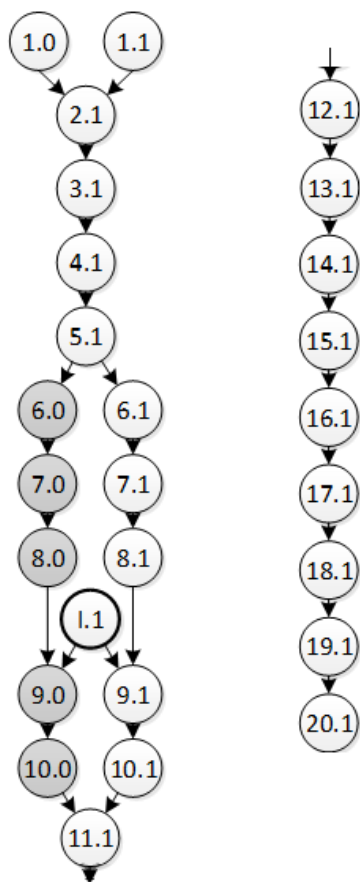


Рисунок 2.2 – Граф технологічного процесу пакування СХП в попередньо виготовлені паперові пакети

Таблиця 2.2. – Опис технологічних операцій до графу процесу пакування СХП в попередньо виготовлені паперові пакети

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Рівень 1.		Подача стопи паперових пакетів
	1.0	Ручне завантаження стопи паперових пакетів до пристрою накопичення (магазину).
	1.1.	Автоматизоване завантаження стопи паперових пакетів до пристрою накопичення (магазину).
Рівень 2.	2.1.	Захоплення одиничного пакету
Рівень 3.	3.1	Попереднє розкриття пакету
Рівень 4.	4.1	Подача пакету в зону дозування
Рівень 5.	5.1	Розкриття пакету
Рівень 6.	6.0	
	6.1	Надягання пакету на фасувальний канал
Рівень 7.	7.0	
	7.1	Випрямлення верху пакету
Рівень 8.	8.0	
	8.1	Притискання пакету до фасувального каналу
	1.0	Дозування та фасування продукції (рис.2.1)
Рівень 9.	9.0	
	9.1	Подача пакету на приймальний столик
Рівень 10.	10.0	
	10.1	Піднімання пакету з продукцією
Рівень 11.	11.0	Перевантаження пакету з продукцією на конвеєр
Рівень 12.	12.1	Утрушування продукції в пакеті
Рівень 13.	13.1	Обтискання пакету
Рівень 14.	14.1	Загинання бічних фальців
Рівень 15.	15.1	Стискання верхніх країв пакету
Рівень 16.	16.1	Відрізання верхнього краю пакету
Рівень 17.	17.1	Нанесення клею
Рівень 18.	18.1	Загинання краю пакету
Рівень 19.	19.1	Формування клейового шва
Рівень 20.	20.1	Виведення готової пакованої одиниці з машини

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в попередньо виготовлені паперові пакети можна виділити основні типи структур машини:

$$1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - \textcircled{1.1} - 9.1 - 10.1 - 11.1 - 12.1 - \\ - 13.1 - 14.1 - 15.1 - 16.1 - 17.1 - 18.1 - 19.1 - 20.1,$$

Формалізоване представлення графа технологічного процесу пакування СХП в попередньо виготовлені паперові пакети виражається наступним чином:

$$S: m_1(x_{1.0} \cup x_{1.1}) \cap m_2(x_{2.1}) \cap m_3(x_{3.1}) \cap m_4(x_{4.1}) \cap m_5(x_{5.1}) \cap \\ \cap m_6(x_{6.0} \cup x_{6.1}) \cap m_7(x_{7.0} \cup x_{7.1}) \cap m_8(x_{8.0} \cup x_{8.1}) \cap m_9(x_{9.0} \cup x_{9.1}) \cap \\ \cap m_{10}(x_{10.0} \cup x_{10.1}) \cap m_{11}(x_{11.1}) \cap m_{12}(x_{12.1}) \cap m_{13}(x_{13.1}) \cap m_{14}(x_{14.1}) \cap \\ \cap m_{15}(x_{15.1}) \cap m_{16}(x_{16.1}) \cap m_{17}(x_{17.1}) \cap m_{18}(x_{18.1}) \cap m_{19}(x_{19.1}) \cap m_{20}(x_{20.1})$$

Технологічний процес пакування сипкої продукції в картонну пачку, який враховує всі три можливі стадії її виготовлення та формоутворення в пакувальній машині з:

- висічки пачки, наведений на рис. 2.3 (табл.2.3);
- плоскоскладеної заготовки, наведений на рис. 2.4 – 2.6 (табл.2.4 – 2.6);
- рулона картону, наведений на рис.2.7 (табл. 2.7).

Пакувальні машини, що реалізують **перший спосіб**, зазвичай виконані з роторним та лінійно-роторним компонуванням та є періодичної дії. Характеризуються досить складною кінематикою, наявністю великої кількості виконавчих механізмів або приводів, що стримує можливості збільшення продуктивності.

Пакувальні машини, що реалізують **другий спосіб** формування упаковки із плоскоскладених картонних заготовок, що склеєні по поздовжньому шву, мають часто безперервний принцип дії. Всі операції по формоутворенню пачки, фасуванню продукції тощо виконуються без зупинки транспортної системи, що суттєво зменшує (в порівнянні з обладнанням дискретної дії) динамічні навантаження і забезпечує можливість збільшення продуктивності.

Найбільш конструктивно складними є пакувальні машини, які працюють за **третім способом**, за яким пачку безпосередньо виготовляють з рулонного

картону або ламінованого картону із шаром алюмінію. Вони можуть бути як періодичної, так і безперервної дії; виконані з роторним або лінійним компонуванням.

На основі аналізу конструкцій *обладнання для пакування СХП в картонні пачки* можна виділити такі основні типові структури модуля для виготовлення картонних висічок пачки:

1) 17.2 – 18.2 – 19.1 – 20.2 – 21.1 – 22.3 – 23.1 – 24.1

2) 17.2 – 18.2 – 19.2 – 20.1 – 21.2 – 22.1 – 23.1 – 24.2

Формалізоване представлення графа технологічного процесу виготовлення картонних висічок пачки виражається наступним чином:

$$S: m_{11}(x_{17.1}) \cap m_{18}(x_{18.0} \cup x_{18.1}) \cap m_{19}(x_{19.0} \cup x_{19.1}) \cap \\ \cap m_{20}(x_{20.1} \cup x_{20.2}) \cap m_{21}(x_{21.1} \cup x_{21.2}) \cap m_{22}(x_{22.1} \cup x_{22.2} \cup x_{22.3}) \cap \\ \cap m_{23}(x_{23.1}) \cap m_{24}(x_{24.1} \cup x_{24.2})$$

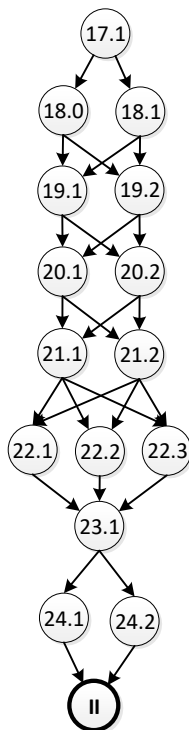


Рисунок 2.3 – Технологічний граф процесу виготовлення картонних висічок пачки

Таблиця 2.3 – Опис технологічних операцій до графу процесу виготовлення картонних висічок пачки

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
П. Технологічний граф процесу виготовлення картонних висічок пачки (рис.2.3)		
Рівень 17.	17.1	Подача картонних аркушів автоматизовано
Рівень 18.	18.0	Ручне завантаження стопи картонних аркушів до пристрою накопичення (магазину).
	18.1	Автоматизоване завантаження стопи картонних аркушів до пристрою накопичення (магазину).
Рівень 19.	19.1	Виділення одиничного аркуша картону з верхнім розвантаженням магазину за допомогою вакуумних пристроїв захоплення.
	19.2	Виділення одиничного аркуша картону з нижнім розвантаженням магазину за допомогою нижнього несучого стрічкового конвеєра.
Рівень 20.	20.1	Подача одиничного аркуша картону захоплювальними валками на висікання
	20.2	Подача одиничного аркуша картону вакуумними пристроями захоплення на висікання.
Рівень 21.	21.1	Штанцювання (бігувальними і різальними лінійками) викрійки пачки з аркуша картону плоскою штанцформою.
	21.2	Штанцювання (бігувальними і різальними лінійками) викрійки пачки з аркуша картону ротаційною штанцформою.
Рівень 22.	22.1	Виведення аркуша картону з висічкою (висічками) пачки з зони штанцювання валками захоплення.
	22.2	Виведення аркуша картону з висічкою (висічками) пачки із зони штанцювання вакуумними пристроями захоплення.
	22.3	Виведення аркуша картону з висічкою (висічками) пачки із зони штанцювання вакуумними пристроями захоплення та захоплювальними валками.

1	2	3
Рівень 23.	23.1	Видалення облою після штанцювання висічки (висічок) пачки на аркуші картону в секції для видалення облою, за допомогою спеціальної форми, яка складається з верхньої та нижньої рами із спеціальними пристроями, а також проміжну відокремлюючу матричну дошку
Рівень 24.	24.1	Виведення готової висічки (висічок) пачки з зони штанцювання за допомогою вакуумних пристроїв захоплення.
	24.2	Виведення готової висічки (висічок) пачки з зони штанцювання за допомогою захоплювальних валків

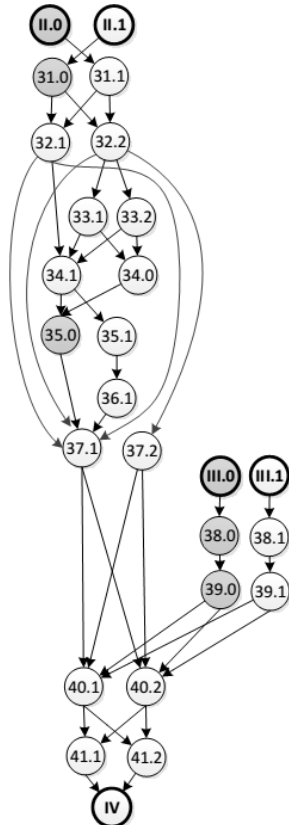


Рисунок 2.4 – Технологічний граф процесу виготовлення пачки з плоскоскладеної заготовки

*Таблиця 2.4 – Опис технологічних операцій до графу процесу
виготовлення пачки з плоскоскладеної заготовки*

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
IV. Технологічний граф процесу виготовлення пачки з плоскоскладеної заготовки (рис.2.4)		
	II.0	Ручне завантаження висічок пачки до пристрою накопичення (магазину).
	II.1	Подача висічок із модуля виготовлення висічок картонних пачок
Рівень 31.	31.0	
	31.1	Виділення висічок пачки із магазину
Рівень 32.	32.1	Переміщення висічок пачки в пристрій виготовлення плоскоскладених заготовок.
	32.2	Переміщення висічок пачки в транспортну систему
Рівень 33.	33.1	Переміщення висічок пачки конвесром з нижніми пасовими передачами та верхніми притискними роликами
	33.2	Переміщення висічок пачки на конвесрі з верхніми та нижніми пасовими передачами
Рівень 34.	34.0	
	34.1	Загинання клапанів дна пачки із самозбірним дном за допомогою активних Г-подібних напрямних
Рівень 35.	35.0	
	35.1	Загинання склеювальних клапанів на дні пачки із самозбірним дном.
Рівень 36.	36.1	Нанесення клею на склеювальні клапани дна пачки із самозбірним дном.
Рівень 37.	37.1	Нанесення клею на бічний склеювальний клапан пачки.
	37.2	Нанесення клею на бічний склеювальний клапан пачки та внутрішні сторони пачки
	III.0	
	III.1	Виготовлення рукава з термозварної плівки для внутрішнього об'ємного пакету

Продовження таблиці 2.4

1	2	3
Рівень 38.	38.0	
	38.1	Відрізання заготовки від рукава термозварної плівки для внутрішнього об'ємного пакету
Рівень 39.	39.0	
	39.1	Переміщення заготовки внутрішнього пакету на висічку пачки
Рівень 40.	40.1	Складання висічки пачки пополам при переміщенні по пасивним напрямним та за допомогою пасових передач
	40.2	Складання висічки пачки пополам за допомогою активних робочих органів пристрою виготовлення плоскоскладених заготовок.
Рівень 41.	41.1	Формування поздовжнього клейового шва та склеювання клапанів дна для пачки з самозбірним дном.
	41.2	Формування поздовжнього клейового шва для пачки з чотириклапанним дном та кришкою, з двоклапанним дном та кришкою із замковим з'єднанням, Т-подібним замковим з'єднанням дна

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в пачки, виготовлені із плоскоскладеної заготовки, можна виділити основні типові структури модулів:

1) із замковим з'єднанням дна пачки

II.1 – 31.1 – 32.1 – 33.1 – 34.1 – 35.1 – 36.1 – 37.1 – III.0 – 38.0 – 39.0 – 40.1 – 41.1

2) без внутрішнього пакету для пачок з чотириклапанним дном та кришкою, з двоклапанним дном та кришкою із замковим з'єднанням, Т-подібним замковим з'єднанням дна:

II.1 – 31.1 – 32.1 – 33.1 – 34.0 – 35.0 – 36.0 – 37.1 – III.0 – 38.0 – 39.0 – 40.1 – 41.2

3) для чотириклапанної пачки з внутрішнім пакетом:

II.1 – 31.1 – 32.1 – 33.0 – 34.0 – 35.0 – 36.0 – 37.2 – III.1 – 38.1 – 39.1 – 40.2 –

41.2

Формалізоване представлення графа технологічного процесу пакування СХП в пачки, виготовлені із плоскоскладеної заготовки, виражається таким чином:

$$S: m_{31}(x_{31.0} \cup x_{31.1}) \cap m_{32}(x_{32.1} \cup x_{32.2}) \cap m_{33}(x_{33.1} \cup x_{33.2}) \cap \\ \cap m_{34}(x_{34.0} \cup x_{34.1}) \cap m_{35}(x_{35.0} \cup x_{35.1}) \cap m_{36}(x_{36.1}) \cap \\ \cap m_{37}(x_{37.1} \cup x_{37.2}) \cap m_{38}(x_{38.0} \cup x_{38.1}) \cap m_{39}(x_{39.0} \cup x_{39.1}) \cap \\ \cap m_{40}(x_{40.1} \cup x_{40.2}) \cap m_{41}(x_{41.1} \cap x_{41.2})$$

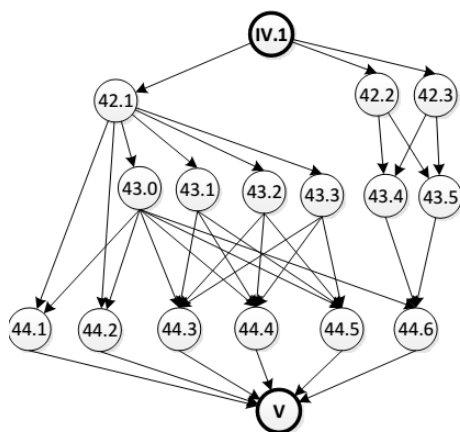


Рисунок 2.5 –
Технологічний граф
процесу накопичення
плоскоскладених
заготовок картонної
пачки в магазині

Таблиця 2.5 – Опис технологічних операцій до графу процесу накопичення плоскоскладених заготовок картонної пачки в магазині

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
1	2	3
V. Технологічний граф процесу накопичення плоскоскладених заготовок картонної пачки (ПСЗП) в магазині (рис.2.5)		
	IV.1	Подача плоскоскладеної заготовки пачки з та без внутрішнього пакету
Рівень 42.	42.0	
	42.1	Переміщення потоку ПСЗП з одночасним формуванням стопи вертикально орієнтованих ПСЗП до магазину
	42.2	Переміщення потоку ПСЗП на стрічковому конвеєрі до магазину

Продовження таблиці 2.5

1	2	3
	42.3	Переміщення потоку ПСЗП з одночасним переорієнтуванням потоку нахилених під певним кутом ПСЗП до магазину
Рівень 43.	43.0	Ручна подача стопи ПСЗП в магазин
	43.1	Подача стопи вертикально орієнтованих ПСЗП з переорієнтуванням у похило орієнтований магазин
	43.2	Подача стопи вертикально орієнтованих ПСЗП з переорієнтуванням у похило орієнтований магазин з приводними робочими органами дна
	43.3	Подача ПСЗП з прискоренням у магазин, розташований під гострим кутом до основного напрямку руху
	43.4	Подача стопи вертикально орієнтованих ПСЗП в вертикальний магазин, шляхом перекидання за допомогою криволінійної пасивної напрямної
	43.5	Подача в вертикальний магазин горизонтального потоку ПСЗП
Рівень 44.	44.1	Примусове переміщення ПСЗП в горизонтальному магазині під дією приводних робочих органів
	44.2	Примусове переміщення ПСЗП в горизонтальному магазині під дією рухомого упору.
	44.3	Гравітаційне переміщення стопи ПСЗП в похило орієнтованому магазині
	44.4	Примусове переміщення ПСЗП в похило орієнтованому магазині під дією рухомого упора
	44.5	Комбіноване переміщення ПСЗП в похило орієнтованому магазині
	44.6	Гравітаційне переміщення стопи ПСЗП в вертикальному магазині

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в картонні пачки можна виділити основні типові структури модулів накопичення плоскоскладених заготовок картонної пачки в магазині:

IV.1 – 42.1 – 43.1 – 44.5

Формалізоване представлення графа технологічного процесу накопичення висічок та плоскоскладених заготовок картонних пачок виражається таким чином:

$$S: m_{42}(x_{42.1} \cup x_{42.2} \cup x_{42.3}) \cap m_{43}(x_{43.0} \cup x_{43.1} \cup x_{43.2} \cup x_{43.3} \cup x_{43.4} \cup x_{43.5}) \\ \cap m_{44}(x_{44.1} \cup x_{44.2} \cup x_{44.3} \cup x_{44.4} \cup x_{44.5} \cup x_{44.6}).$$

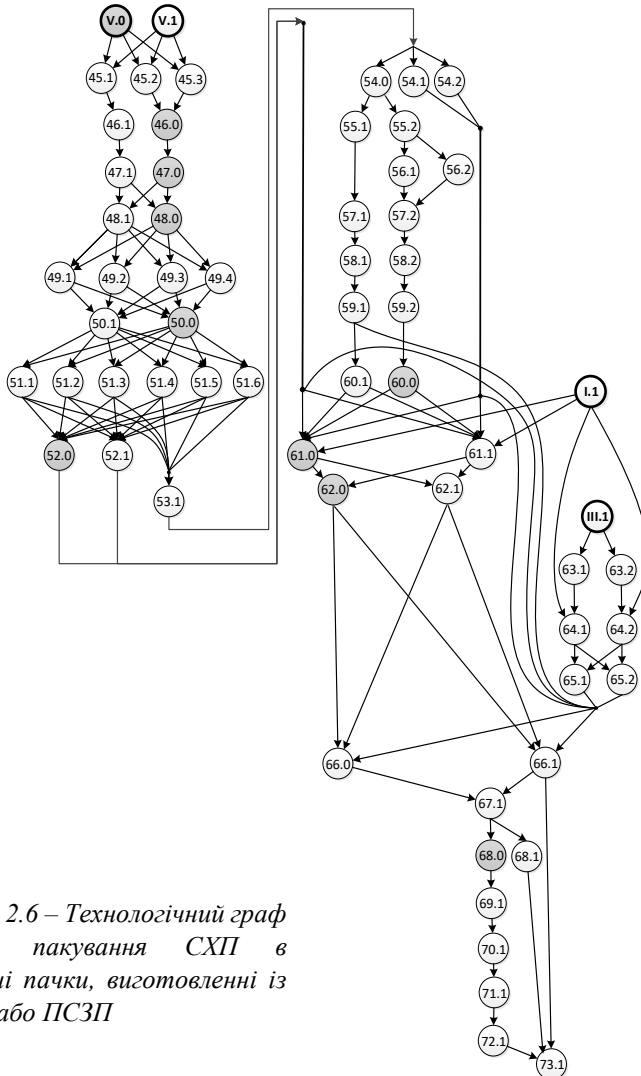


Рисунок 2.6 – Технологічний граф процесу пакування СХП в картонні пачки, виготовленні із висічки або ПСЗП

Таблиця 2.6 – Опис технологічних операцій до графу процесу пакування СХП в картону пачку виготовлену із висічки або ПСЗП

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
1	2	3
VI. Технологічний граф процесу пакування СХП в картонну пачку (рис.2.6)		
	V.0	Ручне завантаження ПСЗП в пристрій накопичення (магазин)
	V.1	Подача ПСЗП в пристрій накопичення (магазин) з попередніх модулів ПМ
Рівень 45.	45.1	Виділення ПСЗП з вертикального магазину з нижнім розвантажуванням за допомогою стрічкового конвеєра
	45.2	Виділення одиничних ПСЗП з вертикального магазину за допомогою штовхача і неприводного ролика
	45.3	Виділення ПСЗП з магазину з нижнім розвантажуванням за допомогою вакуумного пристрою захоплення
Рівень 46.	46.0	
	46.1	Переміщення одиничних ПСЗП стрічковим конвеєром з упорами
Рівень 47.	47.0	
	47.1	Переорієнтування ПСЗП вакуумними пристроями захоплення на розкриття
Рівень 48.	48.0	
	48.1	Попереднє розкриття ПСЗП за допомогою вакуумних пристроїв захоплення
Рівень 49.	49.1	Розкриття ПСЗП за допомогою пристрою зіштовхування
	49.2	Розкриття ПСЗП за допомогою вакуумного пристрою захоплення
	49.3	Розкриття ПСЗП за допомогою вакуумного пристрою захоплення і криволінійної напрямної.
	49.4	Розкриття ПСЗП за допомогою поворотного пристрою захоплення

1	2	3
Рівень 50.	50.0	
	50.1	Переорієнтування і переміщення заготовки пачки в транспортну систему
Рівень 51.	51.1	Покрокове прямолінійне переміщення заготовки пачки за допомогою П-подібного пристрою захоплення
	51.2	Покрокове прямолінійне переміщення заготовки пачки пристроєм зіштовхування
	51.3	Переміщення заготовки пачки в транспортній системі з П-подібними вертикальними карманными носіями
	51.4	Переміщення заготовки пачки в транспортній системі з П-подібними горизонтальними карманными носіями
	51.5	Переміщення заготовки пачки в транспортній системі з горизонтальними карманными носіями, які мають поворотні пристрої захоплення
	51.6	Переміщення заготовки пачки в транспортній системі з вертикальними карманными носіями з поворотними пристроями захоплення
Рівень 52.	52.0	Для пачок із самозбірним замковим з'єднанням дна
	52.1	Закриття триклапанного дна із замковим з'єднанням за допомогою спеціального пристрою
Рівень 53.	53.1	Закриття бічних (коротких) клапанів дна пачки.
Рівень 54.	54.0	
	54.1	Протягування язичка більшого клапану в середину пачки з Т-подібним замковим з'єднанням дна
	54.2	Закриття триклапанного дна із замковим з'єднанням пачки
Рівень 55.	55.1	Розкриття переднього та заднього (більших) клапанів дна пачки з чотириклапанним дном та кришкою
	55.2	Розкриття переднього та заднього клапанів дна пачки з чотириклапанним дном та кришкою і заготовкою для внутрішньої об'ємної пачки

Продовження таблиці 2.6

1	2	3
Рівень 56.	56.0	
	56.1	Формування нижнього поперечного шва заготовки внутрішнього пакету в пачці за допомогою термозварних губок
	56.2	Формування нижнього поперечного шва заготовки внутрішнього пакету з бічними складками в пачці за допомогою термозварних губок із додатковими активними напрямними
Рівень 57.	57.1	Нанесення клею на передній та задній клапани дна пачки
	57.2	Нанесення клею на передній та задній клапани дна пачки з внутрішньою заготовкою пакету
Рівень 58.	58.1	Закриття переднього та заднього клапанів дна пачки
	58.2	Закриття переднього та заднього клапанів дна пачки з внутрішньою заготовкою пакету
Рівень 59.	59.1	Формування клейового шва дна пачки
	59.2	Формування клейового шва дна пачки з внутрішньою заготовкою пакету
Рівень 60.	60.0	
	60.1	Розкриття верху внутрішнього пакету пачки
	I.1	Фасування СХП
Рівень 61.	61.0	
	61.1	Ущільнення продукції в пачці шляхом прикладення направлених коливань
Рівень 62.	62.0	
	62.1	Формування верхнього поперечного шва внутрішнього пакету за допомогою термозварних губок / термозварних губок із додатковими активними напрямними для пакету з бічними складками
	III.1	Виготовлення рукава пакувального матеріалу
Рівень 63.	63.1	Формування нижнього поперечного шва внутрішнього пакету за допомогою термозварних губок

Продовження таблиці 2.6

1	2	3
	63.2	Формування нижнього поперечного шва внутрішнього пакету з бічними складками за допомогою термозварних губок із додатковими активними напрямними
Рівень 64.	64.1	Формування верхнього поперечного шва внутрішнього пакету за допомогою термозварних губок
	64.2	Формування нижнього поперечного шва внутрішнього пакету з бічними складками за допомогою термозварних губок із додатковими активними напрямними
Рівень 65.	65.1	Переміщення пакету з продукцією в вертикально розміщену пачку
	65.2	Переміщення пакету з продукцією в горизонтально розміщену пачку за допомогою пристрою зіштовхування
Рівень 66.	66.0	
	66.1	Закриття триклапанної кришки із замковим з'єднанням пачки спеціальним пристроєм.
Рівень 67.	67.1	Закриття бічних (коротких) клапанів кришки пачки
Рівень 68.	68.0	
	68.1	Закриття триклапанної кришки пачки із замковим з'єднанням
Рівень 69.	69.1	Розкриття переднього та заднього клапанів кришки пачки.
Рівень 70.	70.1	Нанесення клею на передній та задній клапани кришки пачки
Рівень 71.	71.1	Закриття переднього та заднього клапанів кришки пачки.
Рівень 72.	72.1	Формування клейового шва кришки пачки
Рівень 73.	73.1	Виведення пакованої одиниці - картонної пачки, упаковки типу пакет в картонній пачці, з пакувальної машини

На основі аналізу варіантів конструкцій обладнання для пакування СХП

в картону пачку виготовлену із ПСЗП можна виділити типову структуру машини:

1.4 – 2.0 – 3.0 – 4.2 – 5.3 – 6.3 – 7.0 – 8.0 – 9.0 – 10.0 – 11.1 – 12.0 – 13.1 – 14.0 – 15.0 – 16.1 – V.0 – 45.3 – 46.0 – 47.0 – 48.1 – 49.3 – 50.0 – 51.3 – 53.1 – 54.0 – 55.1 – 57.1 – 58.1 – 59.1 – 60.0 – 61.1 – 62.0 – 66.0 – 67.1 – 68.0 – 69.1 – 70.1 – 71.1 – 72.1 – 73.1

Формалізоване представлення графа технологічного процесу пакування СХП в картону пачку виготовлену із ПСЗП виражається таким чином:

$$\begin{aligned}
 S: & m_{45}(x_{45.1} \cup x_{45.2} \cup x_{45.3}) \cap m_{46}(x_{46.0} \cup x_{46.1}) \cap m_{47}(x_{47.0} \cup x_{47.1}) \cap m_{48}(x_{48.0} \cup x_{48.1}) \\
 & \cap m_{49}(x_{49.1} \cup x_{49.2} \cup x_{49.3} \cup x_{49.4}) \cap m_{50}(x_{50.0} \cup x_{50.1}) \cap m_{49}(x_{49.1} \cup x_{49.2} \cup x_{49.3} \cup x_{49.4}) \cap \\
 & m_{50}(x_{50.0} \cup x_{50.1}) \cap m_{51}(x_{51.1} \cup x_{51.2} \cup x_{51.3} \cup x_{51.4} \cup x_{51.5} \cup x_{51.6}) \cap m_{52}(x_{52.0} \cup x_{52.1}) \\
 & \cap m_{53}(x_{53.1}) \cap m_{54}(x_{54.0} \cup x_{54.1} \cup x_{54.2}) \cap m_{55}(x_{55.1} \cup x_{55.2}) \cap m_{56}(x_{56.1} \cup x_{56.2}) \\
 & \cap m_{57}(x_{57.1} \cup x_{57.2}) \cap m_{58}(x_{58.1} \cup x_{58.2}) \cap m_{59}(x_{59.1} \cup x_{59.2}) \cap m_{60}(x_{60.0} \cup x_{60.1}) \\
 & \cap m_{61}(x_{61.0} \cup x_{61.1}) \cap m_{62}(x_{62.1} \cup x_{62.2}) \cap m_{63}(x_{63.1} \cup x_{63.2}) \cap m_{64}(x_{64.1} \cup x_{64.2}) \\
 & \cap m_{65}(x_{65.1} \cup x_{65.2}) \cap m_{66}(x_{66.0} \cup x_{66.1}) \cap m_{67}(x_{67.1}) \cap m_{68}(x_{68.0} \cup x_{68.1}) \\
 & \cap m_{69}(x_{69.1}) \cap m_{70}(x_{70.1}) \cap m_{71}(x_{71.1}) \cap m_{72}(x_{72.1}) \cap m_{73}(x_{73.1})
 \end{aligned}$$

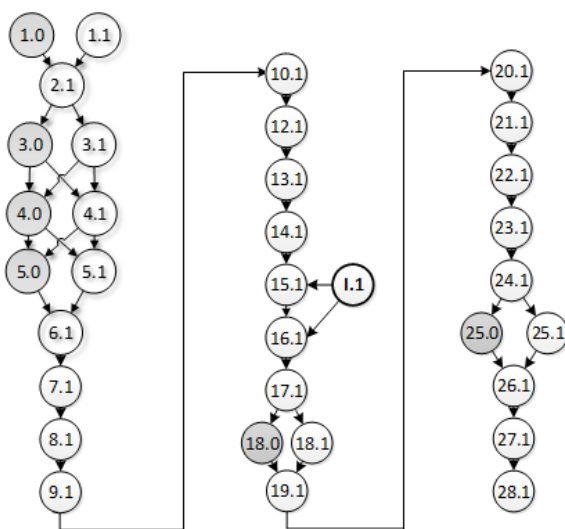


Рисунок 2.7 – Технологічний граф процесу пакування СХП в картонну пачку, виготовлену із рулонного пакувального матеріалу

Таблиця 2.7 – Опис технологічних операцій до графу процесу пакування СХП в картонну пачку, виготовлену із рулонного пакувального матеріалу

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Рівень 1.	1.0	Установка рулону пакувального матеріалу в машину вручну
	1.1	Установка рулону пакувального матеріалу в машину автоматично
Рівень 2.	2.1	Розмотування рулону пакувального матеріалу
Рівень 3.	3.0	
	3.1	Амортизація і акумулювання стрічки пакувального матеріалу
Рівень 4.	4.0	
	4.1	Компенсація надлишку пакувального матеріалу при зміні режиму роботи робочих органів модуля пакування з безперервного на періодичний
Рівень 5.	5.0	
	5.1	Гальмування стрічки пакувального матеріалу
Рівень 6.	6.1	Регулювання натягу стрічки рулонного пакувального матеріалу
Рівень 7.	7.1.	Поздовжнє прорізання стрічки пакувального матеріалу
Рівень 8.	8.1	Нанесення клею на стрічку пакувального матеріалу
Рівень 9.	9.1	Відрізання заготовки пачки
Рівень 10.	10.1	Огортання заготовкою пачки оправки
Рівень 11.	11.1	Склеювання поздовжнього шва пачки
Рівень 12.	12.1	Загинання бічних клапанів дна пачки
Рівень 13.	13.1	Розкриття переднього та заднього клапанів дна пачки
Рівень 14.	14.1	Нанесення клею на передній та задній клапани дна пачки
Рівень 15.	15.1	Загинання переднього та заднього клапанів дна пачки
Рівень 16.	16.1	Притискання дна пачки

1	2	3
Рівень 17.	17.1	Подача заготовки пачки в зону фасування продукції
Рівень 18.	18.0	
	18.1	Утрушування СХП в пачці
Рівень 19.	19.1	Розрізання клапанів верху пачки
Рівень 20.	20.1	Загинання бічних клапанів верху пачки
	21.1	Розкриття переднього та заднього клапанів верху пачки
Рівень 21.	22.2	Нанесення клею на передній та задній клапани верху пачки
Рівень 22.	23.1	Загинання переднього та заднього клапанів верху пачки
Рівень 23.	24.1	Підпресовування пачки
Рівень 24.	25.0	
	25.1	Виштовхування бракованої пакувальної одиниці
Рівень 25.	26.1	Виштовхування пачки з карманного носія
Рівень 26.	27.1	Подача пачки на відвідний конвеєр
Рівень 27.	28.1	Виведення готової пакувальної одиниці

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в картону пачку виготовлену із рулонного пакувального матеріалу можна виділити типову структуру машини:

$$\begin{aligned}
 & 1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 9.1 - 10.1 - \\
 & - 11.1 - 12.1 - 13.1 - 14.1 - 15.1 - 16.1 - 17.1 - 18.1 - 19.1 - \\
 & - 20.1 - 21.1 - 22.1 - 23.1 - 24.1 - 25.1 - 26.1 - 27.1 - 28.1
 \end{aligned}$$

Формалізоване представлення графа процесу пакування СХП в картону пачку виготовлену із рулонного пакувального матеріалу виражається таким чином:

$$\begin{aligned}
 S: & m_1(x_{1.0} \cup x_{1.1}) \cap m_2(x_{2.1}) \cap m_3(x_{3.0} \cup x_{3.1}) \cap m_4(x_{4.0} \cup x_{4.1}) \cap \\
 & \cap m_5(x_{5.0} \cup x_{5.1}) \cap m_6(x_{6.1}) \cap m_7(x_{7.1}) \cap m_8(x_{8.1}) \cap m_9(x_{9.1}) \cap \\
 & \cap m_{10}(x_{10.1}) \cap m_{11}(x_{11.1}) \cap m_{12}(x_{12.1}) \cap m_{13}(x_{13.1}) \cap m_{14}(x_{14.1}) \cap \\
 & \cap m_{15}(x_{15.1}) \cap m_{16}(x_{16.1}) \cap m_{17}(x_{17.1}) \cap m_{18}(x_{18.0} \cup x_{18.1}) \cap \\
 & \cap m_{19}(x_{19.1}) \cap m_{20}(x_{20.1}) \cap m_{21}(x_{21.1}) \cap m_{22}(x_{22.1}) \cap m_{23}(x_{23.1}) \cap \\
 & \cap m_{24}(x_{24.1}) \cap m_{25}(x_{25.0} \cup x_{25.1}) \cap m_{26}(x_{26.1}) \cap m_{27}(x_{27.1}) \cap m_{28}(x_{28.1})
 \end{aligned}$$

Під час пакування СХП в плоскі пакети, виготовлені із рулонних гнучких пакувальних матеріалів, фасування продукту проводиться малими дозами, а для збільшення об'єму дози використовують пакет типу Dou-Pack. Найбільш конструктивно простими є машини періодичної дії лінійного компонування.

Горизонтальні лінійні пакувальні машини безперервної дії мають значну довжину, спричинену виконанням великої кількості операцій: складання плівки, виготовлення заготовки пакету, відрізання пакета, розкриття пакета, наповнення, герметизація. Щоб зменшити довжину машини використовують лінійно-роторний принцип переміщення.

Особливістю сучасних вертикальних пакувальних машин безперервної дії є їх висока продуктивність, що досягається застосуванням виконавчих механізмів безперервної дії: зварювання поздовжнього шва, протягання стрічки і зварювання поперечного шва. Вони можуть бути:

- з одним транспортером і одною парою тянучих колодок із функцією зварювання горизонтального шва та відрізання пакету;
- з одним транспортером і двома чи більше парами тянучих колодок з функцією зварювання горизонтального шва та відрізання пакету безперервної дії;
- чотирма парами тянучих колодок з функцією зварювання вертикального шва.

Технологічна схема машини може поєднувати два способи протягування плівки: безперервної дії за допомогою тянучих колодок і з протягувальними транспортерами. Протягування рукава здійснюється транспортерами, а поперечне зварювання – колодками, які, супроводжуючи рукав плівки, що безперервно рухається, роблять горизонтальний зварний шов та відрізають пакет.

Високопродуктивні пакувальні машини складні у виконанні та управлінні. У них синхронізована робота декількох механізмів: пристрою розмотування рулону пакувального матеріалу транспортерами і колодок для

зварювання плівки. Водночас транспортери і пристрої безперервного поздовжнього зварювання в таких машинах мають значно складнішу конструкцію, ніж на інших машинах. Наприклад, є технічне рішення, де використовуються вакуумні транспортери, що дає можливість підвищити надійність роботи і продуктивність пакувальної машини.

Пакувальні машини періодичної дії для пакування в тришовні пакети типу «подушка» мають меншу продуктивність, збільшення якої по вазі пакованого продукту можливе при використанні більш міцного і об'ємного пакета. Підвищення вагової продуктивності досягається використанням чотирьох пар тянучих колодок із поздовжнім зварюванням періодичної дії. Три кутових шва надають пакету жорсткість, а четвертий - утворює поздовжній шов. Таким чином, традиційний поздовжній шов об'ємного пакета є захованим у одному з кутів. Коли рух губок поздовжнього зварювання донизу закінчено, вони розкриваються і повертаються у верхнє положення.

Можливі схеми декомпозиції структури машин для пакування в м'яку полімерну упаковку, яка попередньо виготовлена, розглянемо, застосувавши структурний граф технологічного процесу (рис. 2.8 та табл. 2.8).

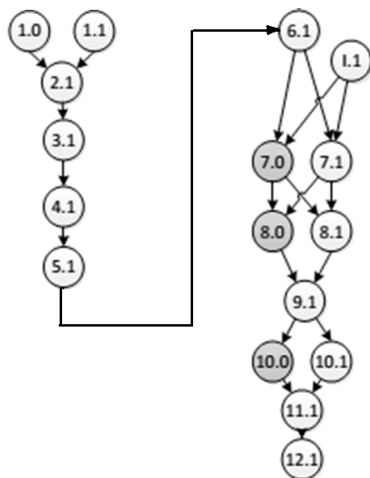


Рисунок 2.8 – Технологічний граф процесу пакування СХП в м'яку полімерну упаковку, яка попередньо виготовлена

Таблиця 2.8 – Опис технологічних операцій до графу процесу пакування СХП в м'яку полімерну упаковку, яка попередньо виготовлена

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
1	2	3
Рівень 1.	1.0	Завантаження плоскоскладених полімерних пакетів у пристрій накопичення (магазин) вручну
	1.1	Завантаження плоскоскладених полімерних пакетів у пристрій накопичення (магазин) автоматично
Рівень 2.	2.1	Виділення одиничного пакету з магазину
Рівень 3.	3.1	Подача пакету в транспортну систему
Рівень 4.	4.0	Розкриття пакету
Рівень 5.	5.1	Продування пакету
Рівень 6.	6.1	Подача пакету в зону фасування продукції
	1.1	Фасування СХП
Рівень 7.	7.0	
	7.1	Пилоуловлення
Рівень 8.	8.0	
	8.1	Віброущільнення продукції
Рівень 9.	9.1	Формування верхнього горизонтального зварного шва
Рівень 10.	10.0	
	10.1	Контроль продукції по вазі
Рівень 11.	11.1	Виштовхування бракованої пакованої одиниці
Рівень 12.	12.1	Виведення готової пакованої одиниці з машини

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в м'яку полімерну упаковку, яка попередньо виготовлена, можна виділити типову структуру машини:

1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 7.1 – 8.1 – 9.1 – 10.1 – 11.1 – 12.1

Формалізоване представлення графа процесу пакування СХП в м'яку полімерну упаковку, яка попередньо виготовлена, виражається таким чином:

$$S: m_1(x_{1,0} \cup x_{1,1}) \cap m_2(x_{2,1}) \cap m_3(x_{3,1}) \cap m_4(x_{4,1}) \cap m_5(x_{5,1}) \cap m_6(x_{6,1}) \cap m_7(x_{7,0} \cup x_{7,1}) \cap m_8(x_{8,0} \cup x_{8,1}) \cap m_9(x_{9,1}) \cap m_{10}(x_{10,0} \cup x_{10,1}) \cap m_{11}(x_{11,1}) \cap m_{12}(x_{12,1})$$

Розглянемо можливі схеми декомпозиції структури машин для пакування в плоскі полімерні пакети, які виготовляються горизонтальним способом,

застосувавши структурний граф технологічного процесу (рис. 2.9), якому притаманні характерні операції, наведені в табл. 2.9.

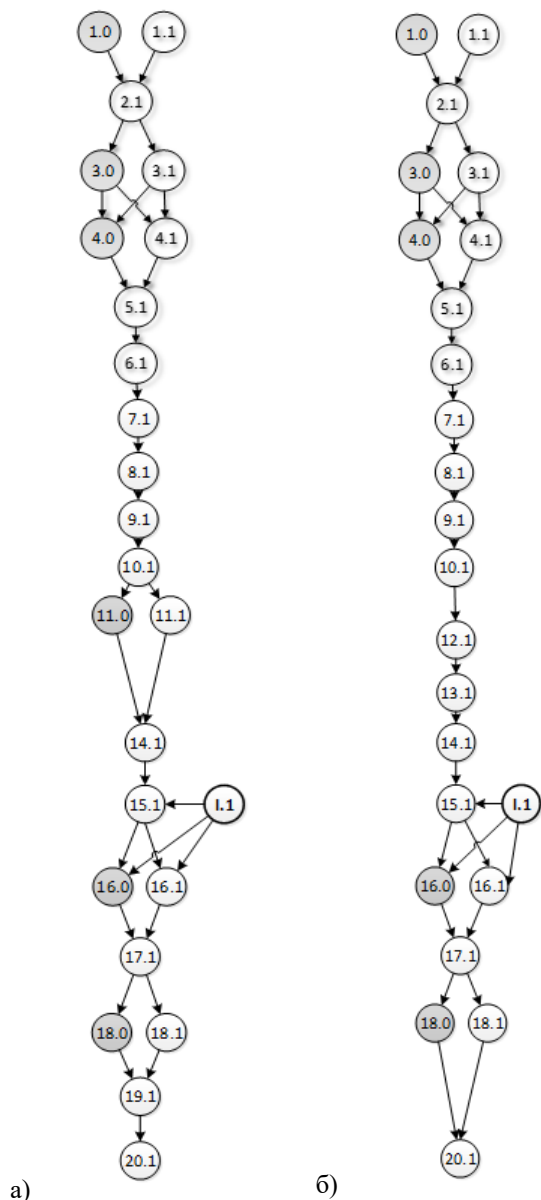


Рисунок 2.9 –
Технологічний граф
процесу пакування
СХП в плоскі
полімерні пакети, які
виготовляються
горизонтальним
способом:
а – фасування у
пакет не
відокремлений від
плівки;
б – фасування в
окремий пакет

Таблиця 2.9 - Опис технологічних операцій до графу процесу пакування СХП в плоскі полімерні пакети, які виготовлені горизонтальним способом

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
1	2	3
Рівень 1.		Установка рулону пакувального матеріалу в машину вручну
	1.1	Установка рулону пакувального матеріалу в машину автоматично
Рівень 2.	2.1	Розмотування рулону пакувального матеріалу
Рівень 3.	3.0	
	3.1	Амортизація і акумулювання плівкового пакувального матеріалу
Рівень 4.	4.0	
	4.1	Компенсація надлишку плівкового пакувального матеріалу при зміні режиму роботи робочих органів модуля пакування з безперервного на періодичний
Рівень 5.	5.1	Регулювання натягу плівкового пакувального матеріалу
Рівень 6.	6.1	Направлена подача плівкового пакувального матеріалу
Рівень 7.	7.1	U- подібне складання пакувального матеріалу вдвоє
Рівень 8.	8.1	Проходження прямої формування дна пакета
Рівень 9.	9.1	Формування нижнього горизонтального зварного шва пакета
Рівень 10.	10.1	Формування бічного вертикального зварного шва між двома суміжними пакетами
Рівень 11.	11.0	
	11.1	Нанесення перфорації
Рівень 12.	12.1	Відрізання пакета по середині бічного зварного шва
Рівень 13.	13.1	Позиціонування пакета в транспортній системі
Рівень 14.	14.1	Розкриття пакету

1	2	3
Рівень 15.	15.1	Продування пакету
Рівень 16.	16.1	Додаткове розкриття пакету
Рівень 17.	17.1	Формування верхнього горизонтального зварного шва пакету
Рівень 18.	18.0	
	18.1	Нанесення дати та додаткової інформації
Рівень 19.		Відрізання пакету з продукцією по середині бічного зварного шва
Рівень 20.		Видача заповненої пакованої одиниці з машини

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в плоскі полімерні пакети, які виготовлені горизонтальним способом, можна виділити типову структуру машини.

1) фасування продукції у пакет, не відокремлений від плівки:

$$1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 9.1 - 10.1 - 11.1 - \\ - 14.1 - 15.1 - 16.1 - 17.1 - 18.1 - 19.1 - 20.1$$

2) фасування продукції в окремий пакет:

$$1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 9.1 - 10.1 - 11.1 - 12.1 - \\ - 13.1 - 14.1 - 15.1 - 16.1 - 17.1 - 18.1 - 20.1.$$

Формалізоване представлення графа процесу пакування СХП в плоскі полімерні пакети, які виготовлені горизонтальним способом, виражається наступним чином:

$$S: m_1(x_{1.0} \cup x_{1.1}) \cap m_2(x_{2.1}) \cap m_3(x_{3.0} \cup x_{3.1}) \cap m_4(x_{4.0} \cup x_{4.1}) \cap m_5(x_{5.1}) \cap \\ \cap m_6(x_{6.1}) \cap m_7(x_{7.1}) \cap m_8(x_{18.1}) \cap m_9(x_{9.1}) \cap m_{10}(x_{10.1}) \cap m_{11}(x_{11.0} \cup x_{11.1}) \\ \cap m_{12}(x_{12.1}) \cap m_{13}(x_{13.1}) \cap m_{14}(x_{14.1}) \cap m_{15}(x_{15.1}) \cap m_{16}(x_{16.0} \cup x_{16.1}) \cap \\ \cap m_{17}(x_{17.1}) \cap m_{18}(x_{18.0} \cup x_{18.1}) \cap m_{19}(x_{19.1}) \cap m_{20}(x_{20.1})$$

Можливі схеми декомпозиції структури машин для пакування в полімерні пакети, виготовлені вертикальним способом, застосовували структурний граф технологічного процесу (рис. 2.10), якому притаманні характерні операції

наведені в табл. 2.10.

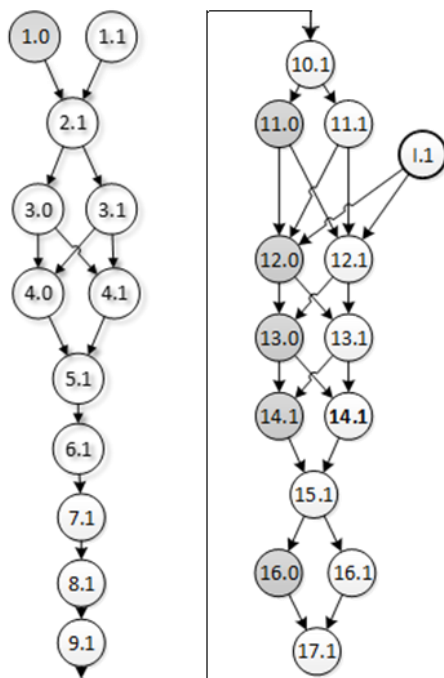


Рисунок 2.10 – Технологічний граф процесу пакування СХП в полімерні пакети, виготовлені вертикальним способом

Таблиця 2.10 – Опис технологічних операцій до графу процесу пакування СХП в полімерні пакети, виготовлені вертикальним способом

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
1	2	3
Рівень 1.		Встановлення рулону пакувального матеріалу в машину вручну
	1.1	Встановлення рулону пакувального матеріалу в машину автоматично
Рівень 2.	2.1	Розмотування рулону пакувального матеріалу
Рівень 3.	3.0	
	3.1	Амортизація і акумулювання плівкового пакувального матеріалу
Рівень 4.	4.0	

1	2	3
	4.1	Компенсація надлишку плівкового пакувального матеріалу при зміні режиму роботи робочих органів модуля пакування з безперервного на періодичний
Рівень 5.	5.1	Регулювання натягу плівкового пакувального матеріалу
Рівень 6.	6.1	Направлена подача плівкового пакувального матеріалу
Рівень 7.	7.1	Формування рукава плівки
Рівень 8.	8.1	Зварювання поздовжнього шва
Рівень 9.	9.1	Протягування рукава
Рівень 10.	10.0	
	10.1	Формування плоского дна упаковки
Рівень 11.	10.0	
	11.1	Пилоуловлення
	1.1	Фасування СХП
Рівень 12.	12.0	
	12.1	Вібруощильнення фасованого сипкого продукту
Рівень 13.	13.0	
	13.1	Зварювання поперечного шва
Рівень 14.	14.0	
	14.1	Нанесення дати та додаткової інформації
Рівень 15.	15.1	Відрізання заповненої споживчої упаковки
Рівень 16.	16.1	Переміщення заповненої споживчої упаковки відвідним конвеєром

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в полімерні пакети, виготовлені вертикальним способом, можна виділити типову структуру машини:

$$1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 9.1 - 10.1 - 11.1 - 14.1 - 15.1 - 16.1 - 17.1$$

Формалізоване представлення графа процесу пакування СХП в полімерні пакети, виготовлені вертикальним способом, виражається таким чином:

$$S: m_1(x_{1.0} \cup x_{1.1}) \cap m_2(x_{2.1}) \cap m_3(x_{3.0} \cup x_{3.1}) \cap m_4(x_{4.0} \cup x_{4.1}) \cap m_5(x_{5.1}) \cap$$

$$\begin{aligned} & \cap m_6(x_{6.1}) \cap m_7(x_{7.1}) \cap m_8(x_{8.1}) \cap m_9(x_{9.1}) \cap m_{10}(x_{10.1}) \cap m_{11}(x_{11.0} \cup x_{11.1}) \\ & \cap m_{12}(x_{12.0} \cup x_{12.1}) \cap m_{13}(x_{13.0} \cup x_{13.1}) \cap \\ & \cap m_{14}(x_{14.0} \cup x_{14.1}) \cap m_{15}(x_{15.1}) \cap m_{16}(x_{16.0} \cup x_{16.1}) \cap m_{17}(x_{17.1}) \end{aligned}$$

Можливі схеми декомпозиції структури машин для пакування СХП у жорстку попередньо виготовлену тару (скляна, полімерна та металева банка; картонна туба, полімерний стаканчик та ін.), застосувавши структурний граф технологічного процесу (рис. 2.11), якому притаманні характерні операції наведені в табл. 2.11.

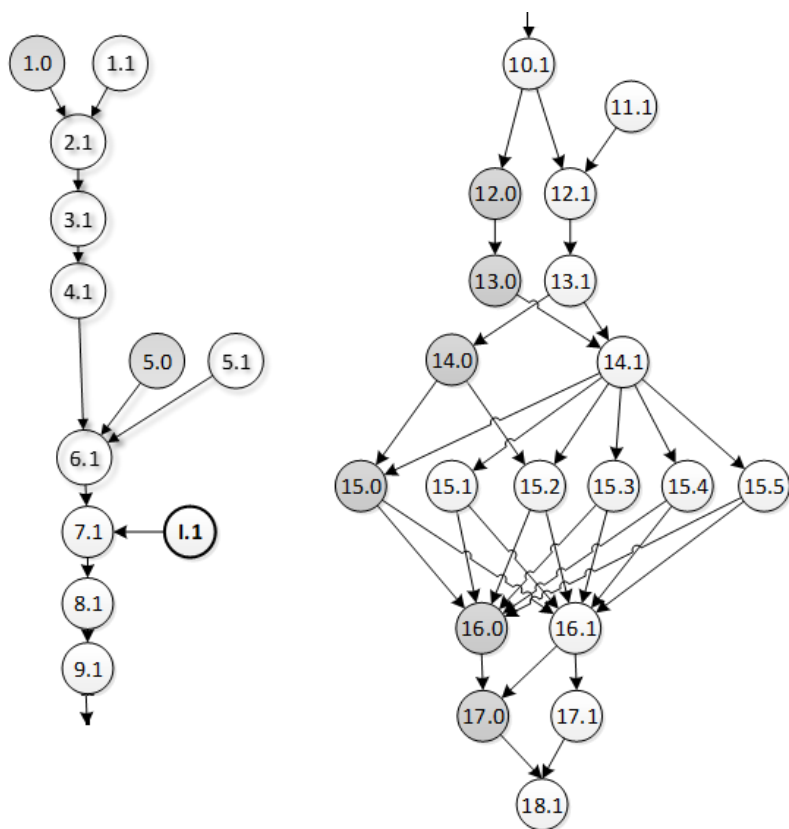


Рисунок 2.12 – Технологічний граф процесу пакування СХП в жорстку упаковку

*Таблиця 2.11 – Опис технологічних операцій до графу процесу пакування СХП
в жорстку тару*

Рівень операції	Номер операції	Опис технологічної операції
1	2	3
Рівень 1.	1.0	Подача закупорювальних засобів (кришок) в пристрій накопичення (магазин, бункер) вручну
	1.1	Подача закупорювальних засобів (кришок) в пристрій накопичення (магазин, бункер) автоматично
Рівень 2.	2.1	Орієнтування кришок
Рівень 3.	3.1	Подача орієнтованого потоку кришок у зону фасування та герметизації
Рівень 4.	4.1	Виділення одиничної кришки
Рівень 5.	5.0	
	5.1	Подача тари в пристрій накопичення
Рівень 6.	6.1	Виділення одиничної тари
Рівень 7.	7.1	Переміщення тари на приймальний стіл
	1.1	Дозування та фасування продукції
Рівень 8.	8.1	Подача тари в зону фасування
Рівень 9.	9.1	Утрушування продукції в тарі
Рівень 10.	10.1	Орієнтування кришки відносно тари
Рівень 11.	11.1	Подача термозварного матеріалу
Рівень 12.	12.0	
	12.1	Накладання термозварного матеріалу на тару
Рівень 13.	13.0	
	13.1	Герметизація тари термоконтатним методом
Рівень 14.	14.0	
	14.1	Накладання кришки на тару
Рівень 15.	15.0	
	15.1	Герметизація споживчої тари натискним методом
	15.2	Герметизація споживчої тари обтискним методом;
	15.3	Герметизація споживчої тари полімерною кришкою з нарізкою
	15.4	Герметизація споживчої тари методом типу «Твіст-офф»
	15.5	Герметизація споживчої тари обкатним методом;

1	2	3
Рівень 16.	16.0	
	16.1	Контроль продукції по вазі
Рівень 17.	17.0	
	17.1	Виштовхування бракованої пакувальної одиниці
Рівень 18.	18.1	Виведення готової пакувальної одиниці

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування СХП в жорстку тару можна виділити типову структуру машини:

1) для скляних банок

1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 7.1 – 8.1 – 9.1 – 12.0 – 13.0 – 14.1 – 15.3 – 16.0 – 17.1 – 18.1

2) для полімерних банок

**1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 7.1 – 8.1 – 9.1 – 10.1 – 11.1 –
– 12.1 – 13.1 – 14.1 – 15.3 – 16.0 – 17.1 – 18.1**

3) для полімерних стаканчиків

**1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 7.1 – 8.1 – 9.1 – 10.1 – 11.1 –
– 12.1 – 13.1 – 14.1 – 15.2 – 16.0 – 17.1 – 18.1**

4) для картонної туби

**1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 7.1 – 8.1 – 9.1 – 12.0 –
– 13.0 – 14.1 – 15.1 – 16.0 – 17.1 – 18.1**

5) для металеві банки

**1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 7.1 – 8.1 – 9.1 – 12.0 –
– 13.0 – 14.1 – 15.5 – 16.0 – 17.1 – 18.1**

Формалізоване представлення графа процесу пакування СХП в жорстку споживчу тару виражається наступним чином:

$$\begin{aligned}
 S: & m_1(x_{1.0} \cup x_{1.1}) \cap m_2(x_{2.1}) \cap m_3(x_{3.0} \cup x_{3.1}) \cap m_4(x_{4.0} \cup x_{4.1}) \cap \\
 & \cap m_5(x_{5.0} \cup x_{5.1}) \cap m_6(x_{6.1}) \cap m_7(x_{7.1}) \cap m_8(x_{8.1}) \cap m_9(x_{9.1}) \cap \\
 & \cap m_{10}(x_{10.1}) \cap m_{11}(x_{11.1}) \cap m_{12}(x_{12.0} \cup x_{12.1}) \cap m_{13}(x_{13.0} \cup x_{13.1}) \cap \\
 & \cap m_{14}(x_{14.0} \cup x_{14.1}) \cap m_{15}(x_{15.0} \cup x_{15.1} \cup x_{15.2} \cup x_{15.3} \cup x_{15.4} \cup
 \end{aligned}$$

$$\cup x_{15.5} \cup x_{15.6}) \cap m_{16}(x_{16.0} \cup x_{16.1}) \cap m_{17}(x_{17.0} \cup x_{17.1}) \cap m_{18}(x_{18.1})$$

Сучасні машини для пакування різних видів СХП у різні види та типи споживчої тари це технічно та технологічно складні технічні системи, Труднощі дослідного та розрахункового характеру, що виникають під час розв'язання задач аналізу та синтезу такого обладнання можна усунути застосувавши сучасні методи дослідження технологічних операцій та систем. Одним з них є метод морфологічного аналізу технічних систем та об'єктів.

2.2.2. Машини пакування в'язкої та в'язко-пластичної продукції у споживчу тару

Пакування в'язких продуктів

Виконаємо декомпозицію пакувальних машин для в'язких продуктів із часовими та просторовими ознаками за видом кінцевого виробу (видом тари, у яку безпосередньо здійснюється пакування - м'яку, напівжорстку та жорстку тару: пляшку, банку, пакет Філ-пак, пакет Дой-пак, стік, саше, стаканчик, pure-пак, кювету, тубу) на основі аналізу технологічного процесу пакування.

Пакування у напівжорстку тару (стаканчик, кювета)

Наведений на рис. 2.12 граф відображає наявність та порядок виконання окремих операцій технологічного процесу.

Для реалізації кожної з технологічних операцій у конструкціях машин передбачено відповідні робочі органи, які можуть мати різне конструктивне виконання.

Так для технологічного процесу пакування виділено такі характерні операції:

- *1-й рівень:*
 - 1.1 – накопичення, додаткове оброблення і подача продукту до пристрою дозування;
 - 1.2 – магістральна подача продукту до пристрою дозування;
- *2-й рівень:*

- 2.1 – виділення одиничної споживчої тари із магазину і подача у лунку механізму транспортування;

- 2.2 – виготовлення і подача споживчої тари у лунку механізму транспортування;

- 3-й рівень:

- 3.1 – транспортування споживчої тари по коловій траєкторії;

- 3.2 – транспортування споживчої тари по лінійній траєкторії

- 4-й рівень:

- 4.1 – дозування і фасування продукту або суміші продуктів;

- 5-й рівень:

- 5.0 – відсутність подачі у дозувальний пристрій, дозування і фасування смакових наповнювачів;

- 5.1 – подача у дозувальний пристрій, дозування і фасування смакових наповнювачів;

- 6-й рівень:

- 6.0 – відсутність подачі основного закупорювального засобу до споживчої тари;

- 6.1 – подача основного закупорювального засобу до споживчої тари;

- 7-й рівень:

- 7.0 – відсутність операції зварювання основного закупорювального засобу та споживчої тари ;

- 7.1 – зварювання основного закупорювального засобу та споживчої тари;

- 8-й рівень:

- 8. – відсутність подачі та закріплення додаткового закупорювального засобу;

- 8.1 – подача та закріплення додаткового закупорювального засобу;

- 9-й рівень:

- 9.1 – нанесення поточної інформації (дата терміну споживання тощо) на споживчу упаковку
- 10-й рівень:
- 10.1 – виведення пакувальної одиниці з лунки транспортуючого механізму;
- 11-й рівень:
- 11.1 – подача споживчої упаковки із продукцією на приймальний стіл або відповідний магістральний конвеєр.

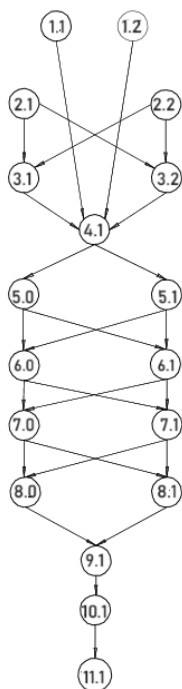


Рисунок 2.12 - Структурний граф технологічного процесу пакування в'язких продуктів у напівжорстку споживчу тару

Проведений аналіз конструктивних і технологічних схем пакувальних машин свідчить, що у сучасних зразках такого обладнання виробники здебільшого відмовились від використання одноприводної системи, тобто електропривода, що приводить у дію розподільно-керуючий вал (крім привода механізму транспортування). Саме тому основна увага приділяється

функціональним модулям із індивідуальними приводами (пневмоприводом, електроприводом).

Серед варіантів технологічного процесу фасування в'язких харчових продуктів у напівжорстку тару можна виділити дві схеми, які найчастіше використовують у сучасних пакувальних машинах, принципова відмінність яких полягає у траєкторії руху споживчих упаковок. У варіанті технологічного процесу, що проходить через позиції 2.1 – 2.4 споживчі упаковки переміщуються по коловій траєкторії, а при проходженні через позиції 2.5 – 2.6 вони переміщуються по лінійній траєкторії. Тим самим базовими можна прийняти такі послідовності виконання операцій:

- 1) **1.1 - 2.1 - 3.2, 3.3 - 4.2, 4.3, 4.7, 4.9 - 5.1, 5.4, 5.5 - 6.2 - 7.2 - 8.2 - 9.2 - 10.2 - 11.2, 11.4.**
- 2) **1.1 – 2.3 - 3.6 - 4.2, 4.3, 4.7, 4.9 - 5.1, 5.4, 5.5 - 5.2 - 6.2 - 7.2 - 8.2 - 9.2 - 10.2 – 11.2, 11.4.**

Використавши варіанти технологічних процесів, можна у разі потреби виключенням або заміною деяких операцій створити необхідний технологічний процес. Наприклад, операція 5 виконується лише тоді, коли у споживчу тару з в'язкою продукцією необхідно подати додаткові смакові наповнювачі. Операція 8 може бути відсутньою у тому випадку, коли для герметизації споживчої тари достатньо застосувати лише зварювання первинного закупорювального засобу та споживчої тари. Доречно також зазначити, що для машин середньої продуктивності технологічнішим є процес пакування, у якому для переміщення споживчої тари застосовують механізм транспортування у вигляді ротора, це дає змогу зменшити матеріало- та енерговитрати під час виготовлення та експлуатації машини.

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$S : m_1 (x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2 (x_{2.1} \vee x_{2.2}) \wedge m_3 (x_{3.1} \vee x_{3.2}) \wedge m_4 (x_{4.1}) \wedge m_5 (x_{5.1}) \wedge m_6 (x_{6.1}) \wedge m_7 (x_{7.1}) \wedge m_8 (x_{8.1}) \wedge m_9 (x_{9.1}) \wedge m_{10} (x_{10.1}) \wedge m_{11} (x_{11.1}),$

де S – реалізація службової функції (виконання технологічного операції

пакування), m – технологічні переходи, виконані відповідними функціональними модулями.

Пакування в напівжорстку тару типу «pure-pak»

Заготовка тари, призначена для використання в такому обладнанні, подається на процес пакування у плоскоскладеному вигляді. Технологічний процес пакування можна навести сукупністю таких етапів:

- формування дна пакування;
- знезараження внутрішніх стінок;
- встановлення штуцера;
- дозування;
- зварювання верхнього шва;
- нанесення інформації;
- виведення заповненої тари.

Для реалізації кожної з технологічних операцій робочі органи функціональних модулів можуть мати різне конструктивне виконання. Наведений на рис.2.13 граф відображає наявність та порядок виконання окремих операцій технологічного процесу:

1-й рівень:

- 1.1 – накопичення і подача продукту до пристрою дозування;
- 1.2 – магістральна подача продукту до пристрою дозування;

2-й рівень:

- 2.1 – виділення одиничної плоскоскладеної споживчої упаковки із магазину, розкриття і подача до механізму формування тари;

3-й рівень:

- 3.1 – транспортування споживчих упаковок по коловій траєкторії механізму формування тари з горизонтальним розташуванням;
- 3.2 – транспортування споживчих упаковок по коловій траєкторії механізму формування тари з вертикальним розташуванням;

4-й рівень:

- 4.1 – підгинання клапанів дна споживчих упаковок;

5-й рівень:

- 5.1 – нагрівання клапанів дна споживчих упаковок

6-й рівень:

- 6.1 – формування дна споживчих упаковок шляхом зварювання клапанів;

7-й рівень:

- 7.0 – відсутність операції знезараження внутрішніх стінок споживчих упаковок;
- 7.1 – знезараження внутрішніх стінок споживчих упаковок;

8-й рівень:

- 8.0 – відсутність передачі сформованих споживчих упаковок до внутрішньомашинної транспортної системи ділянки дозування;
- 8.1 – передача сформованих споживчих упаковок до внутрішньомашинної транспортної системи ділянки дозування;

9-й рівень:

- 9.1 – транспортування споживчих упаковок по коловій траєкторії (ця операція може бути лише у машин де присутня лише одна загальна внутрішньомашинна транспортна система, на різних робочих позиціях якої відбувається як формування тари, так і операції дозування, герметизації, датування тощо);
- 9.2 – транспортування споживчих упаковок по лінійній траєкторії;

10-й рівень:

- 10.0 – відсутність подачі та встановлення штуцера;
- 10.1 – подача та встановлення штуцера;

11-й рівень:

- 11.0 – відсутність операції приварювання штуцера до корпусу споживчої упаковки;
- 11.1 – приварювання штуцера до корпусу споживчої упаковки;

12-й рівень:

- 12.1 – дозування і фасування продукту без смакових наповнювачів;
- 12.2 – дозування і фасування продукту із смаковими наповнювачами;

13-й рівень:

- 13.1 – підгинання верхніх клапанів споживчих упаковок;

14-й рівень:

- 14.1 – нагрівання верхніх клапанів споживчих упаковок;

15-й рівень:

- 15.1 – герметизація споживчих упаковок шляхом зварювання верхніх клапанів;

16-й рівень:

- 16.1 – нанесення поточної інформації (дата терміну споживання тощо) на споживчу упаковку термоконтактним способом;
- 16.2 – нанесення поточної інформації (дата терміну споживання тощо) на споживчу упаковку безконтактним струменевим способом;

17-й рівень:

- 17.1 – подача споживчої упаковки на приймальний стіл готової продукції або відповідний магістральний конвеєр.

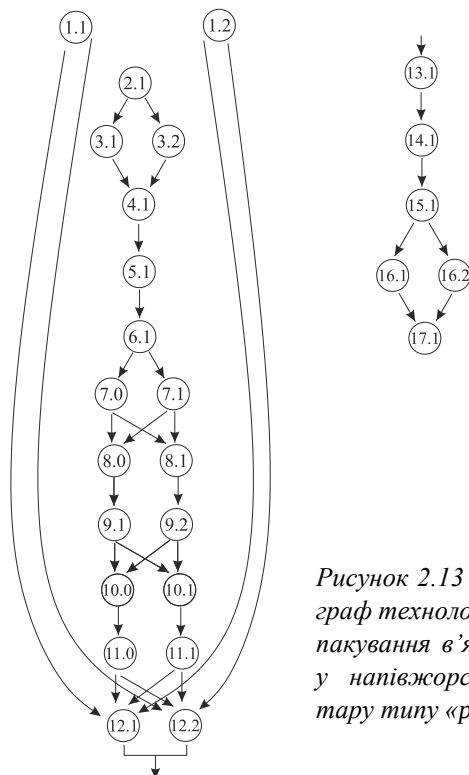


Рисунок 2.13 - Структурний граф технологічного процесу пакування в'язких продуктів у напівжорстку споживчу тару типу «pure-pak»

Проведений аналіз машин для пакування в упаковку типу PURE-PAK дає змогу стверджувати, що основною відмінністю між ними є вибір конструктивного виконання внутрішньомашинної транспортної системи. Це може бути як варіант з однією загальною роторною транспортною системою, так і варіант поєднання роторної та лінійної систем, з чітким відокремленням зон формування тари та здійснення операції дозування-герметизації-датування. Базовими можна прийняти такі послідовності виконання операцій:

1) 1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 9.1 - 10.1 - 11.1 - 12.1, 12.2 - 13.1 - 14.1 - 15.1 - 16.2 - 17.1;

2) 1.2 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 9.2 - 10.1 - 11.1 - 12.1, 12.2 - 13.1 - 14.1 - 15.1 - 16.2 - 17.1;

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$$S : m_1 (x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2 (x_{2.1}) \wedge m_3 (x_{3.1} \vee x_{3.2}) \wedge m_4 (x_{4.1}) \wedge m_5 (x_{5.1}) \wedge m_6 (x_{6.1}) \wedge m_7 (x_{7.1}) \wedge m_8 (x_{8.1}) \wedge m_9 (x_{9.1}) \wedge m_{10} (x_{10.1}) \wedge m_{11} (x_{11.1}) \wedge m_{12} (x_{12.1} \vee x_{12.2}) \wedge m_{13} (x_{13.1}) \wedge m_{14} (x_{14.1}) \wedge m_{15} (x_{15.1}) \wedge m_{16} (x_{16.1} \vee x_{16.2}) \wedge m_{17} (x_{17.1}).$$

Пакування в напівжорстку тару типу «туба»

Для пакування в'язкої продукції застосовуються як полімерні, так і металеві (алюмінієві) туби.

Граф технологічного процесу пакування продукції у різні за матеріалом види туб наведено на рис. 2.14:

– 1-й рівень:

- 1.1 – накопичення і подача харчового продукту до пристрою дозування;
- 1.2 – магістральна подача харчового продукту до пристрою дозування;

– 2-й рівень:

- 2.1 – виділення споживчої упаковки із магазину і подача до комірки внутрішньомашинної транспортної системи;

– 3-й рівень:

- 3.1 – транспортування споживчих упаковок по коловій траєкторії

внутрішньомашинною транспортною системою;

– *4-й рівень:*

- 4.0 – відсутність операції знезараження внутрішніх стінок споживчої упаковки;

- 4.1 – знезараження внутрішніх стінок споживчої упаковки;

– *5-й рівень:*

- 5.1 – дозування і фасування продукту;

– *6-й рівень:*

- 6.1 – нагрівання споживчої упаковки у зоні формування зварного шва;

- 6.2 – деформування (стискання стінок) споживчої упаковки у зоні формування шва;

– *7-й рівень:*

- 7.1 – герметизація споживчої упаковки шляхом термоконтактного зварювання шва;

- 7.2 – герметизація споживчої упаковки шляхом 2-х стадійного формування та стискання шва;

– *8-й рівень:*

- 8.1 – маркування споживчої упаковки методом термотиснення;

- 8.2 – маркування споживчої упаковки методом тиснення;

- 8.3 – маркування споживчої упаковки методом струменевого або лазерного друку;

– *9-й рівень:*

- 9.0 – відсутність операції відрізання надлишкової частини зварного шва споживчої упаковки;

- 9.1 – відрізання надлишкової частини зварного шва споживчої упаковки;

– *10-й рівень:*

- 10.1 – виведення споживчої упаковки з комірки транспортуючого механізму.

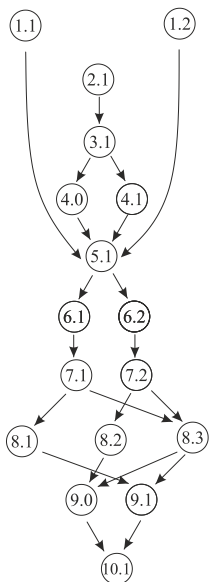


Рисунок 2.14 - Структурний граф технологічного процесу пакування в'язких продуктів у напівжорстку споживчу тару типу «туба»

Серед варіантів технологічного процесу можна виділити дві схеми, які найчастіше використовують у сучасних пакувальних машинах, принципова відмінність яких полягає у матеріалі туби. Тим самим базовими можна прийняти такі послідовності виконання операцій:

- для полімерної туби - **1.1, 1.2 - 2.1 - 3.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 9.1 - 10.1;**
- для металевої туби - **1.1, 1.2 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.2 - 8.2 - 10.1.**

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$$S : m_1(x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2(x_{2.1}) \wedge m_3(x_{3.1}) \wedge m_4(x_{4.1}) \wedge m_5(x_{5.1}) \wedge m_6(x_{6.1} \vee x_{6.2}) \wedge m_7(x_{7.1} \vee x_{7.2}) \wedge m_8(x_{8.1} \vee x_{8.2} \vee x_{8.3}) \wedge m_9(x_{9.1}) \wedge m_{10}(x_{10.1}).$$

Пакування в жорстку тару

Жорстка тара для пакування в'язких продуктів може бути представлена скляною та полімерною пляшкою, скляною або металевою банкою тощо. Структурний граф технологічного процесу пакування в'язких продуктів у такий вид тари наведено на рис. 2.15:

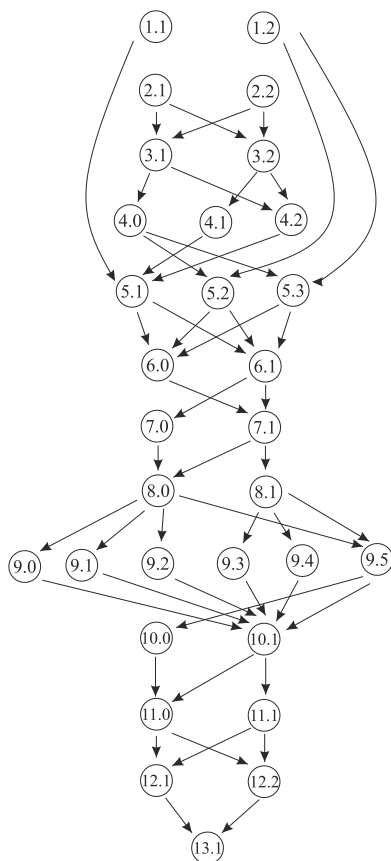


Рисунок 2.15 - Структурний граф технологічного процесу пакування в'язких продуктів у жорстку споживчу тару

– *-й рівень:*

- 1.1 – накопичення і подача продукту до пристрою дозування;
- 1.2 – магістральна подача продукту до пристрою дозування;

– *2-й рівень:*

- 2.1 – подача споживчої тари поштучно/одним рядом по вхідному конвеєру;
- 2.2 – виділення одиничної споживчої тари із магазину і подача до

комірки внутрішньомашинної транспортної системи;

– 3-й рівень:

▪ 3.1 – покрокове переміщення споживчої тари у комірках внутрішньомашинної транспортної системи;

▪ 3.2 – покрокове переміщення споживчої тари внутрішньомашинною транспортною системою (конвеєр);

– 4-й рівень:

▪ 4.0 – відсутність операції миття та знезараження споживчої тари;

▪ 4.1 – миття та знезараження споживчої тари гарячою водою/парою;

▪ 4.2 – знезараження споживчої тари ультрафіолетовим опроміненням;

– 5-й рівень:

▪ 5.1 – дозування і фасування продукту об'ємним способом;

▪ 5.2 – дозування і фасування продукту потоковим способом;

▪ 5.3 – дозування і фасування продукту ваговим способом;

– 6-й рівень:

▪ 6.0 – відсутність подачі термозварного матеріалу;

▪ 6.1 – подача термозварного матеріалу та герметизація тари термоконтактним методом;

– 7-й рівень:

▪ 7.0 – відсутність поштучного виділення та подачі закупорювального засобу;

▪ 7.1 – поштучне виділення та подача на тару закупорювального засобу;

– 8-й рівень:

▪ 8.0 – відсутність операції вакуумування споживчої тари;

▪ 8.1 – вакуумування споживчої тари;

– 9-й рівень:

▪ 9.0 – відсутність операції герметизації вторинним закупорювальним засобом;

▪ 9.1 – герметизація споживчої тари натискним методом;

- 9.2 – герметизація споживчої тари обтискним методом;
- 9.3 – герметизація споживчої тари обкатним методом;
- 9.4 – герметизація споживчої тари методом «Твіст-офф»;
- 9.5 – герметизація споживчої тари із застосуванням пружних

елементів;

– *10-й рівень:*

- 10.0 – відсутність операції етикетування споживчої тари;
- 10.1 – етикетування споживчої тари;

– *11-й рівень:*

- 11.0 – відсутність операції подачі і фіксація елементів контролю

первинного відкриття;

- 11.1 – подача і фіксація елементів контролю первинного відкриття;

– *12-й рівень:*

- 12.1 – маркування споживчої тари методом тиснення;
- 12.2 – маркування споживчої тари методом струменевого або

лазерного друку;

– *13-й рівень:*

- 13.1 – подача споживчої упаковки на приймальний стіл готової продукції або відвідний конвеєр.

Серед варіантів технологічного процесу можна виділити схеми, які найчастіше використовують у сучасних пакувальних машинах, базовими можна прийняти такі послідовності виконання операцій:

1) для полімерної пляшки –

1.1, 1.2 - 2.1 - 3.2 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 9.1 - 10.1-11.1 - 12.2-13.1;

2) для скляної банки –

1.1, 1.2 - 2.1 - 3.2 - 4.1 - 5.1 - 7.1 - 8.1 - 9.3, 9.4 - 10.1-12.2-13.1;

3) для металевої банки –

1.1, 1.2 - 2.1 - 3.2 - 4.1, 4.2 - 5.1 - 7.1 - 8.1 - 9.5 - 12.2-13.1;

4) для полімерної місткості

- 1.1, 1.2 - 2.2 - 3.1 - 5.2, 5.3 - 7.1 - 9.1 - 10.1 - 12.2-13.1.

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$$S : m_1(x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2(x_{2.1} \vee x_{2.2}) \wedge m_3(x_{3.1} \vee x_{3.2}) \wedge m_4(x_{4.1} \vee x_{4.2}) \wedge \\ m_5(x_{5.1} \vee x_{5.2} \vee x_{5.3}) \wedge m_6(x_{6.1}) \wedge m_7(x_{7.1}) \wedge m_8(x_{8.1}) \wedge m_9(x_{9.1} \vee x_{9.2} \vee x_{9.3} \\ \vee x_{9.4} \vee x_{9.5}) \wedge m_{10}(x_{10.1}) \wedge m_{11}(x_{11.1}) \wedge m_{12}(x_{12.1} \vee x_{12.2}) \wedge m_{13}(x_{13.1}).$$

Пакування в м'яку тару (пакет «Філ-пак», пакет «Дой-пак», стік, саше)

Наступною варіацією технологічного процесу є процес пакування в'язких харчових продуктів у м'яку упаковку. Структурний граф технологічного процесу наведено на рис. 2.16:

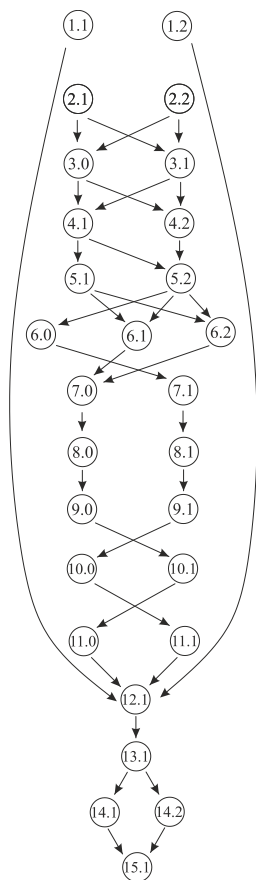


Рисунок 2.16 – Структурний граф технологічного процесу пакування в'язких продуктів у м'яку споживчу тару (пакет «Філ-пак», пакет «Дой-пак», стік, саше)

- *1-й рівень:*
 - 1.1 – накопичення і подача продукту до пристрою дозування;
 - 1.2 – магістральна подача продукту до пристрою дозування;
- *2-й рівень:*
 - 2.1 – вертикальна подача пакувального матеріалу;
 - 2.2 – горизонтальна подача пакувального матеріалу;
- *3-й рівень:*
 - 3.1 – відсутність операції знезараження пакувального матеріалу;
 - 3.1 – знезаражуюче оброблення пакувального матеріалу;
- *4-й рівень:*
 - 4.1 – формування рукава круглого/ U-подібного перерізу;
 - 4.2 – формування рукава U-подібної форми з W-подібним дном;
- *5-й рівень:*
 - 5.1 – покрокове протягування рукава роликami/пасами;
 - 5.2 – покрокове протягування рукава захоплювальними пристроями;
- *6-й рівень:*
 - 6.0 – відсутність операції формування шва на вертикальному рукаві;
 - 6.1 – формування поздовжнього шва на вертикальному рукаві;
 - 6.2 – формування двох поздовжніх швів на вертикальному рукаві;
- *7-й рівень:*
 - 7.0 – відсутність операції формування швів на горизонтальному рукаві;
 - 7.1 – формування двох поперечних швів на горизонтальному рукаві;
- *8-й рівень:*
 - 8.0 – відсутність операції зварювання стінок дна пакету;
 - 8.1 – зварювання стінок W-подібного дна пакету;
- *9-й рівень:*
 - 9.0 – відсутність операції розрізання горизонтального рукава на окремі споживчі упаковки;
 - 9.1 – розрізання горизонтального рукава на окремі споживчі упаковки;
- *10-й рівень:*
 - 10.0 – відсутність операції формування поперечного шва на вертикальному рукаві;
 - 10.1 – формування поперечного шва на вертикальному рукаві;

- 11-й рівень:
 - 11.0 – відсутність операції встановлення та фіксація штуцера;
 - 11.1 – встановлення та фіксація штуцера;
- 12-й рівень:
 - 12.1 – дозування та фасування в'язкої продукції;
- 13-й рівень:
 - 13.1 – герметизація тари термоконтактним способом;
- 14-й рівень:
 - 14.1 – маркування споживчої упаковки методом термотиснення;
 - 14.2 – маркування споживчої упаковки методом струменевого або лазерного друку;
- 15-й рівень:
 - 15.1 – подача пакувальної одиниці на приймальний стіл готової продукції або відвідний конвеєр.

Серед варіантів технологічного процесу можна виділити схеми, які найчастіше використовують у сучасних пакувальних машинах, базовими можна прийняти такі послідовності виконання операцій:

1) для пакету «Філ-пак», стік –

1.1, 1.2 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1, 5.2 - 6.1 - 10.1 - 12.1-13.1 - 14.1;

2) для пакету типу «саше» -

1.1, 1.2 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.2 - 6.2 - 10.1 - 12.1 - 13.1 - 14.1;

3) для пакету типу «Дой-пак» -

1.1, 1.2 - 2.2 - 3.1 - 4.2 - 5.2 - 7.1 - 8.1 - 9.1 - 10.1 -12.1 - 13.1 - 14.2.

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$$S : m_1(x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2(x_{2.1} \vee x_{2.2}) \wedge m_3(x_{3.1}) \wedge m_4(x_{4.1} \vee x_{4.2}) \wedge m_5(x_{5.1} \vee x_{5.2}) \wedge m_6(x_{6.1} \vee x_{6.2}) \wedge m_7(x_{7.1}) \wedge m_8(x_{8.1}) \wedge m_9(x_{9.1}) \wedge m_{10}(x_{10.1}) \wedge m_{11}(x_{11.1}) \wedge m_{12}(x_{12.1}) \wedge m_{13}(x_{13.1} \vee x_{13.2}) \wedge m_{14}(x_{14.1} \vee x_{14.2}) \wedge m_{15}(x_{15.1})$$

Пакування в'язко-пластичних продуктів

Пакування в'язко-пластичних продуктів здійснюється у жорстку, напівжорстку та м'яку тару.

Пакування у напівжорстку тару (стаканчик, кювета)

Застосувавши структурний граф технологічного процесу наведемо можливі схеми декомпозиції структури пакувальних машин, яким притаманні такі характерні операції (рис. 2.17):

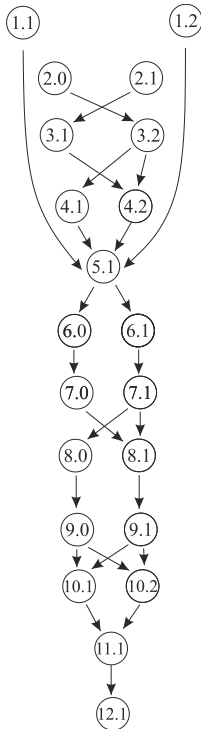


Рисунок 2.17 – Структурний граф технологічного процесу пакування в 'язко-пластичних продуктів у напівжорстку споживчу тару (стаканчик, кювета)

– 1-й рівень:

- 1.1 – накопичення, попереднє оброблення (вакуумування, підігрівання) і подача продукту до пристрою дозування;

- 1.2 – магістральна подача продукту до пристрою дозування;

– 2-й рівень:

- 2.0 – відсутність подачі пакувального матеріалу для виготовлення споживчої упаковки;

- 2.1 – подача пакувального матеріалу та його підготовка до виготовлення споживчої упаковки термоформуванням;

- 3-й рівень:

- 3.1 - виготовлення і подача споживчої упаковки у комірку механізму транспортування;

- 3.2 – виділення одиничної споживчої упаковки із магазину і подача у лунку механізму транспортування;

- 4-й рівень:

- 4.1 – транспортування споживчих упаковок по коловій (роторній) траєкторії;

- 4.2 – транспортування споживчих упаковок по лінійній траєкторії ;

- 5-й рівень:

- 5.1 – дозування і фасування в'язко-пластичного продукту;

- 6-й рівень:

- 6.0 – відсутня подача основного закупорювального засобу;

- 6.1 – подача основного закупорювального засобу до споживчої тари;

- 7-й рівень:

- 7.0 – відсутня герметизація тари термозварюванням основного закупорювального засобу та споживчої упаковки;

- 7.1 – герметизація тари термозварюванням основного закупорювального засобу та споживчої упаковки;

- 8-й рівень:

- 8.0 – відсутня подача додаткового закупорювального засобу;

- 8.1 – подача додаткового закупорювального засобу;

- 9-й рівень:

- 9.0 – відсутнє закріплення додаткового закупорювального засобу;

- 9.1 – закріплення додаткового закупорювального засобу;

- 10-й рівень:

- 10.1 – нанесення поточної інформації на споживчу упаковку методом термотиснення;

▪ 10.2 – нанесення поточної інформації на споживчу упаковку методом струменевого або лазерного друку;

– 11-й рівень:

▪ 11.1 – виведення пакувальної одиниці з лунки транспортуючого механізму;

– 12-й рівень:

▪ 12.1 – подача заповненої споживчої упаковки на приймальний стіл або відвідний магістральний конвеєр.

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування в'язко-пластичних продуктів у напівжорстку споживчу тару можна виділити такі основні типові структури машин:

1) 1.1, 1.2 - 2.1 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 10.2 - 11.1 - 12.1;

2) 1.1, 1.2 - 3.2 - 4.1 - 5.1 - 8.1 - 9.1 - 10.2 - 11.1 - 12.1;

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$S : m_1(x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2(x_{2.1}) \wedge m_3(x_{3.1} \vee x_{3.2}) \wedge m_4(x_{4.1} \vee x_{4.2}) \wedge m_5(x_{5.1}) \wedge m_6(x_{6.1}) \wedge m_7(x_{7.1}) \wedge m_8(x_{8.1}) \wedge m_9(x_{9.1}) \wedge m_{10}(x_{10.1} \vee x_{10.2}) \wedge m_{11}(x_{11.1}) \wedge m_{12}(x_{12.1})$

Пакування в жорстку тару

Застосувавши структурний граф технологічного процесу наведемо можливі схеми декомпозиції структури машин для пакування в'язко-пластичної продукції у жорстку тару (скляна, полімерна та металева банка), яким притаманні такі характерні операції (рис.2.18):

– 1-й рівень:

▪ 1.1 – накопичення, попереднє оброблення (вакуумування, підігрівання) і подача продукту до пристрою дозування;

▪ 1.2 – магістральна подача продукту до пристрою дозування;

– 2-й рівень:

▪ 2.1 – подача споживчої тари поштучно/одним рядом до комірки/комірок внутрішньомашинної транспортної системи;

▪ 2.2 – подача споживчої тари поштучно/одним рядом по вхідному

конвеєру;

– 3-й рівень:

- 3.1 – покрокове переміщення споживчої тари у комірках внутрішньомашинної транспортної системи;

- 3.2 – покрокове переміщення споживчої тари внутрішньомашинною транспортною системою (конвеєр);

– 4-й рівень:

- 4.1 – миття та знезараження споживчої тари гарячою водою/парою;

- 4.2 – знезараження споживчої тари ультрафіолетовим опроміненням;

– 5-й рівень:

- 5.1 – дозування і фасування продукту;

– 6-й рівень:

- 6.0 – відсутність подачі термозварного матеріалу для герметизації тари;

- 6.1 – подача термозварного матеріалу для герметизації тари;

– 7-й рівень:

- 7.0 – відсутність герметизації тари термоконтактним методом;

- 7.1 – герметизація тари термоконтактним методом;

– 8-й рівень:

- 8.1 – поштучне виділення та подача на тару закупорювального засобу;

– 9-й рівень:

- 9.0 – відсутність операції вакуумування споживчої тари;

- 9.1 – вакуумування споживчої тари;

– 10-й рівень:

- 10.1 – герметизація споживчої тари методом «Твіст-офф»;

- 10.2 – герметизація споживчої тари методами обтиску та обкатування;

– 11-й рівень:

- 11.0 – відсутність операції етикетування споживчої тари;

- 11.1 – етикетування споживчої тари;

– 12-й рівень:

▪ 12.0 – відсутність подачі і фіксації елементів контролю первинного відкриття;

▪ 12.1 – подача і фіксація елементів контролю первинного відкриття;

– 13-й рівень:

▪ 13.1 – маркування споживчої тари методом тиснення;

▪ 13.2 – маркування споживчої тари методом струменевого або лазерного друку;

– 14-й рівень:

▪ 14.1 – подача споживчої упаковки на приймальний стіл або відвідний конвеєр.

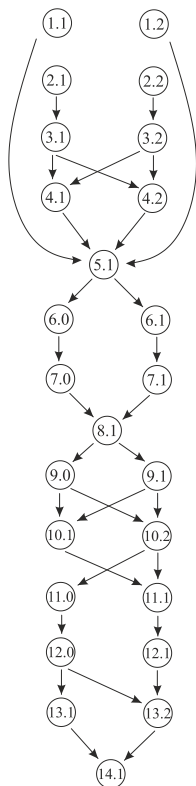


Рисунок 2.18 - Структурний граф технологічного процесу пакування в'язко-пластичних продуктів у жорстку споживчу тару

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування в'язко-пластичних продуктів у жорстку споживчу тару можна виділити такі основні

типові структури машин:

- 1) 1.1, 1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 10.1 - 11.1 - 12.1 - 13.2 - 14.1;
- 2) 1.1, 1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.1 - 5.1 - 8.1 - 9.1 - 10.2 - 13.1 - 14.1.

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$$S : m_1(x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2(x_{2.1} \vee x_{2.2}) \wedge m_3(x_{3.1} \vee x_{3.2}) \wedge m_4(x_{4.1} \vee x_{4.2}) \\ \wedge m_5(x_{5.1}) \wedge m_6(x_{6.1}) \wedge m_7(x_{7.1}) \wedge m_8(x_{8.1}) \wedge m_9(x_{9.1}) \wedge m_{10}(x_{10.1} \vee \\ x_{10.2}) \wedge m_{11}(x_{11.1}) \wedge m_{12}(x_{12.1}) \wedge m_{13}(x_{13.1} \vee x_{13.2}) \wedge m_{14}(x_{14.1})$$

Пакування в м'яку тару (обгортання у брикет, пакет типу чаб)

Можливі схеми декомпозиції структури машин для пакування в'язко-пластичних продуктів у м'яку тару наведені на рис. 2.19, яким притаманні такі характерні операції:

– 1-й рівень:

- 1.1 – накопичення, попереднє оброблення (вакуумування, перемішування, підігрівання, охолодження) і подача продукту до пристрою дозування;
- 1.2 – магістральна подача продукту до пристрою дозування;

– 2-й рівень:

- 2.1 – подача пакувального матеріалу;

– 3-й рівень:

- 3.1 – нанесення поточної інформації (дати, робочої зміни тощо) на пакувальний матеріал методом проколювання;
- 3.2 – нанесення поточної інформації (дати, робочої зміни тощо) на пакувальний матеріал методом струменевого або лазерного друку;
- 3.3 – нанесення поточної інформації (дати, робочої зміни тощо) на матеріал кліпси методом тиснення;

– 4-й рівень:

- 4.0 – відсутність розрізання плівки пакувального матеріалу на окремі заготовки;
- 4.1 – розрізання плівки пакувального матеріалу на окремі заготовки;

– 5-й рівень:

▪ 5.1 – формування об'ємного пакування шляхом проштовхування заготовки пакувального матеріалу через матрицю та подача до внутрішньомашинної транспортної системи;

▪ 5.2 – формування вертикального рукава круглого перерізу;

– 6-й рівень:

▪ 6.0 – відсутність операції зварювання поздовжнього шва рукава;

▪ 6.1 – зварювання поздовжнього шва рукава;

– 7-й рівень:

▪ 7.1 – переміщення споживчих упаковок роторною внутрішньомашинною транспортною системою;

▪ 7.2 – покрокове протягування рукава роликми/пасами;

▪ 7.3 – покрокове протягування рукава захоплювальними пристроями;

– 8-й рівень:

▪ 8.0 – відсутність кліпсування рукава;

▪ 8.1 – кліпсування рукава;

– 9-й рівень:

▪ 9.1 – дозування і фасування продукту;

– 10-й рівень:

▪ 10.0 – відсутність підгинання та підпресовування клапанів;

▪ 10.1 – герметизація підгинанням та підпресовуванням клапанів;

– 11-й рівень:

▪ 11.1 – виведення пакувальної одиниці з комірки транспортуючого механізму;

▪ 11.2 – розділення суцільного рукава з продуктом на окремі пакувальні одиниці;

– 12-й рівень:

▪ 12.1 – подача заповненої споживчої упаковки на приймальний стіл або відвідний конвеєр.

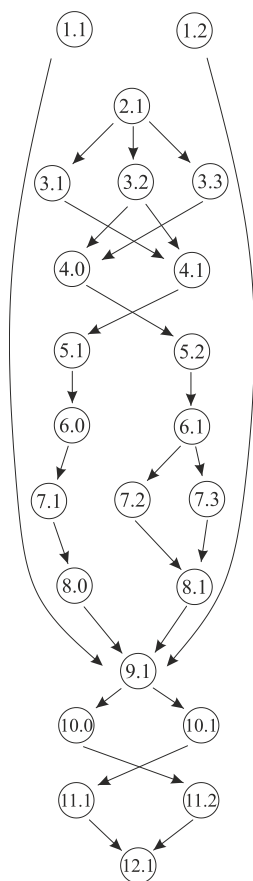


Рисунок 2.19 - Структурний граф технологічного процесу пакування в'язко-пластичних продуктів у м'яку споживчу тару

На основі аналізу конструкцій обладнання для пакування пластичних продуктів у м'яку споживчу тару можна виділити такі основні типові структури машин:

- 1) **1.1, 1.2 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 7.1 - 9.1 - 10.1 - 11.1 - 12.1;**
- 2) **1.1, 1.2 - 2.1 - 3.2 - 5.2 - 6.1 - 7.2 - 8.1 - 9.1 - 11.2 - 12.1.**

Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$$S : m_1(x_{1.1} \vee x_{1.2}) \wedge m_2(x_{2.1}) \wedge m_3(x_{3.1} \vee x_{3.2} \vee x_{3.3}) \wedge m_4(x_{4.1}) \wedge m_5(x_{5.1} \vee x_{5.2}) \wedge m_6(x_{6.1}) \wedge m_7(x_{7.1} \vee x_{7.2} \vee x_{7.3}) \wedge m_8(x_{8.1}) \wedge m_9(x_{9.1}) \wedge m_{10}(x_{10.1}) \wedge m_{11}(x_{11.1} \vee x_{11.2}) \wedge m_{12}(x_{12.1})$$

2.2.3 Машини пакування дрібно-штучної та штучної продукції у споживчу тару

Виконаємо декомпозицію структури машин для пакування дрібно-штучних та штучних продуктів із часовими та просторовими ознаками за видом кінцевого виробу (видом тари, у яку безпосередньо здійснюється пакування - м'яку - пакет, обгортання, напівжорстку) на основі аналізу технологічного процесу пакування та структури машин.

Пакування у м'яку упаковку (пакет)

Для реалізації кожної з технологічних операцій пакування у конструкціях машин передбачено відповідні робочі органи, які можуть мати різне конструкційне виконання. Всі пакувальні машини автоматичної дії виконують одні і ті ж основні та допоміжні технологічні операції — подача виробів, подача пакувального матеріалу, загортання виробу і видача пакованої продукції із машини.

Для виконання цих операцій застосовують різноманітні механізми і пристрої, конструкція яких визначається специфічними властивостями продукції, типом пакувального матеріалу, видом і способом обгортання.

Кожна пакувальна машина для дрібно-штучних продуктів характерна сукупністю таких функціональних модулів:

- дозатор поштучного типу для формування дози та подачі дрібно-штучного продукту;
- або дозатор-живильник, що здійснює поштучну подачу продукту;
- пристрій для передачі виробу із живильника в загортальну секцію;
- транспортна система загортальної секції, що здійснює переміщення виробу по позиціях загортання;
- пристрій переміщення пакувального матеріалу;
- пристрій різання пакувального матеріалу;

- пристрій загортання виробу;
- пристрій вивантаження пакованої продукції із машини.

Конструкція машини, її технологічна схема і вибір тих чи інших структурних елементів залежать від геометричних розмірів продукції, її форми та фізико-механічних характеристик, способу загортання, типу пакувального матеріалу і необхідної продуктивності. Залежно від ступеню автоматизації і механізації машини вона може працювати як окремо від технологічної лінії, так і бути влаштованою в технологічну лінію. В першому випадку вироби подаються в живильник машини періодично, а в другому — безперервно. Для дрібно-штучних твердих виробів застосовують живильники, до складу яких входять: бункер, вібрлоток, подавальний диск із комірками, що здійснює періодичний обертальний рух. Існують також живильники, в яких замість вібрлотків застосовують канавчатий конвеєр (для таблетованих виробів). Однак така подача має значні недоліки в неефективному заповненні комірок диска виробами. Для плоских виробів застосовують живильники, до складу яких входять: бункер, багатоканавчатий конвеєр і ланцюговий конвеєр із періодичним рухом. Коефіцієнт заповнення такого живильника дорівнює одиниці. Поряд із тим він є габаритним і застосовується при малих швидкостях. Живильники для продукції, що подається монолітним джгутом, складаються із двох пар роликів — формувальних і подавальних; ножа і штовхача, що видає виріб у загортальну секцію. Живильники машин для загортання групи виробів поділяються на дві основні групи: живильники, що завантажують насипом, і живильники, що завантажують попередньо зорієнтованими виробами. Залежно від призначення пакувальні машини для штучних продуктів можна поділити на такі групи:

- Машини для загортання твердих штучних виробів, що мають правильну геометричну форму:

- для дрібних штучних виробів, які мають достатню механічну

міцність, що дає можливість для живлення машин застосувати бункер;

- для штучних виробів, які потребують індивідуальної подачі кожного виробу в живильник (м'які вироби);

- для виробів, що загортають в пакувальний матеріал по декілька штук.

У таких машинах потрібно встановлювати пристрої групування виробів.

- Машини для загортання виробів, що мають властивості пластичних мас:

- правильна геометрична форма таких виробів формується в загортальному модулі;

- конструкція загортальних модулів залежить також від того, в якому вигляді поставляється пакувальний матеріал - рулонний чи флатовий;

- залежно від внутрішньо-машинної транспортної системи загортальні машини поділяють на роторні і лінійні.

Для синхронізації подачі виробів і роботи машини можуть застосовуватись ланцюгові конвеєри, штовхачі, що здійснюють зворотно-поступальний рух, а також серводвигуни. Таким чином, основними елементами живильників є: бункер, вібрлоток, конвеєр і подавальний диск, шахта-магазин, штовхач. Всі живильники загортальних машин можна поділити на дві групи: живильники для поштучного пакування і живильники для групового пакування виробів. Технологічний процес пакування дрібно-штучного і штучного продукту характеризується багатовимірністю як за кількістю складових елементів, функцій, так і за ступенем зв'язку між ними.

Типова структура машини для пакування дрібно-штучних продуктів відповідає структурі технологічного процесу пакування та включає в себе функціональні модулі за ДСТУ 2379-94 - систему приводів виконавчих механізмів та систему керування їх роботою. Перша частина графу – це топологія графу технологічного процесу подачі плівкового матеріалу (рис.2.20) на рівнях 1-6. Наведений граф охоплює можливі способи подачі рулонного пакувального матеріалу до наступних технологічних етапів:

1.1– фіксація рулону плівкового пакувального матеріалу на рулонотримачі;

- 2.1– розмотування рулону плівкового пакувального матеріалу;
- 3.0 – амортизація плівкового пакувального матеріалу;
- 3.1 – акумулювання плівкового пакувального матеріалу;
- 4.0 – компенсація надлишку плівкового пакувального матеріалу;
- 4.1 – зміна режиму роботи робочих органів модуля пакування з безперервного на періодичний;
- 5.1– регулювання натягу плівкового пакувального матеріалу;
- 6.1– направлена подача плівкового пакувального матеріалу.

Цей процес є спільним як для дрібно-штучних, так і для штучних продуктів.

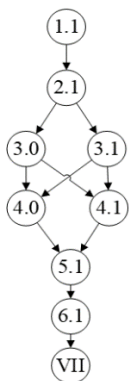


Рисунок 2.20 – Структурний граф технологічного процесу подачі рулонного пакувального матеріалу

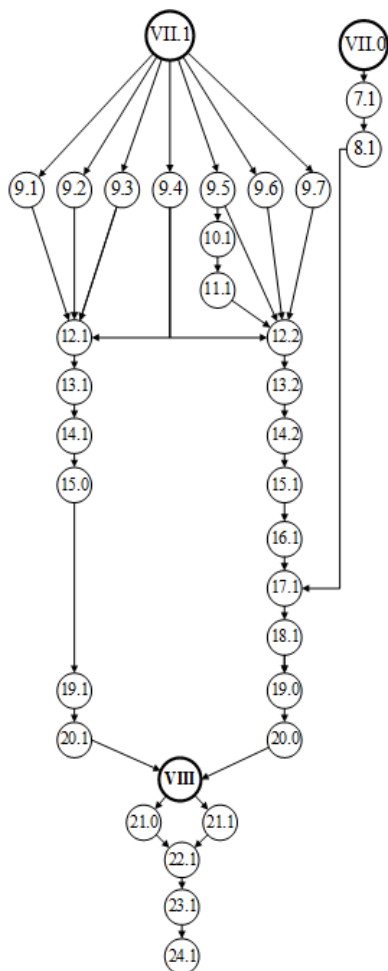
Формалізоване представлення графа виражається наступним чином:

$$S : m_1 (x_{1.1}) \wedge m_2 (x_{2.1}) \wedge m_3 (x_{3.0} \vee x_{3.1}) \wedge m_4 (x_{4.0} \vee x_{4.1}) \wedge m_5 (x_{5.1}) \wedge m_6 (x_{6.1}),$$

де S – реалізація службової функції (виконання технологічної операції пакування), m – технологічні переходи, виконані відповідними функціональними модулями.

Друга частина графу наведена етапами технологічного процесу дозування дрібно-штучного продукту, відповідні рівні графу 7.1-20.0, пов'язані із попередньою частиною процесу. Третя частина графу пов'язана із етапами дозування, фасування або укладання дрібно-штучного або штучного продукту

у пакет - рівні 21.0-24.1 (рис.2.21).



- подача стрічки плівкового матеріалу;
- подача заготовок пакетів в магазин;
- виділення і подача одиничної заготовки пакету із магазину;
- складання стрічки;
- подача зір -замка у вигляді стрічки;
- приварювання зір-стрічки до матеріалу упаковки;
- формування об'ємного дна пакету;
- фальцювання ребер дна пакету;
- зварювання вертикального шва пакету
- висікання форми пакету;
- відрізання одиничного пакету;
- розкриття верху пакету;
- подача стисненого повітря всередину пакету або газового середовища;
- формування бокових складок на дні для створення об'ємного пакету;
- зварювання нижнього поперечного шва (дна) пакету;
- дозування продукції;
- формування бокових складок на пакеті для створення його об'ємного виду;
- зварювання верхнього поперечного шва пакету
- відрізання і/або перфорування готової пакованої одиниці;
- виведення готової пакованої одиниці з пакувальної машини

Рисунок 2.21 – Структурно-технологічний граф процесу пакування штучної та дрібно - штучної продукції в яку полімерну упаковку

Формалізоване представлення графа (рис.2.21), виражається наступним чином:

$$S : m_7(x_{7.1}) \wedge m_8(x_{8.1}) \wedge m_9(x_{9.1} \vee x_{9.2} \vee x_{9.3} \vee x_{9.4} \vee x_{9.5} \vee x_{9.6} \vee x_{9.7}) \wedge m_{10}(x_{10.1}) \wedge m_{11}(x_{11.1}) \wedge m_{12}(x_{12.1} \vee x_{12.2}) \wedge m_{13}(x_{13.1} \vee x_{13.2}) \wedge m_{14}(x_{14.1} \vee x_{14.2}) \wedge m_{15}(x_{15.0} \vee x_{15.1}) \wedge m_{16}(x_{16.1}) \wedge m_{17}(x_{17.1}) \wedge m_{18}(x_{18.1}) \wedge m_{19}(x_{19.1}) \wedge m_{20}(x_{20.1} \vee x_{20.0}) \wedge m_{21}(x_{21.0} \vee x_{21.1}) \wedge m_{22}(x_{22.1}) \wedge m_{23}(x_{23.1}) \wedge m_{24}(x_{24.1})$$

$$m_{20}(x_{20.0} \vee x_{20.1}) \wedge m_{21}(x_{21.0} \vee x_{21.1}) \wedge m_{22}(x_{22.1}) \wedge m_{23}(x_{23.1}) \wedge m_{24}(x_{24.1}).$$

Серед варіантів технологічного процесу пакування штучної та дрібно - штучної продукції в м'яку полімерну упаковку можна виділити дві схеми, які найчастіше використовують у сучасних пакувальних машинах, принципова відмінність яких полягає у компонованні ФМ у складі пакувальної машини: 1) формування споживчої упаковки в ПМ, 2) використання попередньо сформованої споживчої упаковки. Тим самим базовими можна прийняти такі послідовності виконання операцій:

1) 1.1 - 2.1 - 3.0, 5.1 - 6.1, 9.4, 14.1, 18.1, 20.1, 21.1, 22.1 - 23.1, 24.1.

Ця послідовність відповідає технологічному процесу, у якому упаковка виготовляється із рулонних пакувальних матеріалів.

2) 7.1 - 8.1 - 9.1 - 17.1, 18.1, 19.0, 22.1 - 24.1

Ця послідовність відповідає технологічному процесу, у якому передбачено подачу попередньо виготовленої упаковки. Використавши варіанти технологічних процесів, можна у разі потреби, виключенням або заміною деяких операцій створити необхідний технологічний процес. Завдання структурного синтезу в даному випадку полягає в знаходженні такої множини функціональних модулів (ФМ), щоб виконувались усі технологічні переходи операції пакування, причому надійність машини має бути максимально високою, а вартість щоб не перевищувала гранично допустимого значення. Зауважимо, що не всі ФМ є взаємо поєднуваними, оскільки одну і ту ж функцію повинен виконувати у складі однієї й тієї ж машини-автомату лише один ФМ.

Пакування дрібно-штучних та штучних продуктів методом обгортання

Упаковка-обгортка виготовляється із гнучких пакувальних матеріалів при безпосередній участі продукту, який має стабільні розміри і форму. Під час обгортання, окремі фази пакування найчастіше фіксують загинанням або обгортанням матеріалу на продукті, а також утриманням пакувального листа

на ньому методом згинання крайками, клеєм, липкою стрічкою, скобами і т. п. Структурний граф технологічного процесу пакування і виготовлення раціональної конструкції упаковки-обгортки з гнучких матеріалів наведена на рис. 2.22.

Серед варіантів технологічного процесу пакування штучного продукту методом загортання в м'яку полімерну упаковку можна виділити дві схеми, які найчастіше використовують у сучасних пакувальних машинах, принципова відмінність яких полягає у компонованні у складі пакувальної машини: 1) формування споживчої упаковки в роторних ПМ, 2) формування споживчої упаковки в лінійних ПМ. Тим самим базовими можна прийняти такі послідовності виконання операцій:

1) III.2-III.4, 1.1 - 1.2, 2.0-2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.3, 7.4, 8.1, 9.1.

2) III.1, 1.0, 3.1 - 3.3, 4.1-4.3, 5.3-5.4, 6.3 - 6.4, 7.1 - 7.5, 8.0, 9.1.

Для проведення подальшого структурного багатокритеріального аналізу із ієрархічної структури пакувальної машини відокремимо один варіант. Для забезпечення пакувальним матеріалом у наведених структурах використані допоміжні модулі подачі рулонного матеріалу.

Формалізоване представлення технологічного графа має вигляд:

$$S : m_1(x_{1.1} \vee x_{1.2} \vee x_{1.3}) \wedge m_2(x_{2.0} \vee x_{2.1} \vee x_{2.2}) \wedge m_3(x_{3.1} \vee x_{3.2} \vee x_{3.3} \vee x_{3.4}) \wedge m_4(x_{4.1} \vee x_{4.2} \vee x_{4.3} \vee x_{4.4}) \wedge m_5(x_{5.1} \vee x_{5.2} \vee x_{5.3} \vee x_{5.4} \vee x_{5.5}) \wedge m_6(x_{6.1} \vee x_{6.2} \vee x_{6.3} \vee x_{6.4} \vee x_{6.5} \vee x_{6.6}) \wedge m_7(x_{7.1} \vee x_{7.2} \vee x_{7.3} \vee x_{7.4} \vee x_{7.5} \vee x_{7.6}) \wedge m_8(x_{8.1} \vee x_{8.2}) \wedge m_9(x_{9.1}) .$$

Сучасні машини для пакування дрібно-штучних та штучних продуктів у різні види та типи споживчої тари це технічно та технологічно складні технічні системи. Виникають суттєві ускладнення під час дослідного та розрахункового характеру. Для розв'язання задач аналізу та синтезу такого обладнання можна застосувати сучасні методи дослідження технологічних операцій та систем.

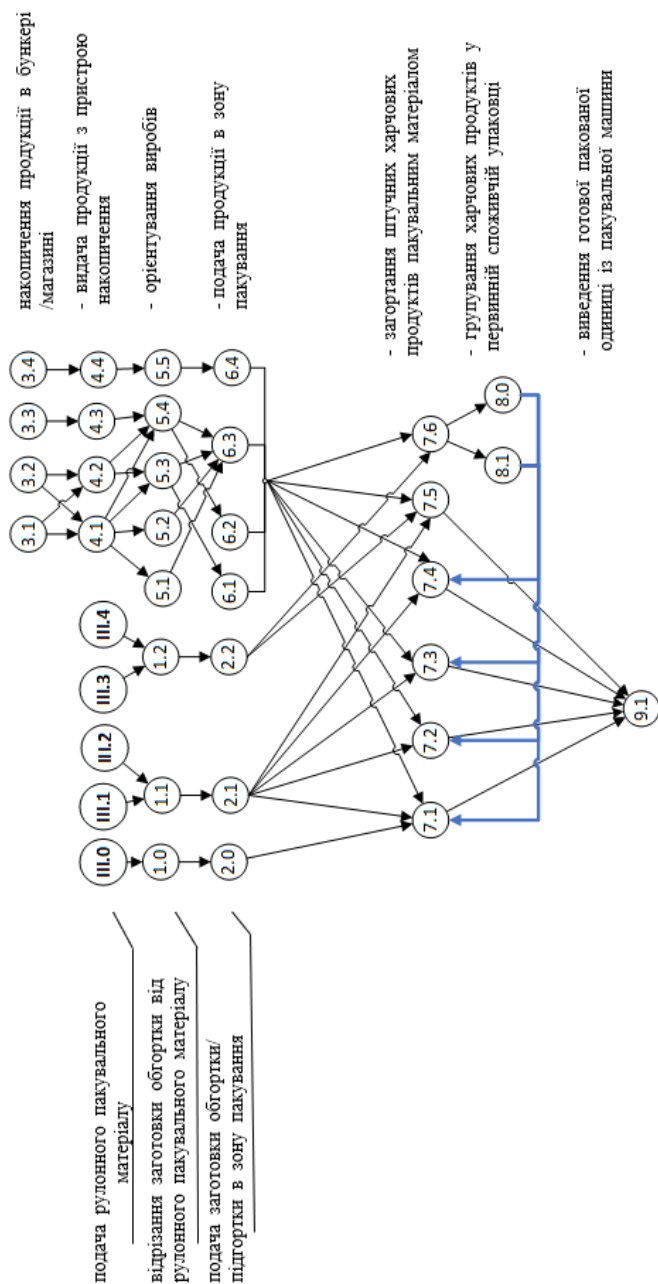


Рисунок 2.22 - Структурний граф машини для загоргання дрібно-штучних і штучних виробів

2.2.4 Машини групового пакування пакувальних одиниць

Технологічні процеси формування групової упаковки мають складну структуру паралельного та послідовного виконання операцій в часі та просторі, які поєднують три технологічні блоки: підготовка транспортної тари або обгорткового матеріалу, формування структурних елементів групової упаковки, скріплення та оформлення заповненої тари.

Перший блок технологічних операцій забезпечує формування тари. Структура подачі тари може забезпечуватися двома схемами: використання попередньо сформованої тари та формування тари з плоскоскладеної заготовки. Для групового пакування широко використовують гофрокартонні ящики або лотки.

Перелік технологічних операцій формування лотка або ящика передбачає:

1.1 – виділення одиничної плоскоскладеної заготовки з магазину або лотка; 2.1 – формування тари; 4.1 – встановлення додаткових пакувальних елементів; 5.1 – орієнтування; 6.1 – подача тари в місце завантаження.

Послідовність виконання операцій формування транспортної тари наведено у вигляді рівнів. Виконання технологічних операцій відображено переходами від вищого рівня до наступного нижчого і позначається стрілками.

Структурний граф формування тари наведений на рис. 2.23. Цифри в кружках позначають номери технологічних операцій та їх варіанти. Наведений граф відображає лише наявність та порядок виконання окремих операцій технологічного процесу.

Формалізоване представлення графа технологічного процесу формування тари можна навести у вигляді виразу:

$$S : (m_1 x_{1.1} \wedge m_2 x_{2.1}) \vee m_3 x_{3.1} \wedge m_4 (x_{4.0} \vee x_{4.1}) \wedge m_5 (x_{5.0} \vee x_{5.1}) \wedge m_6 x_{6.1},$$

де m_i – маса проміжних елементів тари; S – реалізація службової функції обладнання формування тари, яка характеризується його технологічними операціями; x_i – i -та технологічна операція.

- Виділення одиничної плоскоскладеної заготовки з магазину або потоку
- Формування тари
- Виділення одиничної тари з магазину або потоку
- Встановлення допоміжних пакувальних засобів (ДПЗ)
- Орієнтування тари на конвеєрі
- Подача тари в місце завантаження

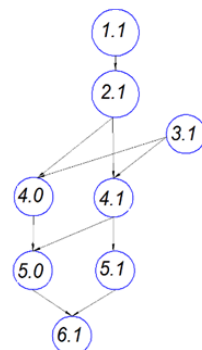


Рисунок 2.23 – Структурний граф технологічного процесу формування тари

Граф формування лотка наведений на рис. 2.24.



Рисунок 2.24 - Структурний граф технологічного процесу формування лотка

Формалізоване представлення графа технологічного процесу формування лотка можна навести у вигляді виразу:

$$S : (m_1 x_{1.1} \wedge m_2 x_{2.1}) \vee m_3 x_{3.1} \wedge m_4 (x_{4.0} \vee x_{4.1}) \wedge m_5 (x_{5.0} \vee x_{5.1}) \wedge m_6 x_6,$$

де m_i – маса допоміжних елементів лотка; S – реалізація службової функції обладнання формування лотка, яка характеризується його технологічними операціями; x_i – i -та технологічна операція.

Другий блок технологічних операцій забезпечує формування структурних елементів групової упаковки.

Горизонтальна схема формування групової упаковки передбачає подачу споживчої упаковки в задане положення з подальшим їх накопиченням, внаслідок чого здійснюється набір ряду. В подальшому проводиться переміщення ряду пакувальних одиниць на поверхню накопичення шару або формування штабеля. Після завершення формування шару пакувальних одиниць останній зіштовхується в транспортну тару на раніше укладений шар упаковок, який переміщується разом з ящиком донизу або догори на висоту шару. У випадку формування групової упаковки із штабелів пакувальних одиниць, ящик є нерухомим. Вертикальний спосіб передбачає формування групової упаковки укладанням новоутвореного шару пакувальних одиниць в тару опусканням його донизу на висоту пакувальної одиниці.

Основними технологічними операціями такої групи обладнання є подача та орієнтування упаковки, формування структурних елементів групової упаковки з подальшим зіштовхуванням, покрокове переміщення структурних елементів групової упаковки або транспортної тари.

Обладнання, в якому формування групової упаковки здійснюється без відриву пакувальних одиниць або структурних елементів від несучих поверхонь робочих органів, відноситься до групи 2D ($z=0$) переміщення, а з відривом пакувальних одиниць або структурних елементів від несучих поверхонь робочих органів - до групи 3D ($z=1$) переміщення. Такий спосіб формування групової упаковки відрізняється від попереднього тим, що пакувальна одиниця або структурний елемент групової упаковки переміщується в тару або на обгортальний матеріал із відривом від несучих поверхонь робочих органів. Так, сформований шар пакувальних одиниць не зіштовхується в тару, а натомість піднімається, переміщується та опускається в тару або на раніше укладений шар упаковок. При цьому довжина ряду пакувальних одиниць є рівною довжині групової упаковки. Набір шару

здійснюється зіштовхуванням ряду перпендикулярно подачі пакувальних одиниць. Далі послідовно відбувається переміщення шару споживчих упаковок шляхом піднімання, переміщення та опускання в транспортну тару на раніше укладений шар упаковок. В обладнанні за схемою 3D ($z=1$) переміщення домінують операції орієнтування споживчої упаковки і транспортної тари, формування структурних елементів групової упаковки з подальшим їх переміщенням шляхом піднімання, переміщення та опускання, покрокове переміщення (опускання) транспортної тари.

Розроблений структурний граф технологічного процесу, що виконується пакувальним обладнанням за схемою 2D ($z=0$) переміщення, наведено на рис.2.25.

У наведеному графі не враховуються операції формування структури групової упаковки шляхом утворення стопи. Це обумовлено тим, що проведений аналіз технологічних схем показав малу кількість фактів використання такого способу формування групової упаковки в силу складності його технічної реалізації. Послідовність виконання основних операцій групового пакування наведено у вигляді рівнів. Номенклатурі технологічних операцій відповідає широка номенклатура основних робочих органів обладнання для групового пакування.

Для технологічного процесу групового пакування за схемою 2D ($z=0$) переміщення структурних елементів групової упаковки виділено такі характерні операції (за рівнями графа): 7.1 – переміщення споживчих упаковок від фасувальних машин подавальним конвеєром; 8.1 – орієнтування упаковок на конвеєрі; 6.1 – подача транспортної тари в місце завантаження; 9.1 – поштучне зіштовхування упаковок у тару або на лоток; 10.1 – формування ряду упаковок; 11.1 – порядне зіштовхування упаковок у тару або на лоток; 12.1 – формування шару упаковок; 13.1 – пошарове укладання упаковок у тару або на лоток; 14.1 – переміщення тари або сформованого структурного елемента на крок у вертикальній площині; 15.1 – формування групової

упаковки; 16.1 – переміщення групової упаковки в тару; 17.1 – переміщення заповненої тари у вертикальній площині; 18.1 – переорієнтування заповненої транспортної тари на 90° ; 19.1 – переміщення транспортної тари в зону скріплення та оформлення.



Рисунок 2.25 – Структурний граф технологічного процесу групового пакування за схемою 2D ($z=0$) переміщень структурних елементів групової упаковки

Наведений граф охоплює всі можливі способи формування групової упаковки із найрізноманітніших розмірів споживчих упаковок форми паралелепіпеда. Формалізоване представлення такого графа можна навести у вигляді виразу:

$$S : m_7 x_{7.1} \wedge m_8 (x_{8.0} \vee x_{8.1}) \wedge m_6 x_{6.1} \wedge m (x_{9.0} \vee x_{9.1}) \wedge m_{10} (x_{10.0} \vee x_{10.1}) \wedge m_{11} (x_{11.0} \vee x_{11.1}) \wedge m_{12} (x_{12.0} \vee x_{12.1}) \wedge m_{13} (x_{13.0} \vee x_{13.1}) \wedge m_{14} (x_{14.0} \vee x_{14.1}) \wedge m_{15} (x_{15.0} \vee x_{15.1}) \wedge m_{16} (x_{16.0} \vee x_{16.1}) \wedge m_{17} (x_{17.0} \vee x_{17.1}) \wedge m_{18} (x_{18.0} \vee x_{18.1}) \wedge m_{19} x_{19.1}.$$

Варто зазначити, що на основі аналізу структурного графу технологічного процесу визначено та прийнято найбільш типову послідовність операцій для обладнання за схемою 2D ($z=0$) переміщень структурних елементів групової упаковки:

1) **7.1 – 8.1 – 6.1 – 9.0 – 10.1 – 11.0 – 12.1 – 13.1 – 14.1 – 15.0 – 16.1 – 17.0 – 19.1.**

2) **7.1 – 8.1 – 6.1 – 9.0 – 10.1 – 11.0 – 12.1 – 13.1 – 14.1 – 15.0 – 16.0 – 18.0 – 19.1.**

Відмінністю другого варіанту послідовності виконання операцій є наявність операцій 12.1, 13.1 та 14.1, які забезпечують формування групової упаковки шляхом укладання шару споживчих упаковок на попередньо укладений шар із покроковим опусканням кожного із них на висоту шару та подальше переміщення сформованої групової упаковки в тару.

Отриманий граф дає можливість у разі потреби створити бажаний тип технологічного процесу шляхом виключення або заміни деяких операцій. Так наприклад, операція 9.1 виконується лише під час утворення групової упаковки з м'яких та напівжорстких споживчих упаковок. В інших випадках процес проходить через позицію 9.0. Наступний відрізок ланцюга 8.1 – 10.1 – 12.1 відповідає випадку, коли із споживчих упаковок формують спочатку ряд, а потім із рядів набирається шар. Якщо в процесі формування ряду орієнтування вантажів непотрібне, відрізок має вигляд 8.0 – 10.1 – 12.1. У випадку, коли шар формується одразу з орієнтованих одиничних споживчих

упаковок, процес проходить через позиції: 8.0 – 10.0 – 12.1.

Що стосується операцій 7.1 і 8.1, то у більшості випадків вони суміщені, оскільки виділення одиничної плоскоскладеної заготовки із магазину заготовок та подальше формування тари зазвичай виконується під час переміщення її до місця завантаження.

Можливі схеми технологічного процесу обладнання за схемою 3D ($z=1$) переміщень структурних елементів групової упаковки, в якій формування відбувається з відривом споживчої упаковки від поверхні переміщення наведені у вигляді структурного графу (рис. 2.26).

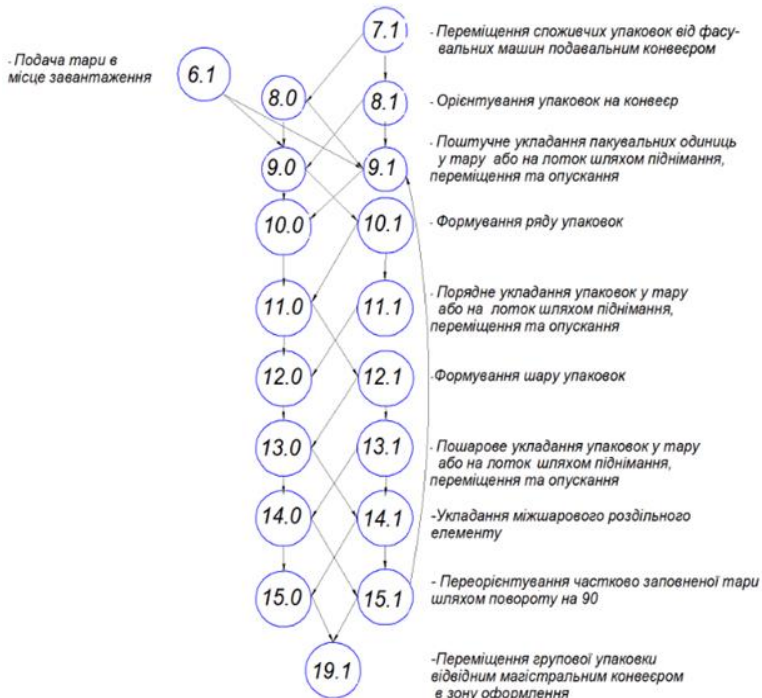


Рисунок 2.26 - Структурний граф технологічного процесу групового пакування, що виконується обладнанням за схемою 3D ($z=1$) переміщень структурних елементів групової упаковки

Наведений граф охоплює всі можливі способи формування групової упаковки із споживчих упаковок найрізноманітніших розмірів, форм (простих

та складних), жорстких, напівжорстких та м'яких типів. Формалізоване представлення структурного графа має вигляд:

$$S : m_7 x_{7,1} \wedge m_8 (x_{8,0} \vee x_{8,1}) \wedge m_6 x_{6,1} \wedge m_9 (x_{9,0} \vee x_{9,1}) \wedge m_{10} (x_{10,0} \vee x_{10,1}) \wedge \\ \wedge m_{11} (x_{11,0} \vee x_{11,1}) \wedge m_{12} (x_{12,0} \vee x_{12,1}) \wedge m_{13} (x_{13,0} \vee x_{13,1}) \wedge m_{14} (x_{14,0} \vee x_{14,1}) \wedge m_{15} \\ (x_{15,0} \vee x_{15,1}) \wedge m_{19} x_{19,1}.$$

Обладнання за схемою 3D (z=1) формування групової упаковки має типову послідовність операцій:

$$7.1 - 8.1 - 6.1 - 9.0 - 10.0 - 11.0 - 12.1 - 13.1 - 14.0 - 15.0 - 19.1.$$

Наведена послідовність операцій відрізняється від розглянутих типових технологічних процесів формування групової упаковки обладнанням за схемою 2D (z=0) переміщень тим, що групова упаковка може формуватись з одиничних споживчих упаковок (відсутні операції 10, 11 та 12), ряду та шару споживчих упаковок.

Однак процес має певні недоліки, серед яких обмеження за продуктивністю, що є наслідком кінематичних обмежень руху робочих органів модулів, та підвищені вимоги до мінімальних відхилень геометричних параметрів транспортної тари. Характерною конструктивною особливістю обладнання за схемою 3D (z=1) переміщень структурних елементів групової упаковки є наявність в усіх конструкціях захоплювальних пристроїв.

Третій блок технологічних операцій забезпечує герметизацію та оформлення заповненої транспортної тари (рис. 2.27).

При формуванні групової упаковки в гофрокартонних ящиках, процес герметизації тари традиційно забезпечується закриванням та скріпленням їх клапанів. Для фіксації клапанів ящика можуть використовуватися клей, скоби та клейка стрічка.

Наведений граф охоплює всі можливі способи процесу герметизації та оформлення тари з груповою упаковкою. Формалізоване представлення структурного графа має вигляд:

$$S : m_{19} x_{19,1} \wedge m_{20} (x_{20,0} \vee x_{20,1}) \wedge m_{21} x_{21,1} \wedge m_{22} (x_{22,0} \vee x_{23,1}) \wedge m_{23} x_{23,1} \wedge m_{24} (x_{24,0} \vee$$

$$\vee X_{24.1}) \wedge m_{25} X_{25.1} \wedge m_{26} (X_{26.0} \vee X_{26.1}) \wedge m_{27} (X_{27.0} \vee X_{27.1}) \wedge m_{28} (X_{28.0} \vee X_{28.1}) \wedge m_{36} X_{36.1} .$$



Рисунок 2.27 - Структурний граф технологічного процесу герметизації та оформлення транспортної тари з груповою упаковкою

Отриманий граф дає можливість у разі потреби створити бажаний тип технологічного процесу шляхом виключення або заміни деяких операцій.

Герметизація та оформлення транспортної тари з груповою упаковкою шляхом склеювання її клапанів має типову послідовність операцій:

19.1 – 20.1 – 21.1 – 22.1 – 27.1 – 36.1.

Герметизація та оформлення тари з груповою упаковкою шляхом зшивання її клапанів має типову послідовність операцій:

19.1 – 20.1 – 23.1 – 24.1 – 27.1 – 36.1.

Герметизація та оформлення тари з груповою упаковкою шляхом заклеювання її клапанів клейковою стрічкою має типову послідовність

операцій:

19.1 – 20.1 – 25.1 – 26.1 – 27.1 – 28.1 – 36.1.

Так наприклад, операція 28.1 виконується лише під час герметизації та оформлення тари з груповою упаковкою шляхом заклеювання її клапанів клейковою стрічкою. В інших випадках процес проходить через позицію 28.0.

Для процесу герметизації групової упаковки, сформованої на лотках можуть використовуватися полімерні плівки (рис. 2.28).



Рисунок 2.28 – Структурний граф технологічного процесу герметизації та оформлення лотка з груповою упаковкою

Наведений граф охоплює всі можливі способи процесу герметизації та оформлення лотка з груповою упаковкою. Формалізоване представлення структурного графа має вигляд:

$$S : m_{19} x_{19.1} \wedge m_{20} (x_{20.0} \vee x_{20.1}) \wedge m_{21} x_{21.1} \wedge m_{22} (x_{22.0} \vee x_{23.1}) \wedge m_{23} x_{23.1} \wedge m_{24} (x_{24.0} \vee x_{24.1}) \wedge m_{26} (x_{26.0} \vee x_{26.1}) \wedge m_{29} x_{29.1} \wedge m_{36} x_{36.1} .$$

Граф обгортання лотка з груповою упаковкою термоусадковою плівкою наведений на рис.2.29.



Рисунок 2.29 – Структурний граф технологічного процесу обгортання лотка з груповою упаковкою в термоусадкову плівку

Формалізоване представлення структурного графа має вигляд:

$$S : m_{30} x_{30.1} \wedge m_{31} (x_{31.0} \vee x_{31.1}) \wedge m_{32} (x_{32.0} \vee x_{32.1}) \wedge m_{29} x_{29.1} \wedge m_{33} (x_{33.0} \vee x_{33.1}) \wedge m_{34} (x_{34.0} \vee x_{34.1}) \wedge m_{35} (x_{35.0} \vee x_{35.1}) \wedge m_{36} x_{36.1} .$$

Отриманий граф дає можливість у разі потреби створити бажаний тип технологічного процесу шляхом виключення або заміни деяких операцій.

2.2.5 Машини формування збільшених вантажних одиниць

Пакетоформуючі машини (ПФМ) можна поділити на певні групи, що зумовлено особливостями їх побудови, траєкторією переміщення тарних вантажів, споживчих упаковок, піддонів та інших пакетувальних засобів. Всі вони характеризуються жорсткими циклами виконання технологічного процесу. Переналадження можливе за умови зміни або регулювання положення робочих органів машини, алгоритму керування виконанням

технологічних операцій. Для об'єктивного аналізу розглянуто конструкції обладнання з різними технологічними схемами формування транспортних пакетів. [216 - 219].

У кожному з варіантів виконується різна кількість операцій, а тому перевагу в такому випадку потрібно надавати тому варіанту, за яким виконується найменша кількість операцій [220]. Крім показника кількості операцій можна скористатися критерієм довжини шляхів, пройдених кожним вантажем від першої операції до укладання в пакет. Шлях, пройдений вантажем, визначається схемою формування транспортного пакета, габаритними розмірами вантажу, піддона та пакета загалом, а також необхідними технологічними зазорами. Використовуючи метод операційного аналізу [222] визначається кількість ударних навантажень, що сприймаються вантажем у процесі пакетування.

Встановлено, що перші вантажі пакета сприймають найбільшу кількість ударних навантажень. Отже, на цьому етапі аналізу схем формування можна вибрати для подальшого розгляду лише частину схем із усієї множини варіантів. Для розгляду всіх можливих схем технологічних процесів формування пакета із тарних вантажів найзручніше користуватися графом технологічного процесу (рис. 2.30).

Технологічний процес пакетування тарних вантажів включає такі характерні операції (за рівнями графа):

- 1.1. Подача одиничних тарних вантажів на подавальний конвеєр пакетоформуючої машини;
- 2.1. Переміщення вантажів подавальним конвеєром;
- 3.1. Профілювання м'якої транспортної тари (паперових, лляних та полімерних мішків із сипкою продукцією);
- 4.1. Орієнтування тарних вантажів;
5. Формування ряду або стопи вантажів;
- 5.1. Формування ряду вантажів;

- 5.2. Формування стопи вантажів;
- 6. Формування шару або штабеля вантажів;
 - 6.1. Формування шару з одиничних вантажів;
 - 6.2. Формування шару з рядів вантажів;
 - 6.3. Формування штабелю з рядів вантажів;
 - 6.4. Формування штабелю із стоп вантажів;
- 7. Переорієнтування шару або штабелю;
 - 7.1. Переорієнтування шару вантажів у штабель;
 - 7.2. Переорієнтування штабелю вантажів у шар;
- 8.1. Виділення одиничного піддона із стопи піддонів (виконується перед укладанням першого в пакеті шару або штабелю вантажів);
 - 9.1. Переміщення одиничного піддона до позиції накопичення пакета, або до платформи піднімального механізму.
 - 10.1. Встановлення або нанесення допоміжних засобів пакетування (укладання прокладок, нанесення клею між шарами вантажів та інше).
- 11. Формування транспортного пакета вантажів;
 - 11.1. Укладання вантажів на нерухомий піддон або раніше укладений шар;
 - 11.2. Укладання вантажів на нерухомий піддон або раніше укладений шар;
 - 11.3. Укладання штабелів вантажів у пакет;
 - 12.1. Скріплення транспортного пакета (стропами);
 - 13.1. Переміщення сформованого пакета із машини.

Наведений граф охоплює всі можливі способи формування транспортних пакетів із найрізноманітніших одиничних вантажів. Доречно зазначити, що для тарних вантажів більш технологічними є горизонтальний спосіб формування пакета. Тому серед великої кількості варіантів технологічного процесу формування транспортних пакетів із тарних вантажів можна виділити дві основні, що широко застосовуються, групи процесів, принципова

відмінність між якими полягає у способі укладання вантажів у пакет. У варіантах процесу, що здійснюється через позицію 11.1, переміщується сам пакет, а у тих, що проходять через позицію 11.2 – лише шар вантажів, що укладається.

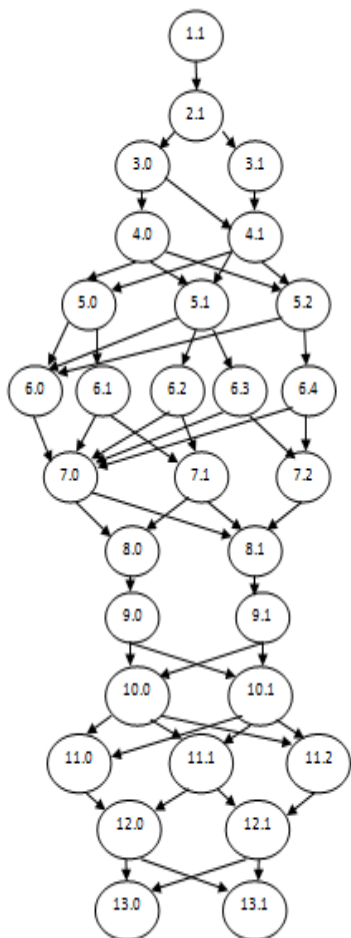


Рисунок 2.30 — Структурно-технологічний граф процесу формування транспортного пакета із тарних вантажів

Проаналізувавши структурний граф технологічного процесу формування транспортних пакетів із тарних вантажів найбільш близькою до універсальної для більшості тарних вантажів та оптимальною за функціональними показниками та вартістю схемою виконання процесу можна прийняти таку

послідовність операції:

1). 1.1-2.1-3.0-4.1-5.1-6.1(6.2)-7.0-8.1-9.1-10.0-11.1-12.0-13.1.

Ця послідовність відповідає технологічному процесу, у якому виконуються такі операції: перевантаження вантажу на подавальний конвеєр ПФМ; переміщення вантажу подавальним конвеєром; орієнтування вантажу; формування ряду вантажів; формування шару вантажів; виділення одиничного піддона із магазину піддонів та транспортування його до зони накопичення пакета; укладання шару вантажів на підйнятно-опускную платформу; переміщення сформованого пакета із машини;

2). 1.1-2.1-3.0-4.1-5.1-6.1(6.2)-7.0-8.1-9.1-10.0-11.2-12.0-13.1.

Відмінністю другого варіанту послідовності виконання операції є наявність операції 11.2 – укладання шару вантажів на нерухомий піддон або попередньо укладений шар.

На основі проведеного аналізу варіантів технологічних процесів можна в разі потреби виключенням або заміною деяких операцій створити бажаний тип технологічного процесу. Так, операція «3.1» виконується лише під час пакетування мішків із сипкою продукцією. В інших випадках процес проходить через позицію «3.0». Наступний відрізок ланцюга «4.1-5.1-6.2» відповідає випадку, коли із вантажів формують спочатку ряд, а потім із рядів – шар. Якщо в процесі формування ряду орієнтування вантажів непотрібне, відрізок має вигляд «4.0-5.1-6.2». У випадку коли шар формується одразу з орієнтованих одиничних вантажів, процес проходить через позиції «4.1-5.0-6.1». Що стосується операції «8.1» і «9.1», то у більшості випадків вони суміщені, оскільки виділення одиничного піддона із магазину піддонів звичайно виконується відведенням піддона із стопи та переміщенням його до зони формування пакета. Під час безпіддонного пакетування процес проходить через позиції «8.0» та «9.0» Знову ж таки, якщо немає потреби у допоміжних засобах пакетування, виконується позиція «10.1» та інше.

Реалізація технологічного процесу пакетування роботом-маніпулятором

відображається такою послідовністю:

1.1-2.1-3.0-4.1-5.0(5.1)-6.0(6.1, 6.2)-7.0-8.1-9.1-10.0-11.2-12.0-13.1.

Структура цього процесу відрізняється від процесів 1 та 2 тим, що пакет формується роботом із одиничних вантажів (відсутні операції 5, 6 та 7). Такий процес має значні недоліки – обмеження за продуктивністю, як наслідок кінематичних обмежень на рух робочих органів, суттєво більше значення кінематичного і технологічного циклу процесу та підвищені вимоги до відхилень геометричних параметрів транспортної тари.

З аналізу конструкцій ПФМ, що реалізують горизонтальний спосіб формування транспортного пакета, встановлено, що залежно від конструкції підйомально-опускного механізму, машини можна поділити на три групи: з рамною чотириколонною, порталною двоколонною та одноколонною компоновкою.

Найбільшого поширення, завдяки своїй мобільності, знайшла рамна чотириколонна компоновка ПФМ. Така компоновка передбачає прямолінійне та Г-подібне розташування основних функціональних модулів. Важливою характеристикою компоновки машини є напрямок вхідних та вихідних матеріальних потоків. Вони можуть бути: прямоточні, протилежно направлені та взаємно перпендикулярні.

Компонуванням ПФМ із функціональних модулів на основі рамної чотириколонної конструкції можна реалізувати вимоги з усіх напрямків вантажопотоків.

Під час аналізу структурних та конструктивних схем ПФМ, поряд із продуктивністю та якістю формування пакета, одним із важливих критеріїв є мінімальна вартість як самого обладнання, так і його експлуатації. Вартість обладнання пропорційна його металоемності та енергозабезпеченості. Однією з головних складових експлуатаційних витрат є споживання обладнанням енергії, його надійність та гнучкість до переналадження.

Тобто завдання структурного аналізу полягає в знаходженні такої

множини функціональних модулів, щоб усі технологічні операції та їх елементи виконувались у заданій послідовності, причому надійність машини повинна бути максимально високою, а вартість не перевищувала гранично допустимого значення. Під час проектування машини потрібно врахувати, що всі модулі є взаємопоеднувані, оскільки одну і ту ж функцію повинен у складі машини виконувати лише один модуль [223].

Граф логічних зв'язків між прийнятими до розгляду функціональними модулями наведено на рис. 2.31.



Рисунок 2.31 — Граф логічних зв'язків між функціональними модулями машин для формування транспортних пакетів із тарних вантажів

Формалізоване представлення графа виражається таким чином:

$$S: m_1 (x_{1.1}) \wedge m_2 (x_{2.1}) \vee m_3 (x_{3.1}) \wedge m_4 (x_{4.0} \vee x_{4.1}) \wedge m_5 (x_{5.0} \vee x_{5.1}) \wedge m_6 (x_{6.1} \vee x_{6.2}) \vee m_7 (x_{7.1} \vee x_{7.2}) \wedge m_8 (x_{8.1}) \wedge m_9 (x_{9.1}) \vee m_{10} (x_{10.1}) \wedge m_{11} (x_{1.1} \vee x_{11.2}) \vee m_{12} (x_{12.1}) \wedge m_{13} (x_{13.1})$$

Безпосередньо із споживчих упаковок формують пакети типу Б з прокладками-лотками або з плоскими прокладками одноразового використання. Машини для формування на піддонах пакетів типу Б є стаціонарними. Вони працюють у комплексі з автоматизованими потоковими лініями фасування готової продукції в жорстку споживчу тару, а також із виготовлення такої тари, виконуючи заключні операції перед відправкою виробів споживачеві. Конструкції таких машин подібні до ПФМ для тарних вантажів. Формування транспортних пакетів, в основному, здійснюється горизонтальним способом. Для цього застосовують ПФМ із чотири-, дво- та одноколонною рамою. Зазвичай у ПФМ із чотириколонною рамою транспортний пакет накопичується на рухомій платформі піднімально-опускового механізму. У таких машинах накопичення шарів упаковок здійснюється за рахунок зсування сформованого шару на платформу або попередньо укладений шар. У ПФМ з одноколонною рамою активно застосовують різні види та типи пристроїв захоплення [224].

Для розгляду всіх можливих схем технологічних процесів формування пакета із споживчих упаковок розроблено технологічний граф (рис. 2.32).

Технологічний процес формування транспортних пакетів із споживчих упаковок включає такі операції (за рівнями графа).

- 1.1. Багаторядна або поштучна подача споживчих упаковок на подавальний конвеєр пакетоформуючої машини;
- 2.1. Переміщення упаковок подавальним конвеєром;
- 3.1. Формування шару упаковок;
- 4.1. Виділення одиничного піддона із стопи піддонів (виконується перед укладанням першого в пакеті шару упаковок);
- 5.1. Переміщення одиничного піддона до позиції накопичення пакета або до

платформи піднімального механізму;

6.1. Виділення одиничного лотка або прокладки із стопи пакетувальних засобів;

7.1. Переміщення та встановлення одиничного лотка або прокладки на піддон або попередньо вкладений шар упаковок;

8.1. Укладання шару упаковок на лоток або прокладку;

9.1. Пошагове формування транспортного пакета;

10.1. Скріплення транспортного пакета;

11.1. Переміщення сформованого пакета із машини.

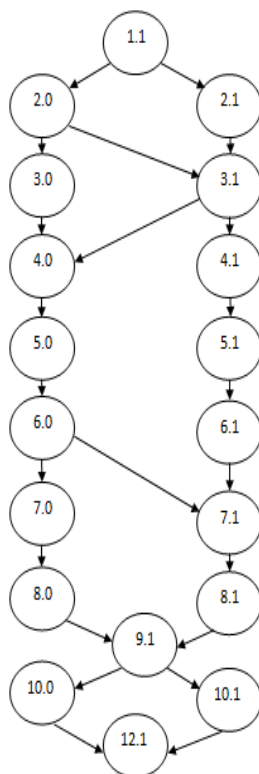


Рисунок 2.32 — Структурно-технологічний граф формування транспортного пакета із споживчих упаковок

На основі розробленого структурного графа процесів формування транспортних пакетів із тарних вантажів та споживчих упаковок, застосовуючи методи синтезу та аналізу, визначено раціональну послідовність виконання технологічних операцій, функціональні модулі для їх реалізації та встановлено логічні зв'язки між ними (рис. 2.33, 2.34).



Рисунок 2.33 — Логічні зв'язки між функціональними модулями в машинах формування транспортних пакетів із тарних вантажів



Рисунок 2.34 — Логічні зв'язки між функціональними модулями в машинах формування транспортних пакетів із споживчих упаковок на піддоні

На основі аналізу конструкції ПФМ для споживчих упаковок розроблено типові структури машин, які відповідають структурі технологічного процесу формування транспортних пакетів та включають в себе функціональні модулі, систему приводів робочих органів та схему керування їх роботою (рис. 2.35).

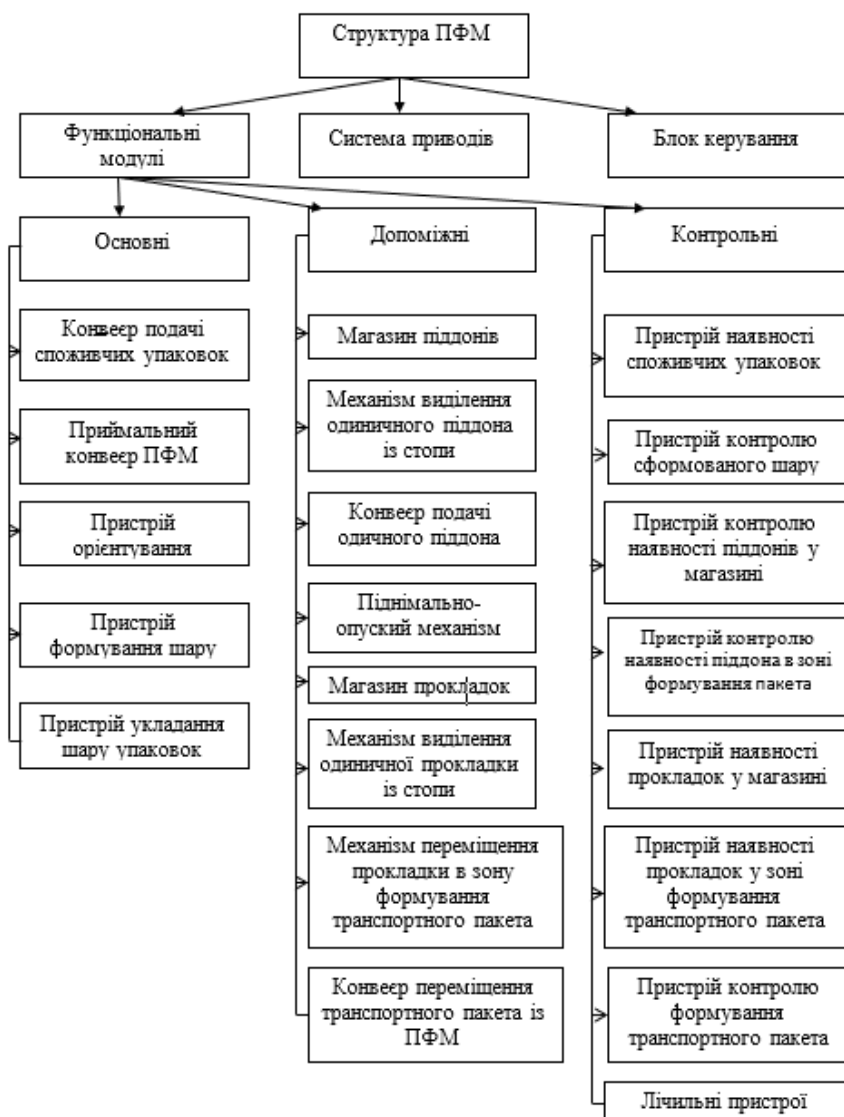


Рисунок 2.35 — Узагальнена структура машини для формування транспортних пакетів із споживчих упаковок на піддоні

Висновки

1. Всі функціональні модулі пакувальних машин-автоматів є складними технічними системами, що характеризуються багатьма властивостями, які визначають їх технічну ефективність і споживчу вартість. Створюючи ефективну структуру пакувальної машини доречно виконати три такі проєктні процедури: декомпозицію за заданою службовою функцією; синтез структури машин; оцінювання та відхилення неперспективних варіантів структури.

2. На основі аналізу конструкцій обладнання пакування сипкої продукції в споживчу тару виділено типові структури функціонального модуля дозування і фасування та типові структури функціонального модуля пакування і герметизації різних видів і типів споживчих упаковок.

3. Декомпозиція структури машин-автоматів пакування в'язких, в'язко-пластичних та дрібно-штучних продуктів із часовими і просторовими ознаками за видом кінцевого виробу дала можливість виділити типові структури пакувальних машин і формалізовано представити граф зв'язків між його складовими елементами.

4. Технологічні процеси формування групової упаковки та збільшеної вантажної одиниці мають складну структуру паралельного і послідовного виконання операцій в часі та просторі, які поєднують три технологічні блоки: формування структурних елементів; підготовка і подача тари й допоміжних пакувальних засобів; оформлення та відведення вантажу. Декомпозиція структури машин цієї функціональної групи дала можливість виділити типові функціонально-мехатронні модулі та формалізовано описати зв'язки між елементами структури.

РОЗДІЛ 3. МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ТИПОВИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ

3.1. Особливості морфологічного аналізу структури функціональних модулів пакувальних машин-автоматів

Морфологічний метод дослідження науково-технічних систем був запропонований Ф. Цвіккі і застосовується до цілого ряду систем. Цвіккі визначав морфологічне дослідження як цілісне, яке неупереджено виводить своє рішення досліджуваної проблеми [226].

Ним були запропоновані такі методи морфологічного дослідження, як: морфологічного ящика (ММЯ), систематичного покриття поля (МСПП), заперечення і конструювання (МЗК), екстремальних ситуацій (МЕС) тощо.

ММЯ знайшов широке практичне застосування під час дослідження технічних систем і як найбільш перспективний був обраний нами для розгляду та дослідження пакувальних машин. Слід зауважити, що інші методи можуть бути використані як допоміжні при побудові морфологічних таблиць (морфологічних ящиків), тобто як доповнення до ММЯ.

Метод морфологічного ящика не спирається на будь-які загальні припущення про закономірності середовища досліджуваного об'єкта, хоча в кожному конкретному випадку побудови морфологічного ящика використовуються дані про власні закономірності системи (середовища).

У загальному вигляді морфологічне дослідження ММЯ складається з таких п'яти етапів [226]:

- точне формулювання поставленої проблеми;
- визначення параметрів P_i від яких залежить вирішення проблеми;
- розподіл параметрів P_i та їх значення P_i^{ki} і зведення цих значень в таблицю;
- оцінка всіх наявних у морфологічному ящику варіантів;
- вибір із морфологічного ящика оптимального варіанта розв'язання

проблеми.

У першому наближенні ММЯ може бути названий результативним, якщо метою морфологічного дослідження вважати вивчення, а не отримання рішень проблеми. Морфологічна таблиця (МТ) дає опис принципово можливих варіантів вирішення проблеми. Кожен із таких описів є комбінацією значень розрізнених параметрів. У принципі, цей же опис рішень проблеми можна отримати і без допомоги морфологічної таблиці, проте з більшими витратами ресурсів. Це дає можливість назвати метод морфологічного ящика економним.

Метод морфологічного ящика крім операцій аналізу включає і операції синтезу. Типовою операцією аналізу є операція поділу параметрів за їх значеннями. Як приклад операції синтезу можна вказати на конструювання варіантів рішень шляхом комбінування значень різних параметрів.

Морфологічне дослідження, як і інші наукові дослідження, підпорядковані певній меті, що встановлює вимоги до результату дослідження і в цьому проявляється його нормативний характер. Тому поняття мети, поряд із поняттям функції, є одним із найважливіших у морфологічному дослідженні.

Метою дослідження у нашому випадку є морфологічний аналіз типових функціональних мехатронних модулів пакувальних машин для визначення усіх їх потенційно можливих конструктивних виконань.

З усіх дій, які потенційно може виконувати досліджуваний об'єкт, розглядаються лише ті, які призводять до бажаного результату - реалізації функції системи. Для досліджуваного обладнання це якісна реалізація процесу пакування з отриманням пакувань відповідної форми, кількості та якості.

Функція пакування продукції може бути поділена на такі підфункції як подача пакувального матеріалу, дозування продукту, виділення і подача споживчої тари тощо.

У результаті побудови морфологічної таблиці стає можливим отримання морфологічної множини варіантів системи, тобто кінцевої множини всіх існуючих та потенційно можливих функціональних систем, які можуть виконувати одну і ту ж функцію. Обсяг морфологічної множини обумовлений обмеженістю людських знань і обмеженнями, що накладаються вихідною метою.

Морфологічні множини знаходяться в стані еволюцій. Зміна потреб у функціональній системі цього виду зумовлює виникнення нових і виходу з ужитку раніше створених.

Результати, якими завершується морфологічне дослідження, можуть бути віднесені до одного з двох типів.

Результати першого типу – це обрана з МТ комбінація значень класифікаційних ознак, яка відповідає найбільш бажаному з точки зору мети варіанту функціональної системи. Результат другого типу - це висновок про ступінь функціональної придатності системи.

Морфологічне дослідження можна обмежити і одним морфологічним аналізом. Тоді результат такого дослідження - це морфологічна таблиця. Морфологічна таблиця, тобто багатоаспектна класифікація успадкованих функціональних об'єктів, використовується потім або для впорядкування інформаційного масиву даних, або в подальших фундаментальних дослідженнях як інструмент ідентифікації та багатоаспектного опису нововідкритих або штучно створюваних функціональних систем.

3.2. Морфологічний аналіз структури функціональних модулів пакувальних машин-автоматів

3.2.1 Аналіз структури машин пакування сипкої продукції у споживчу тару

Машини пакування сипкої продукції у споживчу тару – це складні технічні системи, до складу яких входить значна кількість функціональних

модулів. Умовно функціональні модулі можна поділити на дві групи або блоки – блок дозувально-фасувальний та блок пакувальний. До блоку дозувально-фасувального відносять такі функціональні модулі: модуль накопичення, подачі, перемішування сипкої продукції; модуль живлення; модуль дозування; модуль фасування. До блоку пакування: модуль накопичення, оброблення та поштучної видачі споживчої тари та допоміжних пакувальних засобів; модуль накопичення і подачі пакувального матеріалу; модуль формування, датування і герметизації споживчої упаковки; модуль оформлення і видачі пакувальної одиниці на магістральний конвеєр.

Сьогодні найширше застосовують м'яку термозварну споживчу упаковку для пакування сипких продуктів. А тому комбінацію структури машини розглянемо із застосуванням пакувального блоку, який забезпечує пакування сипкої продукції у м'яку термозварну споживчу упаковку. Комбінація структури дозувально-фасувального блоку здебільшого не залежить від структури пакувального блоку, тому її можна аналізувати як загальну для всіх видів споживчої упаковки, що застосовується для пакування сипкої продукції.

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів

Морфологічний аналіз виконаємо для кожного із функціональних модулів окремо.

Модуль накопичення, підготовки та подачі сипкої продукції

Таблиця 3.1 – Морфологічний аналіз функціонального модуля накопичення, підготовки та подачі сипкої продукції

	Варіанти конструктивного виконання			
	01	02	03	04
M_{1.1}	1	0	0	0
M_{1.2}	0	1	0	0
M_{1.3}	0	0	1	0
M_{1.4}	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

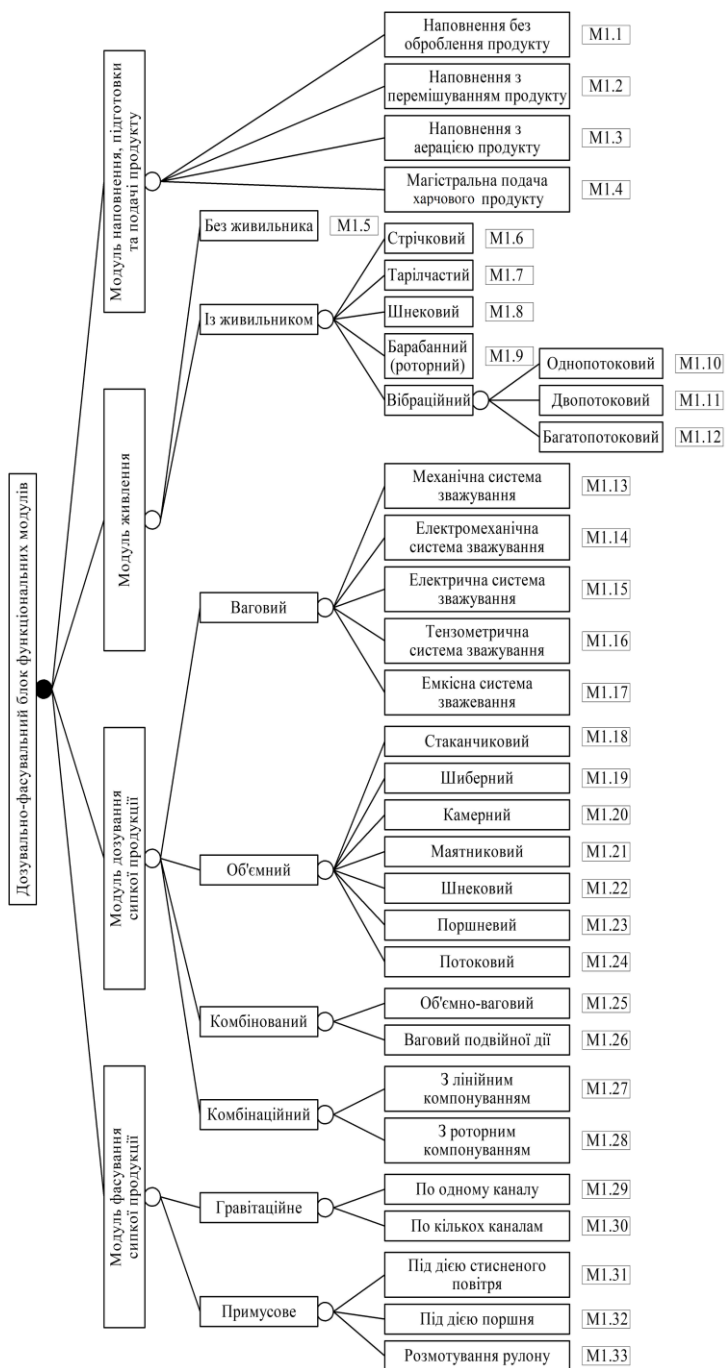


Рисунок 3.1 – Граф структури дозувально-фасувального блоку для сипкої продукції: • - вершини зв'язані умовно «так»; ○ - вершини зв'язані умовно «або»

Модуль живлення дозатора

Таблиця 3.2 – Морфологічний аналіз функціонального модуля живлення дозатора сипкою продукцією

	Варіанти конструктивного виконання							
	01	02	03	04	05	06	07	08
M_{1.5}	1	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.6}	0	1	0	0	0	0	0	0
M_{1.7}	0	0	1	0	0	0	0	0
M_{1.8}	0	0	0	1	0	0	0	0
M_{1.9}	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{1.10}	0	0	0	0	0	1	0	0
M_{1.11}	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{1.12}	0	0	0	0	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Модуль дозування сипкої продукції

Таблиця 3.3 – Морфологічний аналіз функціонального модуля дозування сипкої продукції

	Варіанти конструктивного виконання															
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
M_{1.13}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.14}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.15}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.16}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.17}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.18}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
M_{1.19}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.20}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
M_{1.21}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
M_{1.22}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M_{1.23}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
M_{1.24}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
M_{1.25}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
M_{1.26}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
M_{1.27}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{1.28}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Модуль фасування сипкої продукції

Таблиця 3.4 – Морфологічний аналіз модуля фасування сипкої продукції

	Варіанти конструктивного виконання							
	01	02	03	04	05	06	07	08
M_{1.29}	1	0	1	1	1	0	0	0
M_{1.30}	0	1	0	0	0	1	1	1
M_{1.31}	0	0	1	0	0	1	0	0
M_{1.32}	0	0	0	1	0	0	1	0
M_{1.33}	0	0	0	0	1	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Пакувальний блок функціональних модулів

Функціональний модуль формування упаковки

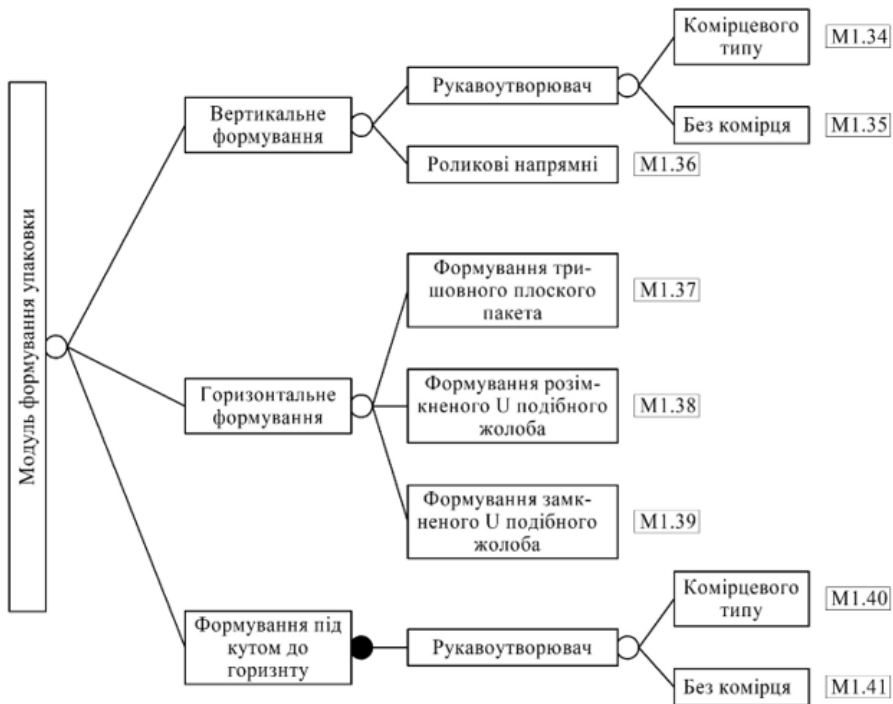


Рисунок 3.2 – Граф структури модуля формування упаковки: • - вершини зв'язані умовно «так»; ○ – вершини зв'язані умовно «або»

Таблиця 3.5 – Морфологічний аналіз функціонального модуля формування упаковки

	Варіанти конструктивного виконання					
	01	02	03	04	05	06
M_{1.34}	1	0	0	0	0	0
M_{1.35}	0	1	0	0	0	0
M_{1.36}	0	0	1	0	0	0
M_{1.37}	0	0	0	1	0	0
M_{1.38}	0	0	0	0	1	0
M_{1.39}	0	0	0	0	0	1
M_{1.40}	1	0	0	0	0	0
M_{1.41}	0	1	0	0	0	0

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Функціональний модуль руху термозварної полімерної плівки



Рисунок 3.3 – Граф структури модуля руху термозварної полімерної плівки

Таблиця 3.6 – Морфологічний аналіз функціонального модуля руху термозварної полімерної плівки

	Варіанти конструктивного виконання							
	01	02	03	04	05	06	07	08
M_{1.42}	1	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.43}	0	1	0	0	0	0	0	0
M_{1.44}	0	0	1	0	0	0	0	0
M_{1.45}	0	0	0	1	0	0	0	0
M_{1.46}	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{1.47}	0	0	0	0	0	1	0	0
M_{1.48}	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{1.49}	0	0	0	0	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Функціональний модуль амортизації плівки

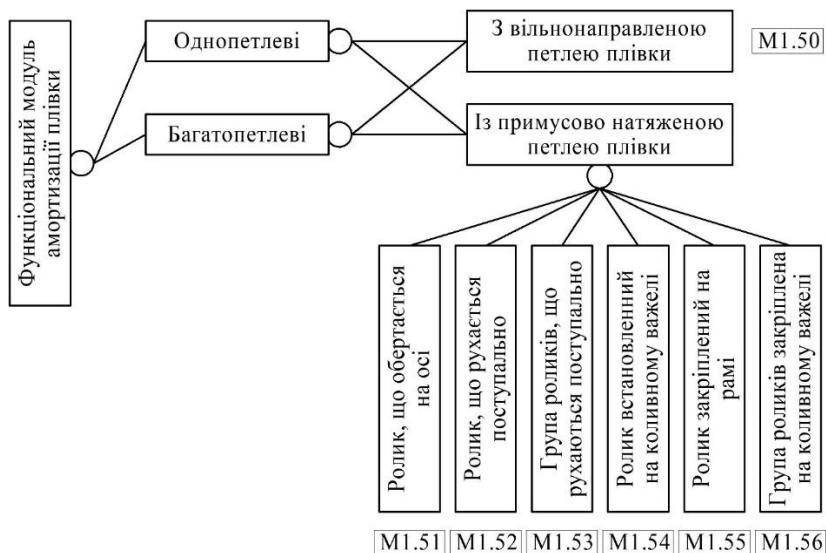


Рисунок 3.4 – Граф структури модуля амортизації плівки

Таблиця 3.7– Морфологічний аналіз функціонального модуля амортизації плівки

	Варіанти конструктивного виконання						
	01	02	03	04	05	06	07
M_{1.50}	1	0	0	0	0	0	0
M_{1.51}	0	1	0	0	0	0	0
M_{1.52}	0	0	1	0	0	0	0
M_{1.53}	0	0	0	1	0	0	0
M_{1.54}	0	0	0	0	1	0	0
M_{1.55}	0	0	0	0	0	1	0
M_{1.56}	0	0	0	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Функціональний модуль зварювання плівки

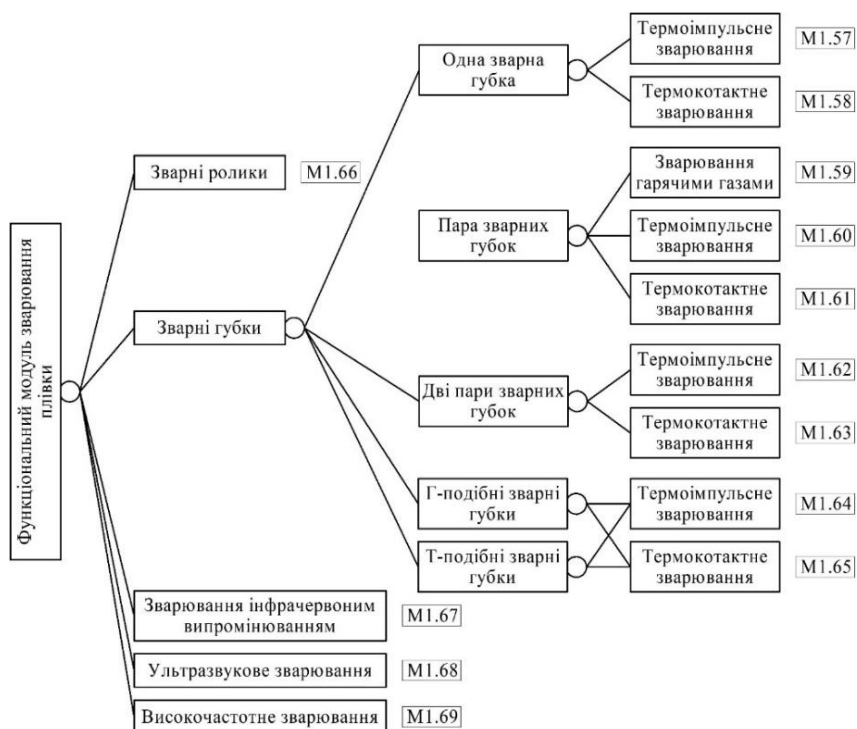


Рисунок 3.5 – Граф структури модуля зварювання плівки

Таблиця 3.8 – Морфологічний аналіз функціонального модуля зварювання плівки

	Варіанти конструктивного виконання												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
M_{1.57}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.58}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.59}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.60}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.61}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.62}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.63}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
M_{1.64}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
M_{1.65}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
M_{1.66}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{1.67}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M_{1.68}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{1.69}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Функціональний модуль відрізання плівки (упаковки)

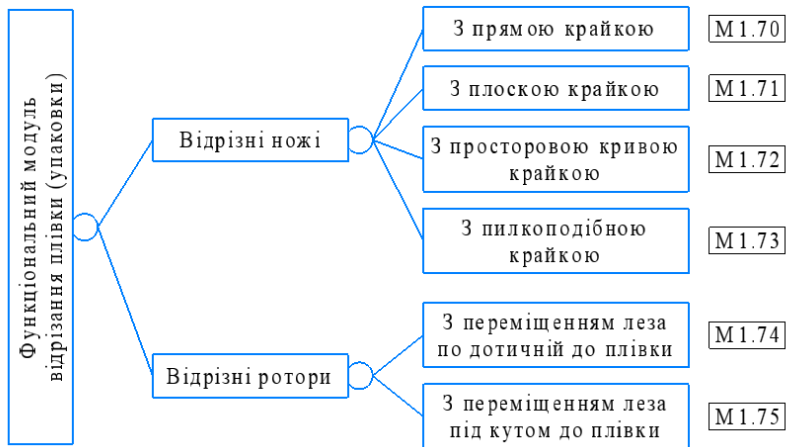


Рисунок 3.6 – Граф структури модуля відрізання плівки (упаковки)

Таблиця 3.9 – Морфологічний аналіз функціонального модуля відрізання плівки (упаковки)

	Варіанти конструктивного виконання					
	01	02	03	04	05	06
M_{1.70}	1	0	0	0	0	0
M_{1.71}	0	1	0	0	0	0
M_{1.72}	0	0	1	0	0	0
M_{1.73}	0	0	0	1	0	0
M_{1.74}	0	0	0	0	1	0
M_{1.75}	0	0	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Функціональний модуль нанесення дати

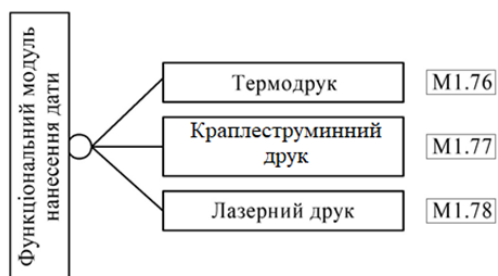


Рисунок 3.7 – Граф структури модуля нанесення дати

Таблиця 3.10 – Морфологічний аналіз функціонального модуля нанесення дати

	Варіанти конструктивного виконання		
	01	02	03
M_{1.76}	1	0	0
M_{1.77}	0	1	0
M_{1.78}	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

3.2.2. Аналіз структури машин пакування в'язкої та в'язко-пластичної продукції у споживчу тару

Здійснення функціонально-орієнтованого проектування машин для пакування в'язких та в'язко-пластичних продуктів передбачає виділення у структурі машини відокремлених функціональних модулів та розроблення кластерів (списку) можливих варіантів їх конструктивного виконання. Для проведення дослідження застосуємо метод морфологічного ящика (морфологічної таблиці).

Машини-автомати пакування в'язких харчових продуктів

Побудову морфологічних таблиць пакувальних машин для в'язких продуктів виконаємо за видом кінцевого виробу (видом тари, у яку безпосередньо здійснюється пакування - м'яку, напівжорстку та жорстку тару: пляшку, банку, пакет Філ-пак, пакет Дой-пак, стік, саше, стаканчик, руге-пак, кювету, тубу).

Пакування в напівжорстку споживчу тару (стаканчик, кювета)

Типовий представник машин які пакують в'язку продукцію у напівжорстку споживчу тару складається із дозувально-фасувального та пакувального блоків функціональних модулів.

Дозувально-фасувальний блок вміщує модулі: підготовки та подачі продукту до зони дозування, дозування та фасування продукту.

Пакувальний блок функціональних модулів вміщує модулі: виготовлення споживчої тари/виділення і подачі одиначної споживчої тари із магазину до механізму транспортування; транспортування споживчої тари; подачі закупорювального засобу до споживчої тари; герметизації споживчої упаковки; нанесення поточної інформації (дата терміну споживання тощо) на споживчу упаковку; виведення пакувальної одиниці з транспортуючого механізму та подачі пакованої продукції на приймальний стіл або відвідний

магістральний конвеєр.

Проаналізувавши кожен із наведених функціональних модулів створимо класифікаційний граф його структури та побудуємо для нього морфологічну таблицю можливих варіантів конструктивного виконання (розглядатимемо варіанти, які присутні у зразках як сучасного обладнання, так і машин минулих років і передбачають наявність їх різного конструктивного виконання).

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів

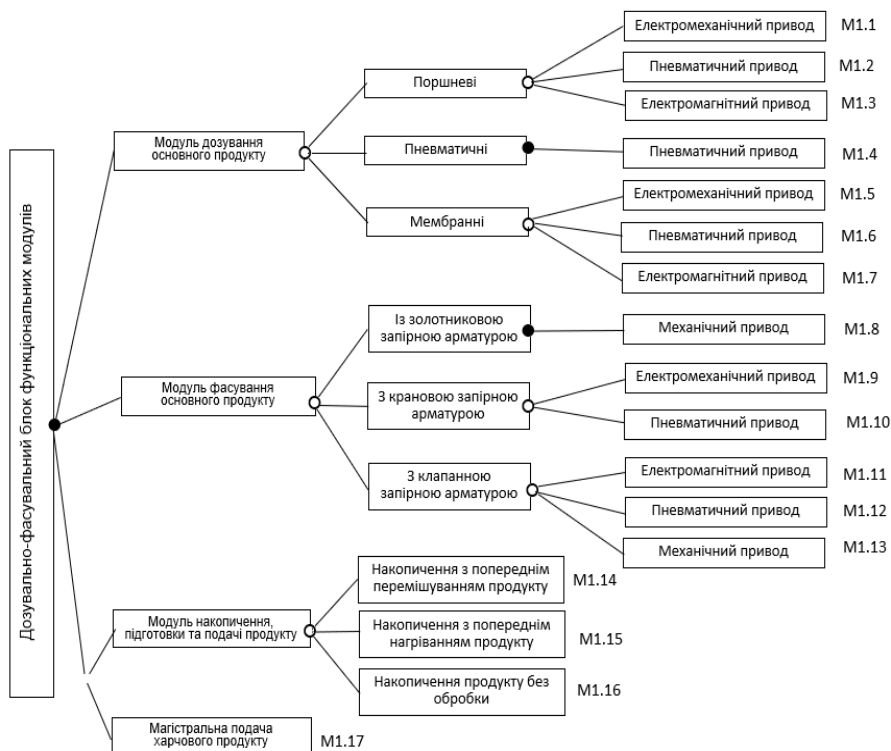


Рисунок 3.8 - Граф структури дозувально-фасувального блоку: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Модуль підготовки та подачі продукту до зони дозування

Таблиця 3.11 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля підготовки та подачі продукту

	Варіанти конструктивного виконання			
	01	02	03	04
M_{1.14}	0	1	0	0
M_{1.15}	0	0	1	0
M_{1.16}	0	0	0	1
M_{1.17}	1	0	0	0

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Модуль фасування та дозування основного продукту

Таблиця 3.12 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля фасування та дозування основного продукту

	Варіанти конструктивного виконання																							
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
M_{1.1}	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.2}	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.5}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.6}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
M_{1.7}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
M_{1.8}	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
M_{1.9}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.10}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{1.11}	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
M_{1.12}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
M_{1.13}	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

0 – механізм відсутній; 1 – механізм присутній

Пакувальний блок функціональних модулів

Мехатронний модуль виготовлення споживчої тари

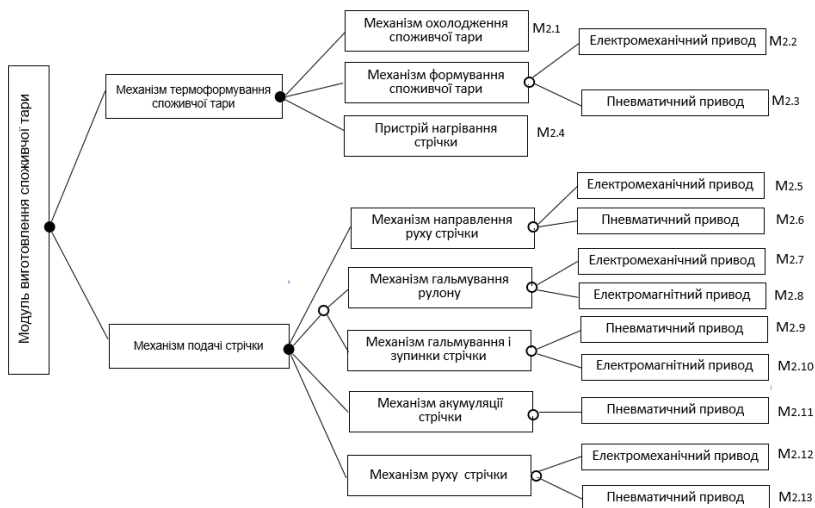


Рисунок 3.9 - Граф структури мехатронного модуля виготовлення тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.13 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля виготовлення споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання																					
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
M2.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2.2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M2.3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M2.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M2.5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M2.6	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M2.7	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
M2.8	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
M2.9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M2.10	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
M2.11	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M2.12	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
M2.13	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

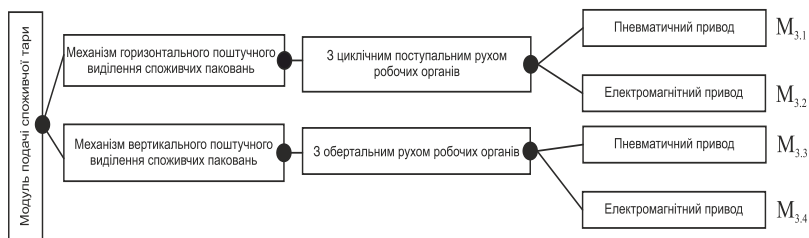


Рисунок 3.10 - Граф структури мехатронного модуля подачі тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.14 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля подачі тари

	Варіанти конструктивного виконання				
	01	02	03	04	05
M_{3.1}	1	0	0	0	1
M_{3.2}	0	1	0	0	0
M_{3.3}	0	0	1	0	1
M_{3.4}	0	0	0	1	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Мехатронний модуль транспортування споживчої тари

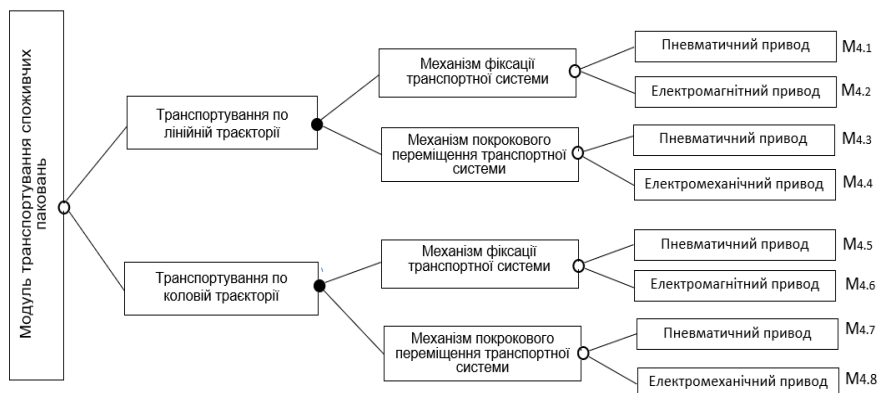


Рисунок 3.11 - Граф структури мехатронного модуля транспортування споживчої тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.15 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля транспортування споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання					
	01	02	03	04	05	06
М_{4.1}	1	0	0	0	0	0
М_{4.2}	0	1	1	0	0	0
М_{4.3}	1	1	0	0	0	0
М_{4.4}	0	0	1	0	0	0
М_{4.5}	0	0	0	1	0	0
М_{4.6}	0	0	0	0	1	1
М_{4.7}	0	0	0	1	1	0
М_{4.8}	0	0	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль знезараження та оброблення споживчої тари

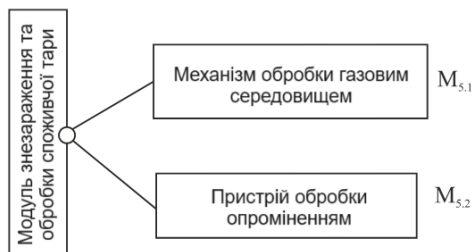


Рисунок 3.12 – Граф структури модуля знезараження та обробки споживчої тари: ○ - вершини зв'язані умовою «або».

Таблиця 3.16 – Морфологічний аналіз модуля знезараження та обробки споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання	
	01	02
М_{5.1}	1	0
М_{5.2}	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Мехатронний модуль подачі закурювального засобу

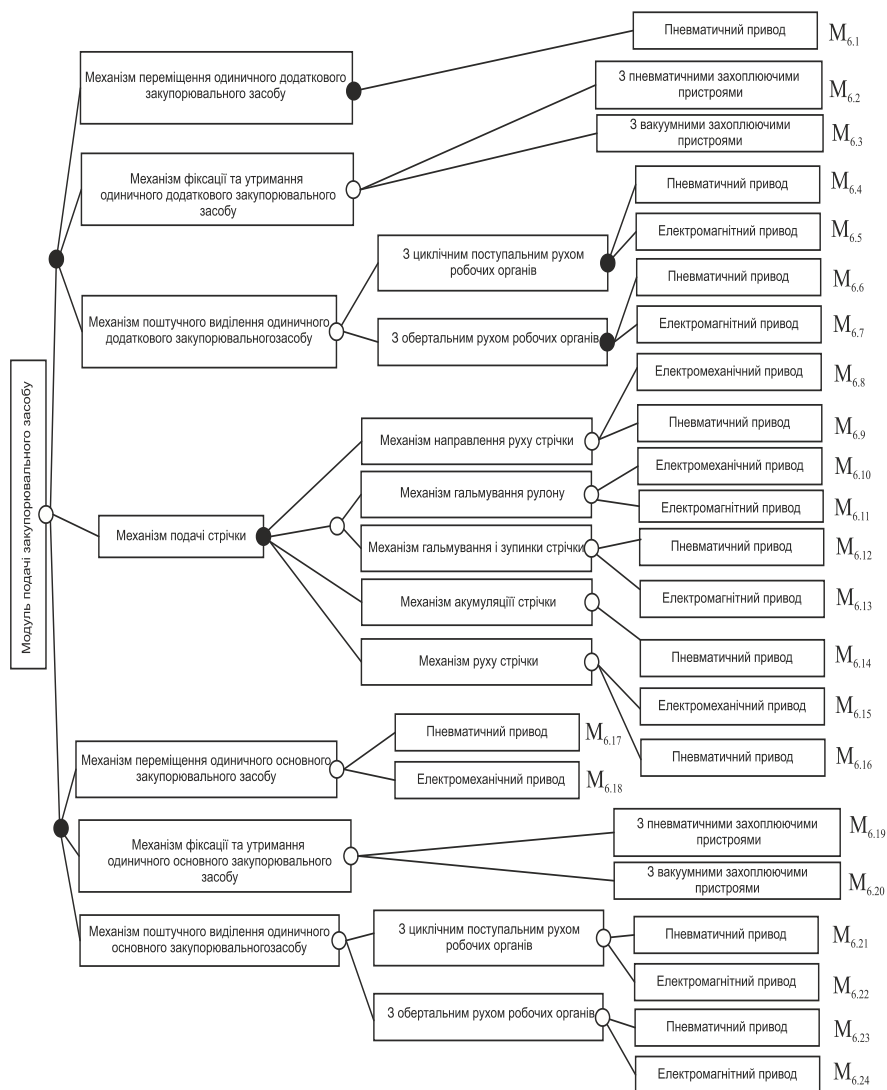


Рисунок 3.13 – Граф структури мехатронного модуля подачі закурювального засобу: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.17 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля подачі закупорювального засобу (для споживчої тари, яку виготовлено безпосередньо у пакувальній машині)

	Варіанти конструктивного виконання													
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
M_{6.8}	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
M_{6.9}	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
M_{6.10}	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
M_{6.11}	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
M_{6.12}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
M_{6.13}	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
M_{6.14}	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M_{6.15}	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{6.16}	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Таблиця 3.18 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля подачі закупорювального засобу (для споживчої тари, яку не виготовлено безпосередньо у пакувальній машині)

	Варіанти конструктивного виконання																	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
M_{6.1}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
M_{6.2}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
M_{6.3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
M_{6.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
M_{6.5}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
M_{6.6}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{6.7}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
M_{6.17}	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
M_{6.18}	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
M_{6.19}	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
M_{6.20}	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
M_{6.21}	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
M_{6.22}	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
M_{6.23}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
M_{6.24}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Мехатронний модуль герметизації споживчої тари

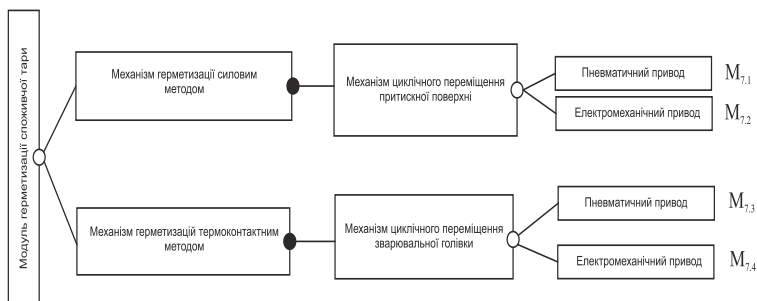


Рисунок 3.14 – Граф структури мехатронного модуля герметизації споживчої тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.19 – Морфологічний аналіз мехатронного модуля подачі герметизації споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання			
	01	02	03	04
M_{7.1}	0	0	1	0
M_{7.2}	0	0	0	1
M_{7.3}	1	0	1	0
M_{7.4}	0	1	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Мехатронний модуль маркування споживчої тари

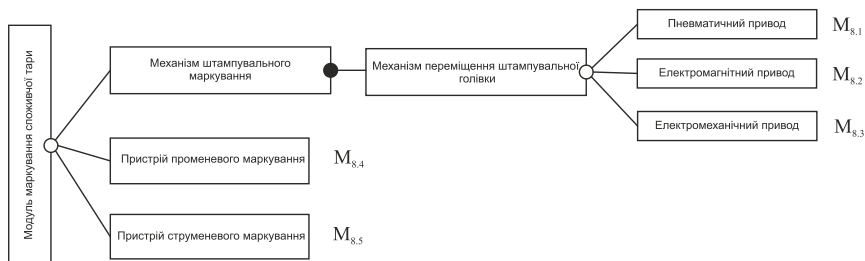


Рисунок 3.15 – Граф структури мехатронного модуля маркування споживчої тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.20- Морфологічний аналіз мехатронного модуля маркування
споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання				
	01	02	03	04	05
M_{8.1}	1	0	0	0	0
M_{8.2}	0	1	0	0	0
M_{8.3}	0	0	1	0	0
M_{8.4}	0	0	0	1	0
M_{8.4}	0	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Мехатронний модуль відокремлення споживчих упаковок



Рисунок 3.16 – Граф структури мехатронного модуля відокремлення
споживчих упаковок: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини
зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.21 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля відокремлення
споживчих упаковок

	Варіанти конструктивного виконання			
	01	02	03	04
M_{9.1}	1	0	0	1
M_{9.2}	0	1	1	0
M_{9.3}	0	0	1	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Мехатронний модуль виведення тари з транспортної системи

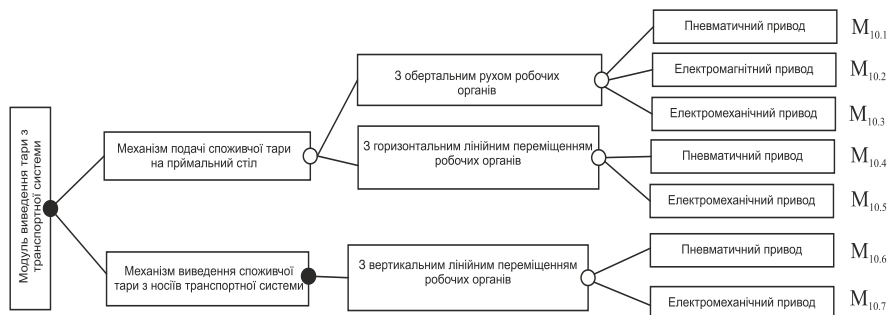


Рисунок 3.17 – Граф структури мехатронного модуля виведення тари з транспортної системи: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.22 - Морфологічний аналіз мехатронного модуля виведення тари з транспортної системи

	Варіанти конструктивного виконання					
	01	02	03	04	05	06
M_{10.1}	1	0	0	0	0	0
M_{10.2}	0	1	0	0	0	1
M_{10.3}	0	0	1	0	0	0
M_{10.4}	0	0	0	1	0	0
M_{10.5}	0	0	0	0	1	0
M_{10.6}	1	1	0	1	0	0
M_{10.7}	0	0	1	0	1	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Пакування в напівжорстку тару (туба)

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів подібний до розглянутих, що зумовлено однаковими реологічними властивостями продукту, що пакується. А тому основною відмінністю в конструкції машин є тип модулів, що виконують пакувальні функції.

Пакувальний блок функціональних модулів

Морфологічний аналіз проводимо лише для тих мехатронних модулів, які різняться за конструктивним виконанням від попередньо розглянутих.

Модуль подачі споживчої тари



Рисунок 3.18 – Граф структури мехатронного модуля подачі споживчої тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.23 – Морфологічний аналіз модуля подачі споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання	
	01	02
M_{11.1}	1	1
M_{11.2}	1	0
M_{11.3}	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль підрізання споживчої тари

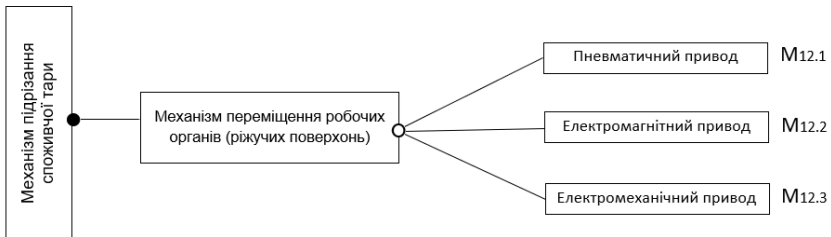


Рисунок 3.19 – Граф структури модуля підрізання споживчої тари:

● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.24 - Морфологічний аналіз модуля підрізання споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання		
	01	02	03
M_{12.1}	1	0	0
M_{12.2}	0	1	0
M_{12.3}	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль герметизації споживчої тари

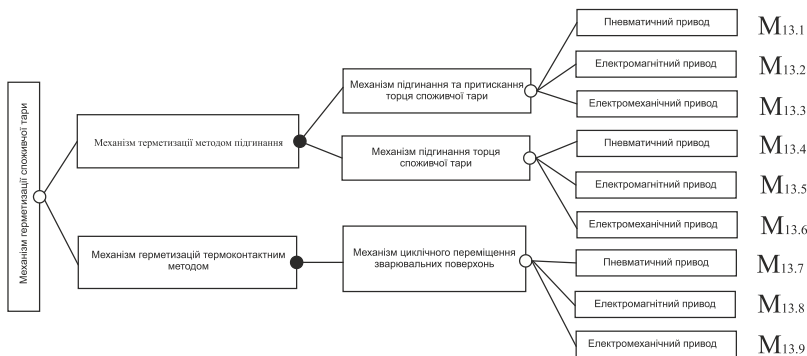


Рисунок 3.20 – Граф структури модуля герметизації споживчої тари:

● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.25 – Морфологічний аналіз модуля герметизації споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання					
	01	02	03	04	05	06
M_{13.1}	1	0	0	0	0	0
M_{13.2}	0	1	0	0	0	0
M_{13.3}	0	0	1	0	0	0
M_{13.4}	1	0	0	0	0	0
M_{13.5}	0	1	0	0	0	0
M_{13.6}	0	0	1	0	0	0
M_{13.7}	0	0	0	1	0	0
M_{13.8}	0	0	0	0	1	0
M_{13.9}	0	0	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль маркування споживчої тари

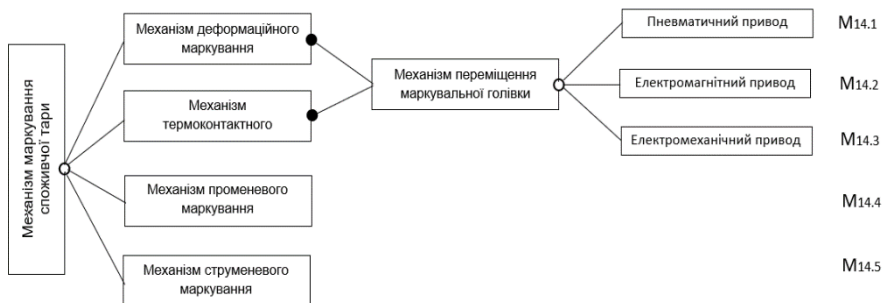


Рисунок 3.21 – Граф структури модуля маркування споживчої тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.26 – Морфологічний аналіз модуля маркування споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання				
	01	02	03	04	05
М14.1	1	0	0	0	0
М14.2	0	1	0	0	0
М14.3	0	0	1	0	0
М14.4	0	0	0	1	0
М14.5	0	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Пакування в напівжорстку тару типу pure-pak

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів подібний розглянутих, що зумовлено однаковими реологічними властивостями продукту, що пакується.

Пакувальний блок функціональних модулів

Морфологічний аналіз проводимо лише для тих мехатронних модулів, які різняться за конструктивним виконанням від попередньо розглянутих.

**Модуль виділення одиної плоскоскладеної споживчої тари
із магазину, розкриття і подача до механізму її формування**



Рисунок 3.22– Граф структури модуля виділення, розкриття і подача споживчої тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.27 - Морфологічний аналіз модуля виділення, розкриття і подача споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання							
	01	02	03	04	05	06	07	08
M_{15.1}	1	1	1	1	0	0	0	0
M_{15.2}	0	0	0	0	1	1	1	1
M_{15.3}	1	1	0	0	1	1	0	0
M_{15.4}	0	0	1	1	0	0	1	1
M_{15.5}	1	0	1	0	1	0	1	0
M_{15.6}	0	1	0	10	0	1	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль підгинання клапанів дна споживчої тари



Рисунок 3.23 – Граф структури модуля підгинання клапанів дна споживчої тари: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ – вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.28 - Морфологічний аналіз модуля підгинання клапанів дна споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання			
	01	02	03	04
M_{16.1}	0	0	1	1
M_{16.2}	1	1	1	0
M_{16.3}	0	1	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Пакування в жорстку тару (пляшка, банка)

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів

Модуль дозування та фасування продукту

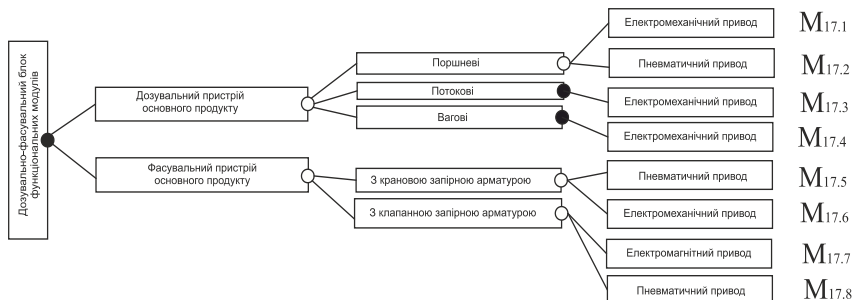


Рисунок 3.24 – Граф структури модуля дозування та фасування продукту: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.29 – Морфологічний аналіз модуля дозування та фасування продукту

	Варіанти конструктивного виконання											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
M_{17.1}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{17.2}	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{17.3}	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
M_{17.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
M_{17.5}	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
M_{17.6}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
M_{17.7}	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
M_{17.8}	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Пакувальний блок функціональних модулів

Морфологічний аналіз проводимо лише для тих модулів, які різняться за конструктивним виконанням від попередньо розглянутих.

Модуль герметизації споживчої тари

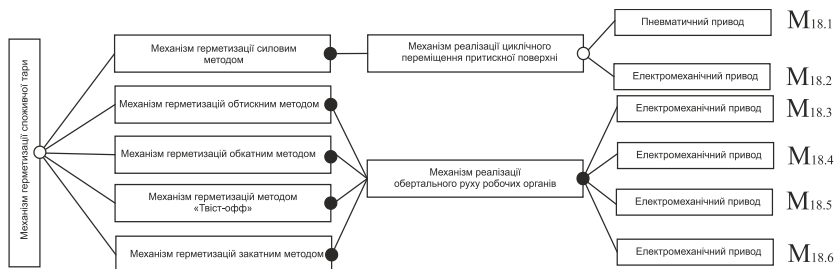


Рисунок 3.25 – Граф структури модуля герметизації споживчої тари :

● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.30- Морфологічний аналіз модуля герметизації споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання					
	01	02	03	04	05	06
M_{18.1}	1	0	0	0	0	0
M_{18.2}	0	1	0	0	0	0
M_{18.3}	0	0	1	0	0	0
M_{18.4}	0	0	0	1	0	0
M_{18.5}	0	0	0	0	1	0
M_{18.6}	0	0	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль етикетування споживчої тари

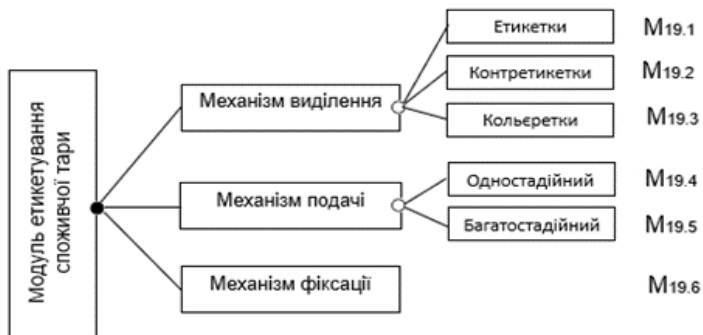


Рисунок 3.26 – Граф структури модуля етикетування споживчої тари:

● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.31 - Морфологічний аналіз модуля етикетування споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання							
	01	02	03	04	05	06	07	08
M19.1	1	1	1	1	1	1	1	1
M19.2	0	0	1	1	0	0	1	1
M19.3	0	0	0	0	1	1	1	1
M19.4	1	0	1	0	1	0	1	0
M19.5	0	1	0	1	0	1	0	1
M19.6	1	1	1	1	1	1	1	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Пакування в м'яку тару (пакет типу «Філ-пак», «Дой-пак», стік, саше)

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів подібний до розглянутих, що зумовлено однаковими реологічними властивостями продукту, що пакується.

Пакувальний блок функціональних модулів

Морфологічний аналіз проводимо для тих модулів, які різняться за конструктивним виконанням від попередньо розглянутих.

Модуль подачі пакувального матеріалу

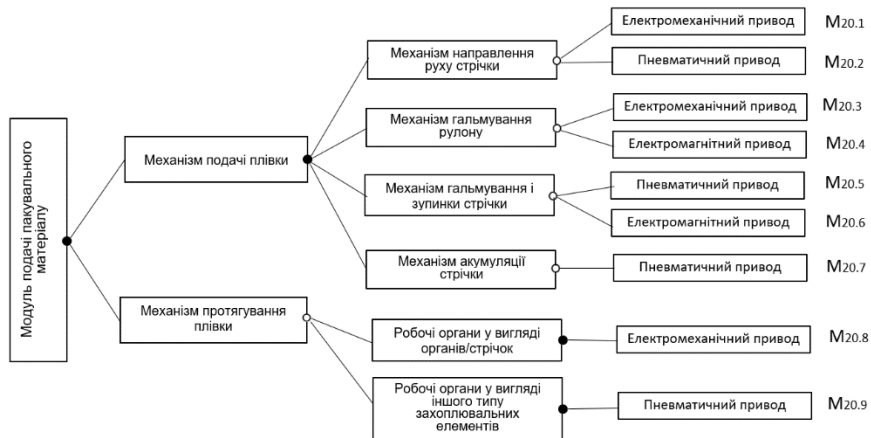


Рисунок 3.27 – Граф структури модуля подачі пакувального матеріалу: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.22 - Морфологічний аналіз модуля подачі пакувального матеріалу

	Варіанти конструктивного виконання											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
M_{20.1}	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{20.2}	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M_{20.3}	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
M_{20.4}	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
M_{20.5}	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
M_{20.6}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
M_{20.7}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M_{20.8}	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
M_{20.9}	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль формування споживчої упаковки

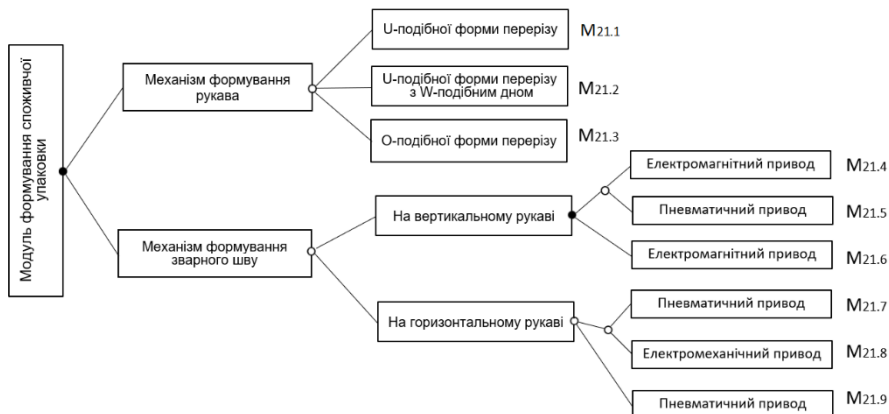


Рисунок 3.28 – Граф структури модуля формування споживчої упаковки: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або» «або»

Таблиця 3.33 - Морфологічний аналіз модуля формування споживчої упаковки

	Варіанти конструктивного виконання						
	01	02	03	04	05	06	07
M_{21.1}	1	1	0	0	1	0	0
M_{21.2}	0	0	1	1	0	0	0
M_{21.3}	0	0	0	0	0	1	1
M_{21.4}	0	0	0	0	0	1	0
M_{21.5}	0	0	0	0	1	0	1
M_{21.6}	0	0	0	0	1	1	1
M_{21.7}	1	0	1	0	0	0	0
M_{21.8}	0	1	0	1	0	0	0
M_{21.9}	0	0	1	1	0	0	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Машини-автомати для пакування в'язко-пластичних продуктів

Виконаємо побудову морфологічних таблиць пакувальних машин для в'язко-пластичних продуктів за видом кінцевого виробу (видом тари, у яку безпосередньо здійснюється пакування - м'яку, напівжорстку та жорстку тару: обгортання у брикет, чаб, банку, стаканчик, кювету).

Пакування в напівжорстку тару (стаканчик, кювета)

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів



Рисунок 3.29– Граф структури мехатронного дозувально-фасувального блоку: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Модуль підготовки та подачі продукту до зони дозування

Таблиця 3.34 - Морфологічний аналіз модуля підготовки та подачі продукту

	Варіанти конструктивного виконання			
	01	02	03	04
M22.10	1	0	0	0
M22.11	0	1	0	0
M22.12	0	0	1	0
M22.13	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Таблиця 3.35- Морфологічний аналіз модуля дозування та фасування продукту

	Варіанти конструктивного виконання										
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
M_{22.1}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{22.2}	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
M_{22.3}	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
M_{22.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M_{22.5}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
M_{22.6}	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
M_{22.7}	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
M_{22.8}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
M_{22.9}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Пакувальний блок функціональних модулів

Морфологічний аналіз модулів подібний модулям для пакування в'язких харчових продуктів.

Пакування в жорстку тару (банка)

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів подібний до обладнання для пакування в'язко-пластичної продукції у напівжорстку тару. Пакувальний блок функціональних модулів також подібний до обладнання для пакування в'язкої продукції у жорстку тару.

Пакування в м'яку тару (обгортання у брикет, чаб)

Дозувально-фасувальний блок функціональних модулів подібний до обладнання для пакування в'язко-пластичної продукції у напівжорстку тару.

Пакувальний блок функціональних модулів

Модуль маркування споживчої тари

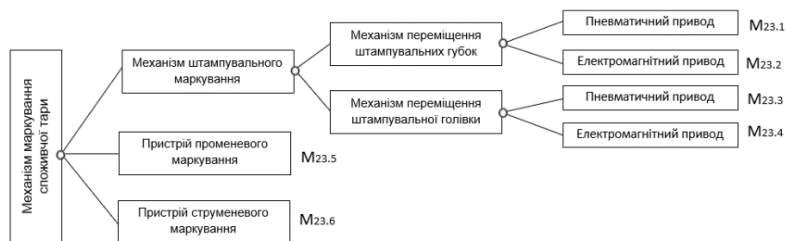


Рисунок 3.30 – Граф структури модуля маркування споживчої тари:

● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.36 - Морфологічний аналіз модуля маркування
споживчої тари

	Варіанти конструктивного виконання					
	01	02	03	04	05	06
M_{23.1}	1	0	0	0	0	0
M_{23.2}	0	1	0	0	0	0
M_{23.3}	0	0	1	0	0	0
M_{23.4}	0	0	0	1	0	0
M_{23.5}	0	0	0	0	1	0
M_{23.6}	0	0	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль формування споживчої упаковки

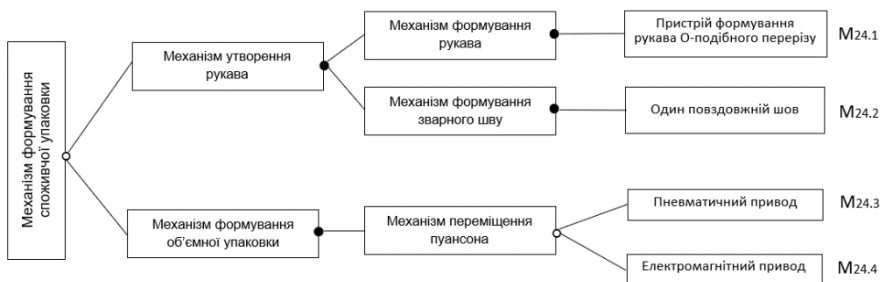


Рисунок 3.31 – Граф структури модуля формування споживчої упаковки:

● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.37 - Морфологічний аналіз модуля формування
споживчої упаковки

	Варіанти конструктивного виконання		
	01	02	03
M_{24.1}	1	0	0
M_{24.2}	1	0	0
M_{24.3}	0	1	0
M_{24.4}	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

3.2.3. Аналіз структури машин групового пакування пакувальних одиниць

На основі аналізу типових функціонально-структурних схем машин для групового пакування встановлено, що для їх створення необхідно використати механізми і пристрої трьох основних підсистем, які формують кластери функціональних модулів: переміщення та орієнтування споживчих упаковок; формування групової упаковки; відведення сформованої групової упаковки (рис. 3.32).



Рисунок 3.32 - Граф аналізу структури обладнання групового пакування: ● - вершини зв'язані «і»

Взявши за основу наведений граф структури обладнання групового пакування розроблено двозначні граfi формування структури типових модулів кожного кластера.

Так для кластера переміщення та орієнтування споживчих упаковок двозначний граф структури наведений на рис. 3.33.

Модуль переміщення та орієнтування споживчих упаковок може включати в свою структуру три основних пристрої: подачу споживчих упаковок, їх орієнтування та накопичення. Багатоваріантність структурних схем функціонального ряду модулів переміщення та орієнтування споживчих упаковок у процесі їх компонування наведено у вигляді таблиці синтезу структури, яка нараховує 12 можливих варіантів.

Так «І» графом передбачалось, що для модулів переміщення та орієнтування споживчих упаковок обов'язковими пристроями є пристрої

подачі споживчих упаковок та пристрої їх орієнтування. Графом «АБО» передбачалось, що пристрої накопичення споживчих упаковок є додатковими. Дослідження базувалось на встановленні функціонально-значущих взаємовідношень між наведеними пристроями. В результаті дослідження отримано масив можливих нових проектних рішень модулів переміщення та орієнтування споживчих упаковок, що дає можливість розширити номенклатуру кластера функціональних модулів переміщення та орієнтування споживчих упаковок. Встановлено, що найбільш типовими структурними схемами модуля переміщення та орієнтування споживчих упаковок є варіанти 3 та 8. Варіант 10 є найбільш функціональним, і може бути реалізований за рахунок використання мехатронного модуля переміщення та орієнтування споживчих упаковок.

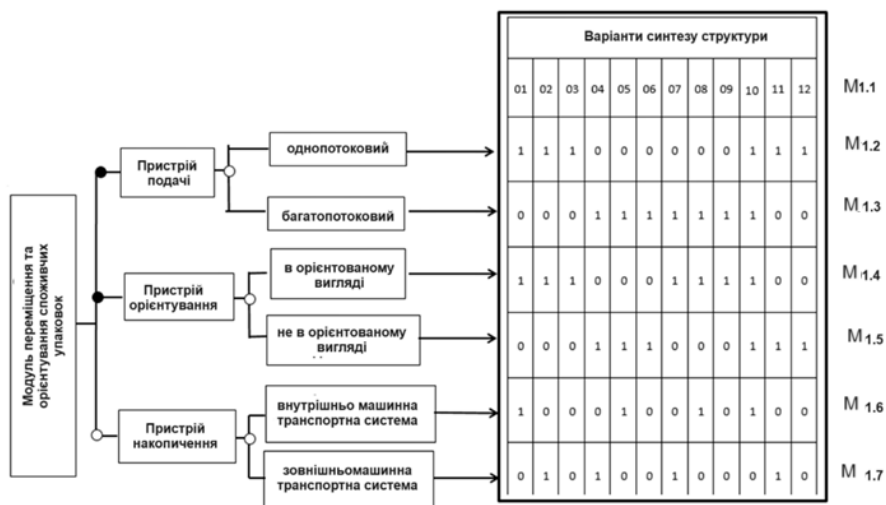


Рисунок 3.33 – Двозначний граф морфологічного аналізу модуля переміщення та орієнтування споживчих упаковок в обладнанні групового пакування: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»; 1 – механізм наявний; 0 - механізм відсутній

Основним функціональним кластером при створенні обладнання для групового пакування є кластер формування групової упаковки. Враховуючи

складну структуру пристроїв, які використовуються в процесі формування групової упаковки, кластер поділяють на підкластери пристроїв: подачі пакувального матеріалу; подачі транспортної тари або лотка; створення групової упаковки. Кожний підкластер включає власний параметричний ряд механізмів.

Так підкластер пристроїв подачі пакувальних матеріалів може включати в свою структуру чотири основних механізми: утримання рулона, розмотування плівки, натягу плівки, орієнтування та обгортання (рис. 3.34).



Рисунок 3.34 - Двозначний граф модуля обгортання пакувальними матеріалами в обладнанні групового пакування: • - вершини зв'язані «і»; ○ - вершини зв'язані «або»

Багатоваріантність структурних схем функціонального ряду подачі пакувальних матеріалів у процесі його компонування наведено у вигляді табл.2.50 синтезу структури, яка нараховує 22 можливих варіанти.

Так «І» графом передбачалось, що для пристроїв подачі пакувальних матеріалів обов'язковими є механізми виділення, переміщення та фіксування. Графом «АБО» передбачалось, що для пристроїв подачі пакувальних матеріалів, механізми формування та орієнтування є додатковими.

В результаті дослідження отримано масив можливих нових проектних рішень пристроїв подачі пакувальних матеріалів (табл. 3.38). Встановлено, що найбільш типовою структурною схемою пристроїв подачі пакувальних матеріалів є варіанти 1 та 3.

Таблиця 3.38 - Морфологічний аналіз модуля обгортання пакувальними матеріалами в обладнанні групового пакування

	Варіанти конструктивного виконання																					
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
M_{2,1}	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{2,2}	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
M_{2,3}	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
M_{2,4}	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M_{2,5}	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M_{2,6}	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
M_{2,7}	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
M_{2,8}	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
M_{2,9}	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{2,10}	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
M_{2,11}	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Варіанти 10 та 11 є найбільш функціональними, і можуть бути реалізовані за рахунок використання мехатронних модулів подачі пакувальних матеріалів.

Підкласер пристроїв подачі транспортної тари або лотка складається з п'яти основних механізмів: виділення плоскоскладеної заготовки, її переміщення, формування, орієнтування та фіксування.

Двозначний граф структури підкласера формування та подачі транспортної тари або лотка в обладнанні групового пакування наведений на

рис. 3.35, а морфологічний аналіз модулів подачі транспортної тари або лотка в таблиці 3.39, яка нараховує 23 можливих варіантів.

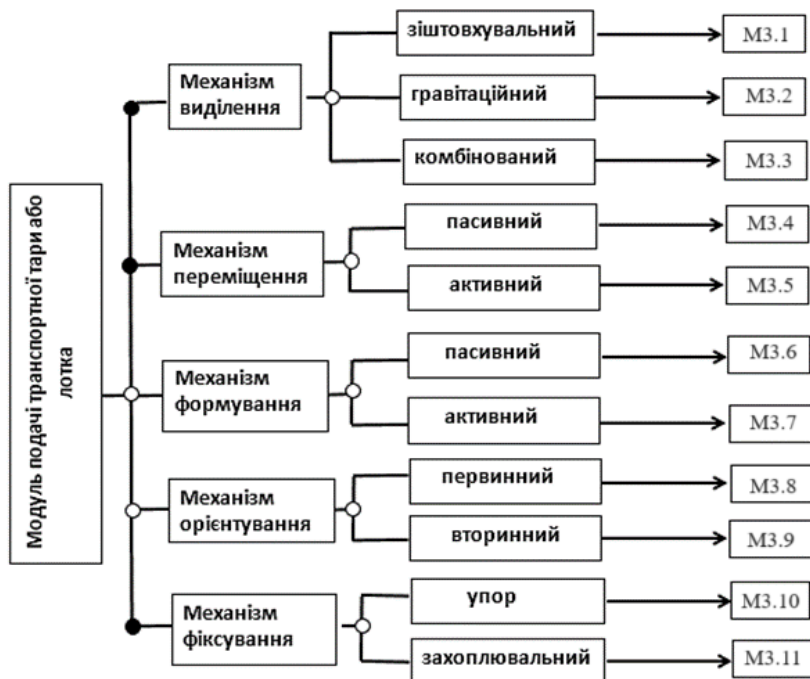


Рисунок 3.35 - Двозначний граф модуля подачі транспортної тари або лотка в обладнанні групового пакування: ● - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Так «І» графом передбачалось, що для пристроїв подачі транспортної тари або лотка обов'язковими механізмами є виділення плоскоскладеної заготовки, її переміщення, орієнтування та фіксування.

Графом «АБО» передбачалось, що для пристроїв подачі транспортної тари або лотка механізм формування є додатковим. В результаті дослідження було отримано масив можливих нових проектних рішень пристроїв подачі транспортної тари або лотка, що дає можливість розширити номенклатуру кластера функціональних модулів формування групової упаковки.

Таблиця 3.39 - Морфологічний аналіз модуля подачі транспортної тари або лотка в обладнанні групового пакування

	Варіанти конструктивного виконання																						
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
М_{3,1}	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
М_{3,2}	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
М_{3,3}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
М_{3,4}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
М_{3,5}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0
М_{3,6}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
М_{3,7}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
М_{3,8}	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
М_{3,9}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
М_{3,10}	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
М_{3,11}	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Встановлено, що найбільш типовою структурною схемою модуля для пристроїв подачі транспортної тари або лотка є варіант 1, 5 та 13. Варіанти 18 та 19 є найбільш функціональними, і можуть бути реалізовані за рахунок використання мехатронних модулів для пристроїв подачі транспортної тари або лотка.

Підкласер створення групової упаковки складається з механізмів формування ряду, шару або штабелю з подальшим їх переорієнтуванням, завантаженням та укладанням в транспортну тару. Двозначний граф структури підкласера створення групової упаковки наведений на рис. 3.36, а морфологічний аналіз створення групової упаковки в таблиці 3.40.

Багатоваріантність структурних схем функціонального ряду модулів створення групової упаковки наведено у вигляді таблиці структури, яка нараховує 22 можливих варіанти.

Так «І» графом передбачалось, що для модулів створення групової упаковки обов'язковими механізмами є формування ряду та завантаження в транспортну тару сформованих структурних одиниць.

Графом «АБО» передбачалось, що механізми формування шару та штабелю, переорієнтування та укладання в транспортну тару є додатковими в пристроях створення групової упаковки. В результаті дослідження отримано масив можливих нових проектних рішень модулів створення групової упаковки, що дає можливість розширити номенклатуру підклстера функціональних модулів створення групової упаковки.

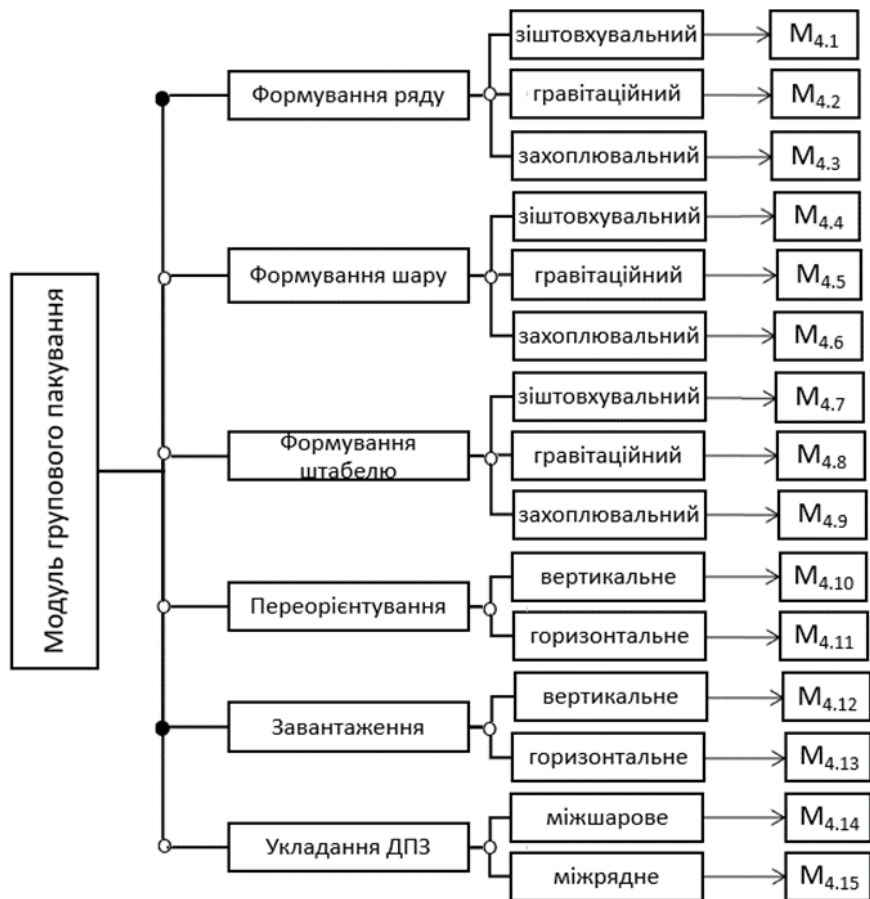


Рисунок 3.36 - Двозначний граф структури модуля групового пакування:

- - вершини зв'язані умовою «так»; ○ - вершини зв'язані умовою «або»

Таблиця 3.40 - Морфологічний аналіз модуля групового пакування

	Варіанти конструктивного виконання																					
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
M _{4,1}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{4,2}	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{4,3}	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M _{4,4}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M _{4,5}	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{4,6}	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M _{4,7}	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
M _{4,8}	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
M _{4,9}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M _{4,10}	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
M _{4,11}	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
M _{4,12}	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
M _{4,13}	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
M _{4,14}	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
M _{4,15}	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Встановлено, що найбільш типовими структурними схемами модуля створення групової упаковки є варіанти 2, 13 та 15. Варіанти 5, 8 та 10 є найбільш функціональними, і можуть бути реалізовані за рахунок використання мехатронних модулів для створення групової упаковки.

Кластер заключних операцій складається з параметричного ряду модулів закриття клапанів транспортної тари, герметизації, орієнтування та відведення групової упаковки (рис. 3.37). Багатоваріантність структурних схем функціонального ряду модулів заключних операцій групового пакування в процесі їх компонування наведено у вигляді таблиці 3.41 структури, яка нараховує 20 можливих варіантів.

Так «І» графом передбачалось, що для модулів заключних операцій обов'язковим є пристрій закриття клапанів транспортної тари. Графом «АБО» передбачалось, що пристрої герметизації, орієнтування та відведення групової упаковки є додатковими. В результаті дослідження отримано масив можливих нових проектних рішень модулів заключних операцій, що дає можливість розширити номенклатуру кластера функціональних модулів

заключних операцій.

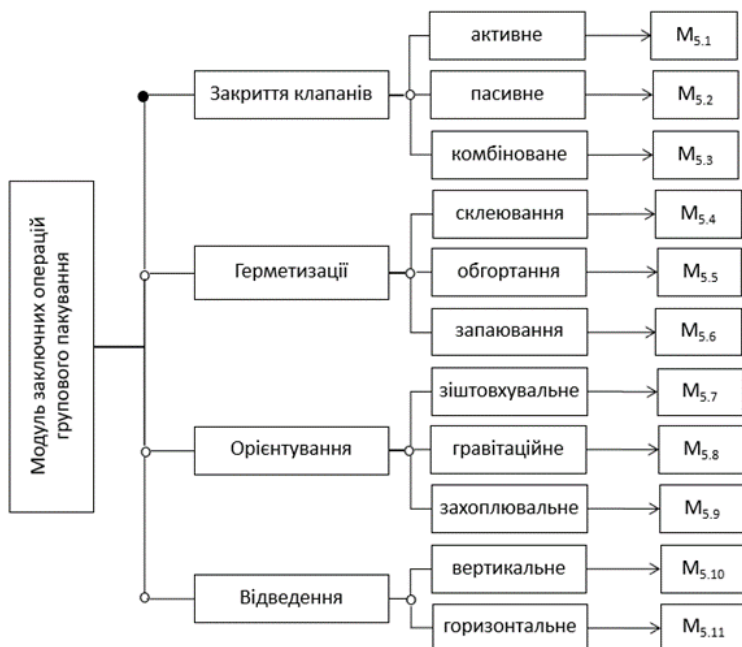


Рисунок 3.37 - Двозначний граф структури модуля заключних операцій групового пакування: ● - вершини зв'язані «і»; ○ - вершини зв'язані «або»

Таблиця 3.41 - Морфологічний аналіз модуля заключних операцій в обладнанні групового пакування

	Варіанти конструктивного виконання																			
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M _{5.1}	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{5.2}	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{5.3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{5.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
M _{5.5}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
M _{5.6}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
M _{5.7}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{5.8}	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
M _{5.9}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{5.10}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{5.11}	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Встановлено, що найбільш типовими структурними схемами модуля заключних операцій є варіанти 1, 6 та 18. Варіанти 11, 14 та 20 є найбільш функціональними, і можуть бути реалізовані за рахунок використання мехатронних модулів заключних операцій.

3.2.4 Аналіз структури машин формування збільшених вантажних одиниць

Взявши за основу отримані результати досліджень компоновання ПФМ на основі рамної конструкції, розроблено двозначні графи формування структури типових модулів функціональних кластерів ПФМ: подачі одиничного тарного вантажу/ споживчої упаковки; формування структурного елементу транспортного пакету; укладання структурних елементів транспортного пакету; подачі пакувальних засобів; відведення сформованого транспортного пакету.

Так модуль подачі одиничного тарного вантажу/ споживчої упаковки конструктивно може бути виконаний з верхнім та нижнім розташуванням пристроїв, які формують три кластери: механізмів подачі; механізмів переміщення; механізмів орієнтування.

Кластер пристроїв подачі може включати в свою структуру чотири основних підклстера механізмів: зіштовхувального, гравітаційного, конвеєрного та комбінованого.

Підкластер пристроїв орієнтування тарних вантажів може включати в свою структуру три основних механізми орієнтування: пасивний, активний та комбінований.

Підкластер пристроїв переміщення може включати в свою структуру три основних механізми: пасивний, активний та комбінований.

Так «І» графом передбачалось, що пристрій переміщення є обов'язковим пристроєм. Графом «АБО» передбачалось, що пристрої подачі та орієнтування є додатковими. Дослідження базувалися на встановленні

функціонально-значущих взаємовідношень між наведеними пристроями (рис. 3.38 та табл. 3.42).

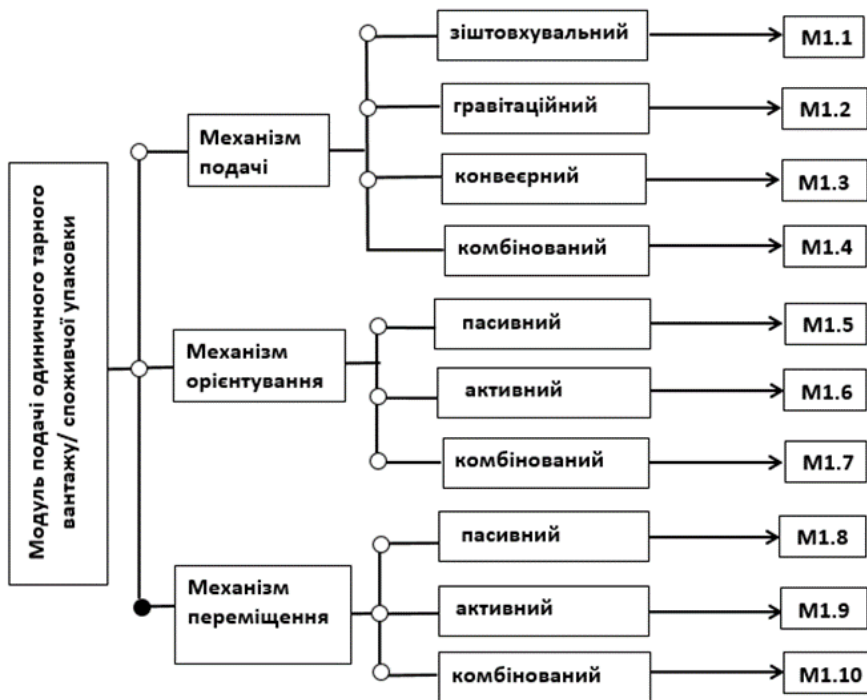


Рисунок 3.38 - Двозначний граф структури модуля подачі одиничного тарного вантажу/споживчої упаковки: ● - вершини зв'язані «і»; ○ - вершини зв'язані «або»

В результаті дослідження модуля подачі одиничного тарного вантажу/споживчої упаковки отримано масив можливих нових проектних рішень функціональних рядів модулів подачі та орієнтування тарних вантажів, що дає можливість розширити номенклатуру модулів для кластерів подачі, переміщення та орієнтування.

Багатоваріантність структурних схем функціонального ряду модулів подачі одиничного тарного вантажу/споживчої упаковки в процесі їх компонування наведено у вигляді таблиці синтезу структури, яка нараховує

23 можливих варіанти.

Встановлено, що найбільш типовою структурною схемою формування структурних елементів транспортних пакетів ПФМ є варіанти 11 та 19.

Варіант 11 є найбільш функціональним, і може бути реалізований за рахунок використання пристрою подачі транспортних пакетів шляхом зіштовхування та пристрою переміщення конвеєрного типу.

Варіант 19 є найбільш використовуваним і може бути реалізований за рахунок використання пристрою подачі транспортних пакетів шляхом зіштовхування, пристрою орієнтування з активним робочим органом та комбінованого пристрою переміщення.

Таблиця 3.42 – Морфологічний аналіз модуля подачі одиничного тарного вантажу/ споживчої упаковки

	Варіанти конструктивного виконання																						
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
M_{1.1}	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
M_{1.2}	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{1.3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{1.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
M_{1.5}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
M_{1.6}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
M_{1.7}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
M_{1.8}	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
M_{1.9}	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
M_{1.10}	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Модуль формування структурного елементу транспортного пакету складається з двох кластерів: пристроїв формування структурних елементів транспортного пакету; пристроїв укладання структурних елементів транспортного пакету на піддон (рис. 3.39).



Рисунок 3.39 – Двозначний граф структури модуля формування структурних елементів транспортного пакету: • - вершини зв'язані «і»; ○ - вершини зв'язані «або»

Кластер формування структурних елементів транспортного пакету може включати в свою структуру чотири основних підкластери механізмів: зіштовхувальний, гравітаційний, конвеєрний та комбінований. Підкластер пристроїв укладання структурних елементів транспортного пакету на піддон може включати в свою структуру шість основних механізмів: захоплювальний, гравітаційний, рухомі ступки, рухома вилкова платформа, рольганг та комбінований.

«І» графом передбачалось, що для формування структурного елемента транспортного пакету пристрій укладання структурного елемента транспортного пакету на піддон є обов'язковим (табл. 3.43).

Таблиця 3.43 - Морфологічний аналіз модуля формування структурних елементів транспортного пакету

	Варіанти конструктивного виконання																						
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
M_{2.1}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
M_{2.2}	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{2.3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{2.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
M_{2.5}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
M_{2.6}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
M_{2.7}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
M_{2.8}	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
M_{2.9}	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
M_{2.10}	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

В результаті дослідження формування структурних елементів транспортного пакету отримано масив можливих нових проектних рішень функціональних рядів модулів укладання. Багатоваріантність структурних схем функціонального ряду модуля формування структурних елементів транспортного пакету в процесі його компонування наведено у вигляді таблиці синтезу структури, яка нараховує 23 можливих варіанти.

Встановлено, що найбільш типовою структурною схемою формування структурних елементів транспортних пакетів ПФМ є варіанти 1, 5, 6, 17 та 23.

Варіанти 1 та 17 є найбільш функціональними при використанні захоплювальних пристроїв із додатковим використанням пристрою формування структурних елементів транспортного пакету за допомогою конвеєра. Варіанти 5, 6 та 23 є широко використовуваними і реалізуються за рахунок зіштовхувального пристрою формування структурних елементів транспортного пакету та пристрою укладання структурних елементів транспортного пакету на піддон у вигляді рольганга з додатковим механізмом орієнтування.

Функціональний модуль подачі пакувальних засобів складається з трьох кластерів: пристрій виділення одиничного піддона; пристрій орієнтування, пристрій переміщення одиничного піддона та пристрій фіксування. (рис. 3.40).

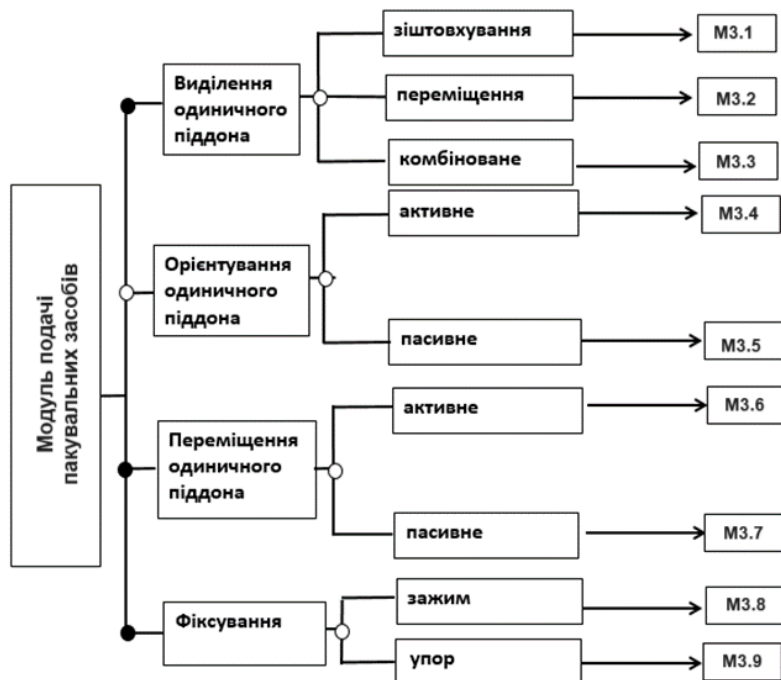


Рисунок 3.40 - Двозначний граф структури модуля подачі пакувальних засобів: ● - вершини зв'язані «і»; ○ - вершини зв'язані «або»

Кластер пристроїв виділення одиничного піддона може включати в свою структуру три основних підкластера механізмів: зіштовхування, переміщення та комбінований. Кластер орієнтування тарних вантажів може включати в свою структуру два основних підкластера механізмів орієнтування з пасивним та активним робочим органом. Кластер переміщення одиничного піддона може включати в свою структуру два основних підкластера механізмів із пасивним та активним робочим органом. Кластер пристроїв фіксування піддона може включати в свою структуру три основних

підкластера механізмів: затискання, упор та комбінований.

Так «І» графом передбачалось, що пристрій виділення одиничного піддона, його переміщення та фіксування є обов'язковими. Графом «АБО» передбачалось, що пристрій орієнтування є додатковим (табл. 3.44).

Встановлено, що найбільш типовою структурною схемою подачі пакувальних засобів є варіанти 7 та 12.

Таблиця 3.44 - Морфологічний аналіз модуля подачі пакувальних засобів

	Варіанти конструктивного виконання																
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
М_{3.1}	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
М_{3.2}	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
М_{3.3}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
М_{3.4}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
М_{3.5}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
М_{3.6}	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
М_{3.7}	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1
М_{3.8}	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0
М_{3.9}	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Варіант 12 є найбільш функціональним, і може бути реалізований за рахунок використання пристрою виділення одиничного піддона, пристрою переміщення з активним робочим органом, пристрою фіксування з комбінованим механізмом затискання.

Четвертим функціональним модулем при створенні обладнання формування структурних елементів транспортних пакетів із тарних вантажів є модуль відведення сформованого транспортного пакету.

З аналізу конструкцій ПФМ, що реалізують горизонтальний спосіб формування транспортного пакета та мають одноколонну компоновку, характеризуються здатністю адаптуватись до умов виробництва без

механічного переналагодження, а також багатофункціональністю технологічних операцій і великим різноманіттям алгоритмів керування. Це можуть бути порталні роботи та роботизовані технічні комплекси (РТК). Промислові роботи характеризуються здатністю сприймати інформацію про зовнішнє середовище за допомогою сенсорних датчиків та можливістю працювати за гнучкою програмою керування.

Саме промислові роботизовані комплекси дають можливість виробнику пакованої продукції швидко переналагоджувати виробництво при зміні попиту.

Взявши за основу отримані результати досліджень компоновання ПФМ на основі одноколонної конструкції з горизонтальним способом укладання, було визначено, що двозначні граfi формування структури типових модулів функціональних кластерів ПФМ: подачі одиничного тарного вантажу/ споживчої упаковки; формування структурного елемента транспортного пакету; подачі пакувальних засобів; відведення сформованого транспортного пакету є універсальними і можуть використовуватися як для чотириколонної компоновки, так і для одноколонної компоновки.

Встановлено, що особливістю компоновання ПФМ на основі одноколонної конструкції є модуль укладання структурного елемента транспортного пакету на піддон. Типова структура модуля формування транспортного пакета складається з двох кластерів: пристроїв формування структурних елементів транспортного пакету; пристроїв укладання структурних елементів транспортного пакету на піддон (рис. 3.41). Кластер формування структурних елементів транспортного пакету може включати в свою структуру чотири основних підкластери механізмів: зіштовхувальний, гравітаційний, конвеєрний та комбінований. Підкластер пристроїв укладання структурних елементів транспортного пакету на піддон може включати в свою структуру чотири основних підкластера механізмів: піднімання, переміщення, повороту та захоплення.

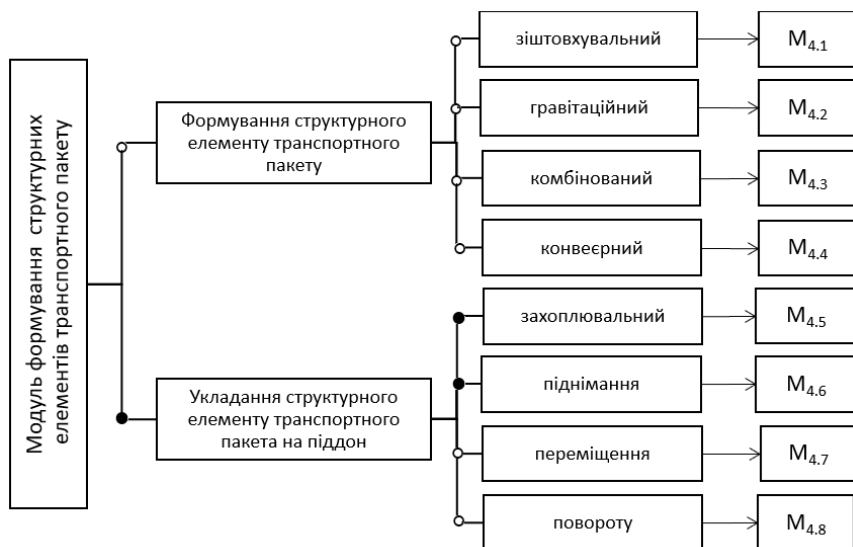


Рисунок 3.41 - Двозначний граф структури модуля формування транспортного пакету: • - вершини зв'язані «і»; ○ - вершини зв'язані «або»

«І» графом передбачалось, що для формування транспортного пакету пристрій укладання структурного елемента транспортного пакету на піддон є обов'язковим. Графом «АБО» передбачалось, що пристроїв формування структурного елемента транспортного пакету є додатковим (табл. 3.45).

В результаті дослідження модулів формування транспортного пакету було отримано масив можливих нових проектних рішень функціональних рядів пристроїв укладання. Багатоваріантність структурних схем функціонального ряду модулів формування транспортного пакета/ споживчої упаковки в процесі їх компонування наведено у вигляді таблиці синтезу структури, яка нараховує 15 можливих варіантів.

Встановлено, що найбільш типовою структурною схемою модуля формування структурних елементів транспортного пакета є варіанти 6 та 14, які передбачають створення робототехнічних ПФМ.

Таблиця 3.45 – Морфологічний аналіз модуля формування транспортного пакета

	Варіанти конструктивного виконання														
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
M_{4.1}	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
M_{4.2}	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
M_{4.3}	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
M_{4.4}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
M_{4.5}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M_{4.6}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M_{4.7}	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
M_{4.8}	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

0-механізм відсутній, 1 - механізм присутній

Варіант 6 є найбільш функціональним при використанні порталних робіт, і може бути реалізований за рахунок використання модуля формування структурних елементів транспортного пакету на конвеєрі та роботизованої ПФМ у складі модулів захоплення, піднімання та переміщення.

Варіант 14 є типовим при використанні промислових робіт, і може бути реалізований за рахунок використання модуля формування структурних елементів транспортного пакету на конвеєрі та маніпуляторів у складі модулів захоплення, піднімання, переміщення та повороту.

3.3. Алгоритм морфологічного синтезу структури пакувальних машин

Морфологічний синтез – це процес знаходження структурного рішення об'єкта, що проектується.

Морфологічний синтез зазвичай проводиться на основі морфологічної множини, змодельованої на етапі морфологічного аналізу і виконується за допомогою пошукових методів морфологічного синтезу. До методів морфологічного синтезу відносять: метод незалежних оцінок підсистем, метод деревоподібного конструювання, метод лабіринтного конструювання,

метод вдосконалення прототипу, метод дискретного математичного програмування, метод економічних розрахунків тощо.

Під час проведення морфологічного синтезу пакувальних машин доречно використовувати функціональний підхід, коли як ознаки розглядаються функції елементів пакувальних машин, а альтернативними варіантами є можливі технічні рішення з реалізації функцій.

Для реалізації такого підходу широко використовують морфологічну комбінаторику. Суть цього методу полягає в тому, що в пакувальній машині, яка розробляється, виділяють функціональні, принципіві або конструктивні ознаки. Далі для кожної з ознак розробляються варіанти її реалізації. Поєднуючи останні між собою в різних комбінаціях, отримують множину технічних рішень, в тому числі і тих, що становлять практичний інтерес.

Загальне число технічних рішень, синтезованих за допомогою морфологічних таблиць, може сягати сотень тисяч. Для ефективного їх аналізу ще до початку синтезу доцільно скоротити найменш перспективні варіанти. Для визначення необхідного масштабу скорочення морфологічної таблиці спочатку підраховують загальну кількість всіх можливих технічних рішень за формулою [227]:

$$N = n_1 \cdot n_2 \dots \cdot n_m,$$

де n_i – число альтернативних варіантів у стовпцях таблиці; m – число стовпців.

Зі всієї множини технічних рішень найперспективніші можуть бути обрані шляхом послідовного скорочення найменш ефективних варіантів. Перше скорочення проводять до виконання умови:

$$N \leq N_{02},$$

де N_{02} – оглядове число можливих варіантів технічних рішень (для складних технічних систем $N_{02} = 1000$).

Якщо нерівність не виконується в кожному стовпці морфологічної таблиці, проводять порівняльний аналіз альтернативних варіантів для

виявлення серед них найкращих та найгірших за ступенем відповідності основним вимогам та за кількістю основних недоліків. Визначені таким чином найгірші альтернативні варіанти скорочуються.

У випадку виконання нерівностей починають синтез можливих технічних рішень на вибір серед них найкращих шляхом порівняння. Цей метод для складних технічних систем може бути трудомістким, тому можна скорочувати варіанти рішень шляхом викреслювання найгірших комбінацій з мінімального числа альтернативних варіантів, які аналізуються значно швидше, ніж повністю синтезовані технічні рішення. До найгірших відносять комбінації, що важко реалізуються або не реалізуються взагалі, найдорожчі комбінації, комбінації, які мають найбільше число недоліків, а також ті, що найменшою мірою відповідають вимогам до прототипів.

Після упорядкування для подальшого проектування обирають 3 – 5 найефективніших варіантів технічних розробок.

Для обраних найефективніших варіантів технічних пропозицій розробляють попередні моделі пакувальних машин.

Після цього проводиться більш детальне конструкторське опрацювання обраних технічних рішень із врахуванням додаткового списку вимог (надійності роботи, продуктивності, точності функціонування, витрат на виготовлення та експлуатацію і т.д.).

У випадку вибору найефективнішого варіанта технічного рішення пакувальної машини застосовують метод автоматизованого синтезу [226].

Суть методу полягає в тому, що інформацію про прототипи, їх конструктивні ознаки наводять у вигляді І-АБО дерева (І-АБО графа). Із ознак дерева утворюють можливі комбінації, тим самим отримують як відомі, так і нові технічні рішення, з яких потрібно обрати найефективніший. Під час автоматизованого синтезу на комп'ютер покладена функція вибору допустимих та найефективніших технічних рішень, а також формування для них ієрархічного опису.

Метод автоматизованого синтезу реалізується в чотири основних етапи:

Перший етап – побудова І-АБО дерева технічних розв'язків. Побудова І-АБО дерева здійснюється у такому порядку:

- на першому рівні показують вершину із загальним найменуванням всіх прототипів пакувальної машини;
- на другому рівні розташовують вершини з найменуванням елементів цих прототипів;
- на третьому рівні розташовують вершини з описами їх ознак, які можуть сходитись у І-вузлах або в АБО-вузлах;
- на четвертому етапі отримане І-АБО дерево доповнюють додатковими елементами та конструктивними ознаками. Таке доповнення здійснюють після вивчення патентів на пакувальне обладнання відповідного функціонального призначення.

Другий етап складання опису вимог до синтезованих технічних розв'язків. Цей список тісно пов'язаний із параметрами пакувальних машин – функціональними, експлуатаційними, конструктивними, технологічними, економічними, ергономічними, естетичними та ін. Всі вимоги доцільно поділити на дві групи:

- основні вимоги виконання яких забезпечує функціонування пакувальної машини (параметри функціонування);
- додаткові – пов'язані із параметрами інших категорій.

Третій етап – розробка моделі оцінювання технічних розв'язків.

Моделі оцінювання синтезованих технічних розв'язків розробляється на підставі І-АБО дерева та списку вимог.

До моделі оцінювання входять значення параметрів І-вузлів загального дерева та таблиці сумісності його вершин. Значення параметрів І-вузлів порівнюють із значеннями або варіантами відповідних параметрів списку вимог. Обчислюються вони через аналогічні параметри вершин, що сходяться у даному вузлі. Розрахунок виконують за однією із п'яти згорток

(СУМА, МАКСИМУМ (МІНІМУМ), СРЗВ (середньозважене), КЛАС (класифікаційна)).

Згортка СУМА використовується у тих випадках, коли параметр І-вузла визначається як сума відповідних параметрів вершин, що в ньому об'єднуються, тобто:

$$\text{СУМА } \Pi_i = \sum \Pi_i, i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

де Π_i – параметри об'єднаних вершин.

Згортка МАКСИМУМ (МІНІМУМ) застосовується у випадках, коли параметру І-вузла присвоюється значення, що є максимальним або мінімальним серед всіх об'єднаних вершин, тобто:

$$\text{МАКСИМУМ } \Pi_i = \max; \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n,$$

$$\text{МІНІМУМ } \Pi_i = \min; \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n.$$

Згортка СРЗВ використовується у тих випадках, коли значення параметра І-вузла обчислюється через зважені значення параметрів об'єднаних вершин, тобто:

$$\text{СРЗВ } \Pi_i = \frac{\sum k_{Bi} \cdot \Pi_i}{\sum k_{Bi}}, i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

де k_{Bi} - вагові коефіцієнти параметрів $\Pi_1, \Pi_2 \dots \Pi_n$ об'єднаних вершин.

Згортка КЛАС – використовується для визначення якісних параметрів І-вершин, тобто:

$$\text{КЛАС } \Pi_i = \frac{\Pi_i}{\Pi_1} = \frac{\Pi_i}{\Pi_2} \dots \frac{\Pi_i}{\Pi_n}.$$

Четвертий етап – укладання алгоритму програми пошуку ефективних розв'язків на І-АБО дерева.

Послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу пакувальних машин-автоматів наведена на рис. 3.42.



Рисунок 3.42 –Послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу пакувальних машин

3.4. Морфологічний синтез структури пакувальних машин-автоматів

3.4.1. Синтез машин пакування сипкої продукції у споживчу тару

Здійснення морфологічного синтезу машин для пакування сипкої продукції у споживчу упаковку передбачає послідовне виконання ряду процедур. Кожен з них полягає у розв'язанні певної локальної задачі, результати виконання якої є початковими даними для наступної [225]. Ці задачі можна звести до таких етапів:

1. Формалізація початкових даних.

Машину для пакування сипкої продукції можна розглядати в двох аспектах: як множина функцій, одержаних у результаті декомпозиції службової функції:

$$F = \{f_1, f_2, f_3 \dots f_n\},$$

що рівна множині виконуваних машиною технологічних операцій:

$$M = \{m_1, m_2, m_3 \dots m_n\},$$

так і множина функціональних модулів для реалізації цих функцій:

$$X = \{x_1, x_2, x_3 \dots x_n\}.$$

Одна і та ж технологічна операція m_k може виконуватись декількома різними типорозмірами функціонального модуля:

$$E_k = \{x_{k1}, x_{k2}, x_{k3} \dots x_{kn}\}.$$

Тому для машини існує деяка множина E функціональних модулів, що можуть входити до її складу:

$$E = \{E_1, E_2, E_3, \dots E_n\},$$

які поєднуючись між собою за певними залежностями (функціональними зв'язками), утворюють множину варіантів структури рівну:

$$N = \{X_1, X_2, X_3 \cdot \dots \cdot X_j\}.$$

Реалізація службової функції пакувальної машини (технологічної операції пакування) можлива за умови виконання усіх функцій, що нею передбачені:

$$F^{(n)} = f_1 \wedge f_2 \wedge f_3 \wedge \dots \wedge f_i, \quad S \leftrightarrow F^{(n)};$$

$$M^{(n)} = m_1 \wedge m_2 \wedge m_3 \wedge \dots \wedge m_n, \quad F^{(n)} \leftrightarrow M^{(n)}.$$

Це вимагає використання відповідних технічних засобів (функціональних модулів), з яких формують структуру машини:

$$X^{(n)} = x_1 \wedge x_2 \wedge x \wedge \dots \wedge x_n,$$

причому одну і ту ж операцію у складі машини може виконувати лише один типорозмір функціонального модуля:

$$E^{(n)} = x_{k1} \vee x_{k2} \vee x_{k3} \vee \dots \vee x_{kn},$$

тоді

$$\begin{aligned} S: M^{(n)} \cdot X_i^{(n)} \rightarrow N^{(i)} &= (x_{1.1} \vee x_{1.2} \vee x_{1.3} \vee \dots \vee x_{1n}) \wedge \\ &\wedge (x_{2.1} \vee x_{2.2} \vee x_{2.3} \vee \dots \vee x_{2n}) \wedge (x_{3.1} \vee x_{3.2} \vee x_{3.3} \vee \dots \vee x_{3n}) \\ &\wedge (x_{k.1} \vee x_{k.2} \vee x_{k.3} \vee \dots \vee x_{kn}). \end{aligned}$$

Враховуючи той факт, що

$$\forall (x_i \in X^{(n)}) \exists (f_i \in F^{(i)}) \rightarrow \exists (x_{kn} \in E^{(n)}) \exists (f_2 \in F^{(i)}),$$

тоді

$$\exists (x_{kn} \in E^{(n)}) \exists (f_i \in F^{(i)}) \sim \exists (x_{kn} \in E^{(n)}) \exists (m_i \in M^{(n)}).$$

Якщо врахувати взаємозамінність функціональних модулів одержимо:

$$\exists (x_{ki} \in X_j^{(k)}) \exists (m_k \in M^{(n)}) \rightarrow \exists (x_{kn} \in X_j^{(k)}) \exists (m_k \in M^{(n)}).$$

Для машини, що забезпечує пакування сипкої продукції у термозварний полімерний пакет можна записати (рис. 3.43):

$$\begin{aligned}
 S: & m_1(x_{11} \vee x_{12}) \wedge m_2(x_{21} \vee x_{22} \vee x_{23} \vee x_{24} \vee x_{25} \vee x_{26}) \wedge \\
 & \wedge m_3(x_{31} \vee x_{32} \vee x_{33} \vee x_{34} \vee x_{35} \vee x_{36}) \wedge m_4(x_{41} \vee x_{42} \vee x_{43} \vee x_{44}) \wedge \\
 & \wedge m_5(x_{51} \vee x_{52} \vee x_{53} \vee x_{54} \vee x_{55}) \wedge m_6(x_{61} \vee x_{62} \vee x_{63}) \wedge \\
 & \wedge m_7(x_{71} \vee x_{72} \vee x_{73}) \wedge m_8(x_{81} \vee x_{82} \vee x_{83} \vee x_{84} \vee x_{85} \vee x_{86} \vee x_{87} \vee x_{88}) \wedge \\
 & \wedge m_9(x_{91} \vee x_{92} \vee x_{93} \vee x_{94} \vee x_{95}) \wedge m_{10}(x_{10.1} \vee x_{10.2}) \wedge \\
 & \wedge m_{11}(x_{11.1} \vee x_{11.2} \vee x_{11.3}).
 \end{aligned}$$



Рисунок 3.43 – Узагальнений граф зв'язків між типовими функціональними модулями машин пакування сипкої продукції в полімерний термозварний пакет

2. Вибір критеріїв оптимальності.

Кожен функціональний модуль характеризується певними техніко-економічними показниками, які визначають ефективність його роботи:

$$X_{in}: < P_1, P_2, \dots, P_n >.$$

Ці показники можуть використовуватись як критерії оптимальності під час оцінювання якості загальної структури пакувальної машини:

$$X_{in}: < P_1, P_2, \dots, P_n > \rightarrow X_i: < P_1, P_2, \dots, P_n >.$$

3. Формування бази даних.

На цьому етапі створюється перелік типових функціональних модулів, що можуть входити до складу пакувальних машин відповідного функціонального призначення, яким встановлюється значення критеріїв оптимальності. Ці значення здебільшого визначаються експериментально або приймаються за відомими/ подібними функціональними пристроями.

4. Формулювання задачі оптимізації.

Здебільшого однокритеріальну задачу оптимізації представляють у вигляді:

$$\begin{cases} F_1(X) = P_1 \rightarrow \max; \\ P_2 \leq P_{2\text{зад}}, \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} F_2(X) = P_2 \rightarrow \max; \\ P_1 \leq P_{1\text{зад}} \end{cases}$$

тобто один із параметрів приймається як граничне значення.

Задача багатокритеріальної оптимізації формулюється так:

$$F(X) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \rightarrow \max(\min),$$

тобто прийняті до розгляду критерії оптимальності об'єднуються в один інтегральний (приведений) та вказується напрям екстремуму.

5. Синтез альтернативних варіантів структури пакувальної машини.

Формування варіантів структур здійснюється за відповідним алгоритмом шляхом комбінування різних типорозмірів функціональних модулів між собою відповідно до порядку виконання функцій (технологічних операцій),

необхідних для виконання технологічного процесу. Специфіка генерування структур пакувальних машин залежить від методу, який застосовується для даної процедури, але він має передбачати раціональне поєднання функціональних модулів, яке не суперечить принципу функціонування пакувальної машини.

6. Пошук оптимального розв'язку.

Метод пошуку оптимального варіанту структури пакувальної машини має базуватись на двох засадах: виділення множини домінуючих альтернатив і вибір серед них оптимальної та виключення ймовірності відсіювання потенційно більш ефективних варіантів у порівнянні з тими, які приймаються для подальшого розгляду.

Під час розв'язання дискретної задачі оптимізаційного синтезу структури пакувальної машини та вибору найбільш ефективного розв'язку потрібно знайти множину допустимих альтернатив. Для цього мають бути встановлені правила генерації усіх можливих варіантів.

Генерування варіантів структури пакувальної машини здійснюється з допомогою:

- ✓ комбінаторних методів [223], до яких відносять:
 - морфологічний синтез;
 - синтез по альтернативних деревах (А-деревах або І-АБО-деревах);
- ✓ методу генерування з формальним обмеженням кількості варіантів структури за допомогою типових математичних моделей, нормалізованих ДСТУ.

Морфологічний синтез полягає в знаходженні і систематизації всіх можливих варіантів поєднань функціональних модулів між собою за допомогою морфологічної таблиці. Ця таблиця задається у вигляді матриці інцидентності $A||a_{ij}||$ розміру $F \times E$, де F – кількість функцій, які має виконувати машина; E – число функціональних модулів, з яких вона складається. Елемент матриці a_{ij} , що знаходиться на перетині i -го стовпця

дорівнює одиниці, якщо він виконує функцію, а нулю – якщо не виконує.

Метод морфологічного синтезу застосовується на початкових стадіях проектування. Він дає можливість знайти і систематизувати усі можливі способи структурної побудови пакувальних машин.

Процедуру синтезу розглянемо за умови, коли кожен функціональний модуль характеризується надійністю та вартістю. Завданням синтезу є знаходження такої множини функціональних модулів, щоб виконувались усі потрібні технологічні операції, причому надійність машини має бути максимально високою, а вартість не перевищувала гранично допустимого значення.

При цьому доречно відмітити, що не всі функціональні модулі є взаємопосєднуваними, оскільки одну і ту ж функцію може виконувати у складі однієї машини лише один функціональний модуль.

За вихідні дані прийнято показники широко використовуваних функціональних модулів у машинах пакування сипкої продукції у полімерні пакети. Результати однокритеріальної оптимізації машини пакування сипкої продукції у полімерні термозварні пакети наведено в працях [224]. В монографії наводимо один із можливих варіантів генерування, варіантів структури пакувальної машини, за вихідними даними табл. 3.46.

Таблиця 3.46 – Вихідні дані для синтезу структури пакувальної машини

Назва функціонального модуля		Призначення функціонального модуля	Варіант конструкції	Критерії оптимізації		Відношення, $V_i/K_{BГi}$	
				Надійність			Вартість, v_i
				$K_{Гi}$	$K_{BГi}$		
1		2	3	4	5	6	7
Бункер		X_1	$X_{1,1}$	0,99	0,0101	2560	253465
Дозатор	Ваговий /лінійний	X_2	$X_{2,1}$	0,97	0,0309	15100	488673
	Стакан-чиковий		$X_{2,2}$	0,99	0,0204	5600	274509
	Шибєрний		$X_{2,3}$	0,96	0,0417	3540	84892

Продовження таблиці 3.46

1		2	3	4	5	6	7
Подачі плівки		X ₃	X _{3.1}	0,99		5600	274510
Рукавоутворювач		X ₄	X _{4.1}	0,99	0,0101	3540	350495
Датчик мітки		X ₅	X _{5.1}	0,99	0,0101	2300	112745
Поздов- жнє зва- рювання	Зварний ролик	X ₆	X _{6.1}	0,98	0,0204	9200	450980
	Зварні губки		X _{6.2}	0,99	0,0101	9380	303560
Блок керування		X ₇	X _{7.1}	0,98	0,0204	3400	336634
Поперечне зварювання	Зварні губки (ЗГ)	X ₈	X _{8.1}	0,98	0,0204	10100	495098
	ЗГ з механ. відрізанням		X _{8.2}	0,97	0,0309	12040	389644
	ЗГ з механ. протягуван- ням		X _{8.3}	0,97	0,0309	13200	316547
	ЗГ з датовальним пристроєм		X _{8.4}	0,98	0,0204	11900	385113
	ЗГ з механ. протягуван- ням і відрі- занням		X _{8.5}	0,98	0,0204	14020	219749
	ЗГ з механ. відрізанням і датуванням		X _{8.6}	0,97	0,0417	12500	299760
	ЗГ з механ. протягу- ванням і датуванням		X _{8.7}	0,95	0,0526	13900	264258
	ЗГ з механ. протягуван- ням, відрі- занням і датування		X _{8.8}	0,93	0,0757	14600	192866
Меха- нізм протя- гування рукава	Ролики	X ₉	X _{9.1}	0,97	0,0309	1560	50485
	Натяжні паси		X _{9.2}	0,96	0,0417	2300	55156
	Відрізні ножі	X ₁₀	X _{10.1}	0,98	0,0204	1470	35252

	1	2	3	4	5	6	7
Марку- вальний пристрій	Датувальний	X ₁₁	X _{11.1}	0,97	0,0309	5000	161812
	Штампуваль- ний		X _{11.2}	0,98	0,0204	4370	214215

Для прийнятих вихідних даних формалізоване представлення графа можливої структури пакувальної машини виражається таким чином:

$$\begin{aligned}
 S: & m_1(x_{11}) \wedge m_2(x_{21} \vee x_{22} \vee x_{23}) \wedge m_3(x_{31}) \wedge m_4(x_{41}) \wedge m_5(x_{51}) \\
 & \wedge m_6(x_{61} \vee x_{62}) \wedge m_7(x_{71}) \\
 & \wedge m_8(x_{81} \vee x_{82} \vee x_{83} \vee x_{84} \vee x_{85} \vee x_{86} \vee x_{87} \vee x_{88}) \\
 & \wedge m_9(x_{91} \vee x_{92}) \wedge m_{10}(x_{10.1}) \wedge m_{11}(x_{11.1} \vee x_{11.2})
 \end{aligned}$$

Прийнявши за критерій оптимізації надійність, виражену коефіцієнтом готовності K_z , математична модель синтезу буде мати вигляд:

$$f(X) = \sum_{i=1}^n K_{rij} \cdot X_{ij} \rightarrow \max, \quad X \in G$$

за умови:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \mathcal{V}_{ij} \cdot X_{ij} \leq \mathcal{V}_{\text{гр}}; \\ X_{ij} \in \{0, 1\}, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}; \\ X_{ij} - \text{мета} \end{cases}$$

де $f(X)$ – функція мети; $X = (X_{11}, \dots, X_{ij}, \dots, X_n)$, X_{ij} – множина функціональних модулів, що формують склад пакувальної машини, при чому $X_i = 1$, якщо функціональний модуль входить до i -го варіанту структури машини; $X_i = 0$, якщо не входить; G – скінченна множина функціональних модулів, що розглядаються; $\mathcal{V}_i$ – вартість модуля.

Враховуючи, той факт, що коефіцієнт готовності K_z не є адаптивним, тому для спрощення розрахунків, при послідовному поєднанні модулів у машині, використано відносний коефіцієнт готовності K_{ez} .

За таких умов задача максимізації перетворюється на задачу мінімізації.

У цьому випадку функцію мети наведено у вигляді:

$$f(X) = \sum_{i,j=1}^n K_{B\Gamma ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min, X \in G,$$

а обмеження залишимо без змін.

Отже, для цієї задачі функція мети набуде виду:

$$f(X_{поч}) = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} \rightarrow \min,$$

а обмеження для неї встановимо:

$$\begin{cases} \sum_{i,j=1}^n X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} \leq 45000 \\ X_{ij} \in \{0; 1\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n} \\ X_{ij} - \text{цілі} \end{cases}$$

Оскільки наявність у складі пакувальних машин тих функціональних модулів, для яких є один типорозмір, є обов'язковою для виконання відповідних функцій, то їхні параметри під час розв'язання задачі не враховано.

Для спрощення розрахунку прийнято:

$$X_{поч} = \{X_2; X_6; X_8; X_9; X_{10}; X_{11}\},$$

а функцію мети наведено як:

$$f(X) = X_2 + X_6 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} \rightarrow \min.$$

Тоді обмеження буде дорівнювати різниці між прийнятим граничним значенням по вартості і сумою вартостей тих функціональних модулів, які не ввійшли до множини $X_{поч}$, тобто:

$$\begin{cases} \sum_{i,j=1}^n X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} \leq 27600 \\ X_{ij} \in \{0; 1\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n} \\ X_{ij} - \text{цілі} \end{cases}$$

Розв'язування задачі розпочинається із вибору довільного варіанта структури. Цей варіант наведено структурою X_1 :

$$X_1 = \{X_{1.1}; X_{2.1}; X_{3.1}; X_{4.1}; X_{5.1}; X_{6.1}; X_{7.1}; X_{8.1}; X_{9.1}; X_{10.1}; X_{11.1}\}.$$

Наступним кроком є визначення порядку зростання значень відповідних

співвідношень $\mathcal{V}_i/K_{\text{ВГ}i}$ по кожному X_i із множини X_1 :

$$\frac{\mathcal{V}_{10.1}}{K_{\text{ВГ}10.1}} < \frac{\mathcal{V}_{9.1}}{K_{\text{ВГ}9.1}} < \frac{\mathcal{V}_{11.1}}{K_{\text{ВГ}11.1}} < \frac{\mathcal{V}_{6.1}}{K_{\text{ВГ}6.1}} < \frac{\mathcal{V}_{2.1}}{K_{\text{ВГ}2.1}} < \frac{\mathcal{V}_{8.1}}{K_{\text{ВГ}8.1}}.$$

Початковий опорний план визначено таким чином: нехай $X_{10.1} = 1$, оскільки $\mathcal{V}_{10.1}/K_{\text{ВГ}10.1}$ найменше. Віднімаючи від сумарної граничної вартості вартість конкретного функціонального модуля, одержимо вартість, яка розподілиться між рештою функціональних модулів цієї множини, тобто:

$$X_{10.1} = 1, \mathcal{V} = 27600 - 1470 = 26130;$$

$$X_{9.1} = 1, \mathcal{V} = 26130 - 1560 = 24570;$$

$$X_{11.1} = 1, \mathcal{V} = 24570 - 5000 = 19570;$$

$$X_{6.1} = 1, \mathcal{V} = 19570 - 9200 = 10370.$$

Для наступного модуля $\mathcal{V}_{2.1} = 15100 < \mathcal{V}_{\text{гр}} 10730$, тому $X_{2.1}$ буде дробовим. Модуль, що залишився – $X_{8.1}$ позначимо нулем.

Таким чином, початковий опорний план:

$$X'_1 = \left\{ \frac{10370}{15100}; 1; 0; 1; 1; 1 \right\}.$$

У зв'язку з тим, що функціональний модуль $X_{2.1}$ вичерпав закладений ресурс по вартості і не задовольняє умові задачі, замінено його на еквівалентний – $X_{2.2}$. тоді множина, яку розглянуто далі, набуде виду:

$$X_2 = \{X_{2.2}; X_{6.1}; X_{7.1}; X_{8.1}; X_{9.1}; X_{10.1}; X_{11.1}\}.$$

При порівнянні відношень $\mathcal{V}_i/K_{\text{ВГ}i}$ одержимо:

$$\frac{\mathcal{V}_{10.1}}{K_{\text{ВГ}10.1}} < \frac{\mathcal{V}_{9.1}}{K_{\text{ВГ}9.1}} < \frac{\mathcal{V}_{11.1}}{K_{\text{ВГ}11.1}} < \frac{\mathcal{V}_{2.2}}{K_{\text{ВГ}2.2}} < \frac{\mathcal{V}_{6.1}}{K_{\text{ВГ}6.1}} < \frac{\mathcal{V}_{8.1}}{K_{\text{ВГ}8.1}}.$$

Отож $X_{10.1}=1; X_{9.1}=1; X_{8.1}=1; X_{2.2}=1; X_{6.1}=1, \mathcal{V} = 4770$.

Таким чином $\mathcal{V}_{8.1} = 10100 < \mathcal{V}_{\text{гр}}=4770$. За цієї умови новий опорний план має вигляд:

$$X'_2 = \left\{ 1; 1; 1; 1; 1; \frac{4700}{10100} \right\}.$$

Нульові члени відсутні, тому дробовий елемент $X_{8.1}$ замінено на $X_{8.2}$. Також вилючено із множини функціональних модулів $X_{10.1}$, тому що функція $X_{8.2}$ та $X_{10.1}$ співпадають.

Отож

$$X_3 = \{X_{2.2}; X_{6.1}; X_{8.2}; X_{9.1}; X_{11.1}\}.$$

При порівнянні відношень $\mathcal{V}_i/K_{\text{ВГ}i}$ одержано:

$$\frac{\mathcal{V}_{9.1}}{K_{\text{ВГ}9.1}} < \frac{\mathcal{V}_{11.1}}{K_{\text{ВГ}11.1}} < \frac{\mathcal{V}_{2.2}}{K_{\text{ВГ}2.2}} < \frac{\mathcal{V}_{8.2}}{K_{\text{ВГ}8.2}} < \frac{\mathcal{V}_{6.1}}{K_{\text{ВГ}6.1}}.$$

При цьому $X_{9.1}=1; X_{11.1}=1; X_{2.2}=1; X_{8.2}=1, \mathcal{V}_{\text{ГР}} = 3400.$

$\mathcal{V}_{6.1} = 9200 < \mathcal{V}_{\text{ГР}}=3400$, тому $X_{6.1}$ – дробовий:

$$X'_3 = \left\{ 1; \frac{3400}{9200}; 1; 1; 1 \right\}.$$

З тих же міркувань замість $X_{6.1}$ введено $X_{6.2}$. Одержано:

$$X_4 = \{X_{2.2}; X_{6.2}; X_{8.2}; X_{9.1}; X_{11.1}\}.$$

Порівняно відповідні співвідношення $\mathcal{V}_i/K_{\text{ВГ}i}$:

$$\frac{\mathcal{V}_{9.1}}{K_{\text{ВГ}9.1}} < \frac{\mathcal{V}_{11.1}}{K_{\text{ВГ}11.1}} < \frac{\mathcal{V}_{2.2}}{K_{\text{ВГ}2.2}} < \frac{\mathcal{V}_{6.2}}{K_{\text{ВГ}6.2}} < \frac{\mathcal{V}_{8.2}}{K_{\text{ВГ}8.2}}.$$

Тоді: $X_{9.1}=1; X_{11.1}=1; X_{2.2}=1; X_{6.2}=1, \mathcal{V}_{\text{ГР}} = 6060.$

Звідси $\mathcal{V}_{8.2} = 12040 < \mathcal{V}_{\text{ГР}}=6060$, тому $X_{8.1}$ буде дробовим:

$$X'_4 = \left\{ 1; 1; \frac{606}{12040}; 1; 1 \right\}.$$

Введено чергову заміну $X_{8.2}$ на $X_{8.3}$. Одержано множину:

$$X_5 = \{X_{2.2}; X_{6.2}; X_{8.3}; X_{10.1}; X_{11.1}\}.$$

При цьому:

$$\frac{\mathcal{V}_{10.1}}{K_{\text{ВГ}10.1}} < \frac{\mathcal{V}_{9.1}}{K_{\text{ВГ}9.1}} < \frac{\mathcal{V}_{11.1}}{K_{\text{ВГ}11.1}} < \frac{\mathcal{V}_{2.2}}{K_{\text{ВГ}2.2}} < \frac{\mathcal{V}_{6.2}}{K_{\text{ВГ}6.2}} < \frac{\mathcal{V}_{8.3}}{K_{\text{ВГ}8.3}}.$$

Тоді: $X_{10.1}=1; X_{11.1}=1; X_{2.2}=1; X_{6.2}=1, \mathcal{V}_{\text{ГР}} = 6150.$

Звідси $\mathcal{V}_{8.3} = 13200 < \mathcal{V}_{\text{ГР}}=6150$, тому $X_{8.3}$ буде дробовим:

$$X'_5 = \left\{ 1; 1; \frac{6150}{13200}; 1; 1 \right\}.$$

Замінюємо $X_{8.3}$ на $X_{8.4}$. Отримано множину:

$$X_6 = \{X_{2.2}; X_{6.2}; X_{8.4}; X_{9.1}; X_{10.1}\}.$$

У результаті порівняння одержано:

$$\frac{\mathcal{V}_{10.1}}{K_{\text{ВГ}10.1}} < \frac{\mathcal{V}_{9.1}}{K_{\text{ВГ}9.1}} < \frac{\mathcal{V}_{2.2}}{K_{\text{ВГ}2.2}} < \frac{\mathcal{V}_{6.2}}{K_{\text{ВГ}6.2}} < \frac{\mathcal{V}_{8.4}}{K_{\text{ВГ}8.4}}.$$

Тоді $X_{10.1}=1$; $X_{9.1}=1$; $X_{2.2}=1$; $X_{6.2}=1$, $\mathcal{V}_{\text{гр}} = 9590$.

Звідси $\mathcal{V}_{8.4} = 11900 < \mathcal{V}_{\text{гр}}=9590$, тому $X_{8.4}$ буде дробовим:

$$X'_6 = \left\{ 1; 1; \frac{9590}{11900}; 1; 1 \right\}.$$

Вводимо чергову заміну $X_{8.4}$ на $X_{8.5}$. Одержано:

$$X_7 = \{X_{2.2}; X_{6.2}; X_{8.5}; X_{11.1}\}.$$

Виконано порівняння по $\mathcal{V}_i/K_{\text{БГ}i}$:

$$\frac{\mathcal{V}_{11.1}}{K_{\text{БГ}11.1}} < \frac{\mathcal{V}_{8.5}}{K_{\text{БГ}8.5}} < \frac{\mathcal{V}_{2.2}}{K_{\text{БГ}2.2}} < \frac{\mathcal{V}_{6.2}}{K_{\text{БГ}6.2}}.$$

Тоді $X_{11.1}=1$; $X_{8.5}=1$; $X_{2.2}=1$; $\mathcal{V}_{\text{гр}} = 2980$.

Звідси $\mathcal{V}_{6.2} = 9380 < \mathcal{V}_{\text{гр}}=2980$, тому $X_{6.2} = \frac{2980}{9380}$.

Результати розрахунків свідчать про те, що обидва типорозміри функціонального модуля для поздовжнього зварювання ($X_{6.1}$ та $X_{6.2}$) набули дробових значень. Однак, виконання цієї функції є обов'язковою при виконанні процесу пакування, тому виключити цей модуль зі складу неможливо. Вибираємо конструктивне виконання такого модуля, в якому виконується умова: $X_{6.1} = \frac{2980}{9200} < X_{6.2} = \frac{2980}{9380}$, тобто перевагу слід надати $X_{6.1}$. Від початкової граничної вартості віднято його вартість, одержано: $\mathcal{V}'_{\text{гр}} = 27600 - 9200 = 18400$.

Для компенсації цього вибору, перейдено до розгляду наступного по величині відношення $\mathcal{V}_i/K_{\text{БГ}i}$. Ним є $X_{2.2}$.

Замінімо його на $X_{2.3}$, тоді:

$$X_8 = \{X_{2.3}; X_{6.1}; X_{8.5}; X_{11.1}\},$$

причому

$$\frac{\mathcal{V}_{2.3}}{K_{\text{БГ}2.3}} < \frac{\mathcal{V}_{11.1}}{K_{\text{БГ}11.1}} < \frac{\mathcal{V}_{8.5}}{K_{\text{БГ}8.5}}.$$

Одержано: $X_{2.3} = 1$, $\mathcal{V}'_{\text{гр}} = 18400 - 3540 = 14860$.

$$X_{11.1} = 1, \mathcal{V}'_{\text{гр}} = 14860 - 5000 = 9860.$$

Тоді $\mathcal{V}_{8.5}=14020 < \mathcal{V}'_{\text{гр}} = 9860$, тому $X_{8.5}$ буде дорівнювати:

$$X'_8 = \left\{ 1; 1; 1; \frac{9280}{14020} \right\}.$$

Змінено $X_{8,5}$ на $X_{8,6}$. Отримано множину:

$$X_9 = \{X_{2,3}; X_{6,1}; X_{8,6}; X_{9,1}\},$$

при якій порядок співвідношень:

$$\frac{\mathcal{V}_{2,3}}{K_{\text{ВГ}2,3}} < \frac{\mathcal{V}_{11,1}}{K_{\text{ВГ}11,1}} < \frac{\mathcal{V}_{8,6}}{K_{\text{ВГ}8,6}}.$$

У результаті чого $X_{2,3} = 1$; $X_{11,1} = 1$; $X_{8,6} = 1$; $\mathcal{V}_{\text{гр}} = 800$.

Тоді опорний план:

$$X'_9 = \{ 1; 1; 1; 1 \}.$$

Множина X'_9 не містить нульових та дробових елементів, а тому відповідає умові задачі.

Варіант $X_{9,2}$ можна не перевіряти, тому що при $\frac{\mathcal{V}_{9,1}}{K_{\text{ВГ}9,1}} < \frac{\mathcal{V}_{9,2}}{K_{\text{ВГ}9,2}}$ результат не покращиться.

Виконано перевірку решти варіантів, які не розглянуті. Замінено $X_{8,6}$ на $X_{8,7}$. Отримано множину:

$$X_{10} = \{X_{2,3}; X_{6,1}; X_{8,7}; X_{10,1}\},$$

при якій:

$$\frac{\mathcal{V}_{10,1}}{K_{\text{ВГ}10,1}} < \frac{\mathcal{V}_{2,3}}{K_{\text{ВГ}2,3}} < \frac{\mathcal{V}_{11,1}}{K_{\text{ВГ}11,1}} < \frac{\mathcal{V}_{8,7}}{K_{\text{ВГ}8,7}},$$

$X_{10,1} = 1$; $X_{2,3} = 1$; $\mathcal{V}_{\text{гр}} = 13390$.

При $\mathcal{V}'_{\text{гр}} = 13900 < \mathcal{V}'_{\text{гр}} = 13390$, а тому $X_{8,7}$ буде дробовим.

$$X'_{10} = \left\{ 1; 1; 1; \frac{13390}{13900} \right\}.$$

Змінено $X_{8,7}$ на $X_{8,8}$

$$X_{11} = \{X_{2,3}; X_{6,1}; X_{8,8}\},$$

$X_{2,3} = 1$; $X_{8,8} = 1$; $\mathcal{V}_{\text{гр}} = 260$.

Опорний план буде:

$$X'_{11} = \{ 1; 1; 1 \},$$

що означає, що одержана множина X_{11} також може бути розв'язком задачі.

Таким чином, одержано два варіанти структури, які задовільняють

умовам задач оптимізації, виражені множинами:

$$X_9 = \{X_{2.3}; X_{6.1}; X_{8.6}; X_{9.1}\},$$

$$X_{11} = \{X_{2.3}; X_{6.1}; X_{8.8}\}.$$

Для визначення кращого, пораховано для них значення функції мети.

Оскільки $f(X) \rightarrow \min$, а $f(X_9) = 0,2058 > f(X_{11}) = 0,2089$, то оптимальний розв'язок відповідає множині елементів X_9 .

$$X_{opt} = X_9 = \{X_{2.3}; X_{6.1}; X_{8.6}; X_{9.1}\}.$$

Застосування цього методу дає можливість із високим ступенем достовірності визначити оптимальний варіант структури пакувальної машини, незважаючи на те, що частина розв'язків відсіюється без посереднього розгляду.

3.4.2. Синтез машин пакування в'язкої продукції у споживчу тару

Для машин пакування в'язких продуктів, які працюють з попередньо виготовленою споживчою тарою, характер взаємозв'язку між елементами можна навести у вигляді структурної схеми (рис. 3.44).

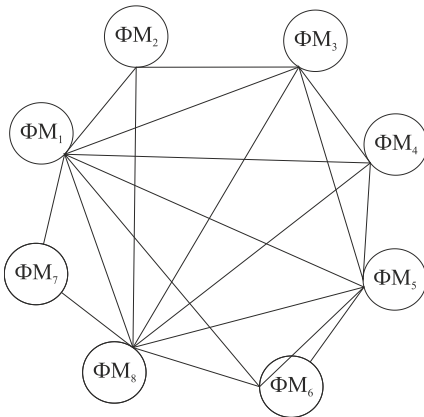


Рисунок 3.44 – Структурна модель машини пакування в'язких харчових продуктів, що працює з попередньо виготовленою споживчою тарою: ФМ₁ - функціональний модуль внутрішньомашинного транспортування; ФМ₂ - функціональний модуль виділення і подачі одиничної споживчої тари; ФМ₃ - функціональний модуль дозування та фасування продукту; ФМ₄ - функціональний модуль виділення і подачі закупорювального засобу; ФМ₅ - функціональний модуль герметизації споживчої тари; ФМ₆ - функціональний модуль маркування споживчої тари; ФМ₇ - функціональний модуль виведення пакувальної одиниці; ФМ₈ - система керування приводами та елементами функціональних модулів

Роботу усіх модулів узгоджено із модулем внутрішньомашинного транспортування споживчої тари та системою керування приводами функціональних модулів. Крім цього кожен із модулів працює узгоджено із попереднім, який підтверджує наявність тари, продукції, закупорювального засобу.

На основі аналізу структурної моделі розробленої схеми побудовано функціональну таблицю функцій основних функціональних модулів (табл. 3.47).

Таблиця 3.47 – Основні функції машин пакування в'язких продуктів, що працюють з попередньо виготовленою споживчою тарою

Функціональний модуль		Функції	
Позначення	Найменування	Позначення	Опис
1	2	3	4
ФМ ₁	внутрішньомашинне транспортування	Φ ₁₁	переміщення споживчої упаковки по відповідній траєкторії
		Φ ₁₂	утримання споживчої упаковки в певному положенні
ФМ ₂	виділення і подача одиничної споживчої тари	Φ ₂₁	виділення одиничної споживчої упаковки із масиву/стопи
		Φ ₂₂	переміщення одиничної споживчої упаковки до внутрішньомашинної транспортної системи
		Φ ₂₃	встановлення одиничної споживчої упаковки в коміріці/лунці внутрішньомашинної транспортної системи
ФМ ₃	дозування та фасування продукту	Φ ₃₁	виділення продукції із витратного резервуару/ магістралі
		Φ ₃₂	формування дози продукції
		Φ ₃₃	переміщення дози продукції до споживчої тари

Продовження таблиці 3.47

1	2	3	4
ФМ ₄	виділення і подача закупорювального засобу	Φ ₄₁	виділення одиничного закупорювального засобу із масиву/стопи
		Φ ₄₂	переміщення одиничного закупорювального засобу до споживчої упаковки
		Φ ₄₃	встановлення одиничного закупорювального засобу на споживчу упаковку
ФМ ₅	герметизація споживчої тари	Φ ₅₁	переміщення зварювальної голівки до/від споживчої упаковки
		Φ ₅₂	утримування зварювальної голівки на поверхні споживчої упаковки
ФМ ₆	маркування споживчої тари	Φ ₆₁	нанесення інформації на поверхню закупорювального засобу/споживчої упаковки
ФМ ₇	виведення пакувальної одиниці	Φ ₇₁	виведення пакувальної одиниці із комірки внутрішньомашинної транспортної системи
		Φ ₇₂	переміщення пакувальної одиниці на відповідний конвеєр/стіл
ФМ ₈	система керування приводами та елементами функціональних модулів	Φ ₈₁	приведення у рух робочих органів
		Φ ₈₂	контроль положення робочих органів
		Φ ₈₃	контроль наявності продукту
		Φ ₈₄	контроль наявності споживчої тари
		Φ ₈₅	контроль наявності закупорювального засобу
		Φ ₈₆	контроль температурних режимів пристрою герметизації
		Φ ₈₇	контроль забезпечення техніки безпеки під час роботи

Для кожного процесу та функцій, що виконує пакувальна машина обрано критерії оцінювання, які дають можливість оцінити переваги та недоліки різних конструкційних виконань модулів.

Таблиця 3.48 - Критерії оцінки функцій модулів пакувальної машини пакування в'язких продуктів, що працює з попередньо виготовленою споживчою тарою

Познач. модуля	Познач. функції	Критерії	
		позначення	опис
1	2	3	4
ФМ ₁	Ф ₁₁	Кр ₁₁₁	Швидкість переміщення
		Кр ₁₁₂	Точність позиціонування
		Кр ₁₁₃	Плавність переміщення
		Кр ₁₁₄	Простота конструкції
		Кр ₁₁₅	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₁₁₆	Універсальність для тари різної місткості
		Кр ₁₁₇	Надійність конструкції
	Ф ₁₂	Кр ₁₂₁	Швидкість спрацювання механізму фіксації
		Кр ₁₂₂	Зусилля фіксації
		Кр ₁₂₃	Точність фіксації положення
		Кр ₁₂₄	Простота конструкції
		Кр ₁₂₅	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₁₂₆	Надійність конструкції
ФМ ₂	Ф ₂₁	Кр ₂₁₁	Величина зусилля захоплення одиничної споживчої упаковки
		Кр ₂₁₂	Швидкість виділення одиничної споживчої упаковки
		Кр ₂₁₃	Величина зусилля виділення одиничної споживчої упаковки
		Кр ₂₁₄	Збереження цілісності тари
		Кр ₂₁₅	Простота конструкції
		Кр ₂₁₆	Надійність конструкції
		Кр ₂₁₇	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₂₂	Кр ₂₂₁	Швидкість переміщення одиничної споживчої упаковки
		Кр ₂₂₂	Величина зусилля утримання одиничної споживчої упаковки
		Кр ₂₂₃	Точність виконання операції
		Кр ₂₂₄	Простота конструкції

1	2	3	4
		Кр ₂₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₂₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₂₃	Кр ₂₃₁	Точність позиціонування
		Кр ₂₃₂	Збереження цілісності тари
		Кр ₂₃₃	Простота конструкції
		Кр ₂₃₄	Надійність конструкції
ФМ ₃	Ф ₃₁	Кр ₃₁₁	Зусилля виділення порції продукції
		Кр ₃₁₂	Швидкість виконання операції
		Кр ₃₁₃	Точність виконання операції
		Кр ₃₁₄	Простота конструкції
		Кр ₃₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₃₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₃₂	Кр ₃₂₁	Швидкість виконання операції
		Кр ₃₂₂	Точність виконання операції
		Кр ₃₂₃	Збереження цілісності продукції
		Кр ₃₂₄	Простота конструкції
		Кр ₃₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₃₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₃₃	Кр ₃₃₁	Швидкість виконання операції
		Кр ₃₃₂	Точність виконання операції
		Кр ₃₃₃	Зусилля витискання дози продукції
		Кр ₃₃₄	Збереження цілісності продукції
		Кр ₃₃₅	Простота конструкції
		Кр ₃₃₆	Надійність конструкції
		Кр ₃₃₇	Зручність обслуговування та налагодження
ФМ ₄	Ф ₄₁	Кр ₄₁₁	Швидкість виділення одиничного закупорювального засобу
		Кр ₄₁₂	Величина зусилля виділення одиничного закупорювального засобу
		Кр ₄₁₃	Збереження цілісності одиничного закупорювального засобу
		Кр ₄₁₄	Простота конструкції
		Кр ₄₁₅	Надійність конструкції

1	2	3	4
	Ф ₄₂	Кр ₄₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₄₂₁	Швидкість переміщення одиничного закупорювального засобу
		Кр ₄₂₂	Величина зусилля утримання одиничного закупорювального засобу
		Кр ₄₂₃	Точність виконання операції
		Кр ₄₂₄	Простота конструкції
		Кр ₄₂₅	Надійність конструкції
	Ф ₄₃	Кр ₄₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₄₃₁	Точність позиціонування
		Кр ₄₃₂	Збереження цілісності одиничного закупорювального засобу
		Кр ₄₃₃	Простота конструкції
		Кр ₄₃₄	Надійність конструкції
		Кр ₅₁₁	Швидкість переміщення зварювальної голівки
ФМ ₅	Ф ₅₁	Кр ₅₁₂	Величина зусилля необхідного для переміщення зварювальної голівки
		Кр ₅₁₃	Точність позиціонування
		Кр ₅₁₄	Простота конструкції
		Кр ₅₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₅₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₅₂	Кр ₅₂₁	Якість зварних швів
		Кр ₅₂₂	Збереження цілісності одиничної споживчої упаковки та одиничного закупорювального засобу
ФМ ₆	Ф ₆₁	Кр ₆₁₁	Швидкість операції маркування
		Кр ₆₁₂	Якість нанесення інформації
		Кр ₆₁₃	Точність розташування інформації
		Кр ₆₁₄	Простота конструкції
		Кр ₆₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₆₁₆	Зручність обслуговування та налагодження

1	2	3	4
ФМ ₇	Ф ₇₁	Кр ₇₁₁	Швидкість виведення пакувальної одиниці із комірки внутрішньо-машинної транспортної системи
		Кр ₇₁₂	Збереження цілісності одиничної споживчої упаковки
		Кр ₇₁₃	Величина зусилля для виведення пакувальної одиниці із комірки внутрішньомашинної транспортної системи
		Кр ₇₁₄	Простота конструкції
		Кр ₇₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₇₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₇₂	Кр ₇₂₁	Швидкість переміщення пакувальної одиниці на відвідний конвеєр/стіл
		Кр ₇₂₂	Збереження цілісності одиничної споживчої упаковки
		Кр ₇₂₃	Величина зусилля для переміщення пакувальної одиниці на відвідний конвеєр/стіл
		Кр ₇₂₄	Простота конструкції
		Кр ₇₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₇₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
ФМ ₈	Ф ₈₁	Кр ₈₁₁	Відсутність збоїв у русі робочих органів
	Ф ₈₂	Кр ₈₂₁	Швидкість спрацювання у випадку збою
	Ф ₈₃	Кр ₈₃₁	Швидкість блокування руху робочих органів у випадку відсутності продукції, тари, закупорювального засобу
	Ф ₈₄	Кр ₈₄₁	
	Ф ₈₅	Кр ₈₅₁	
	Ф ₈₆	Кр ₈₆₁	Якість зварних швів
		Кр ₈₆₁	Збереження цілісності одиничної споживчої упаковки та одиничного закупорювального засобу
	Ф ₈₇	Кр ₈₇₁	Швидкість блокування руху робочих органів у випадку порушення ТБ під час експлуатації

На основі таблиць морфологічного аналізу та таблиці альтернатив реалізації функцій Φ_i стає можливою розробка комбінацій конструктивних виконань функціональних модулів на основі оцінок критеріїв K_i . для оцінки варіантів виконання функціональних модулів встановлюються вимоги до критеріїв K_i і визначаються ваги того чи іншого критерію.

Одним із методів визначення ваги є метод експертної розстановки пріоритетів з точки зору «достатньо-недостатньо» або «важливо-неважливо» за такою схемою – критерій оцінки важливий, з точки зору експерта, то позначається знаком «>»; «менш важливим» – знаком «<»; «еквівалентні» (рівноцінні) – «=», за такими числовими пріоритетними визначеннями кожної пари: $K_i = 1,5$ при $K_i > K_j$; $1,0$ кожному при $K_i = K_j$; $K_i = 0,5$ при $K_i < K_j$.

Об'єктивність результатів опитування підвищується зі збільшенням числа експертів і їх досвіту. Матриці всіх експертів сумуються і визначається один найважливіший або декілька важливих пріоритетних критеріїв (табл. 3.49). для наочності результатів будують діаграми Парето (рис. 3.45), в якій стовпчиками і кумулятивною кривою демонструється визначена вага критеріїв.

Таблиця 3.49 – Підсумкова матриця результатів експертних оцінок п'ятьма експертами пріоритетних критеріїв функціонального модуля дозування в'язких продуктів

K_i	K_{p321}	K_{p322}	K_{p323}	K_{p324}	K_{p325}	K_{p326}	K_{p327}	Σa_j	Вага параметру
K_{p321}	5,0	5,0	2,5	3,0	5,0	6,0	7,5	34,0	0,14
K_{p322}	6,0	5,0	7,5	5,5	6,5	5,5	7,0	43,0	0,18
K_{p323}	3,0	2,5	5,0	3,0	6,0	3,0	6,0	28,5	0,12
K_{p324}	6,5	5,0	7,0	5,0	6,5	6,5	7,0	43,5	0,18
K_{p325}	3,0	2,5	6,0	3,0	5,0	5,0	5,0	29,5	0,12
K_{p326}	5,5	5,0	6,5	3,0	6,0	5,0	7,0	38,0	0,16
K_{p327}	2,5	3,0	3,0	3,0	5,0	3,0	5,0	24,5	0,10
Σa_i								241	1,0

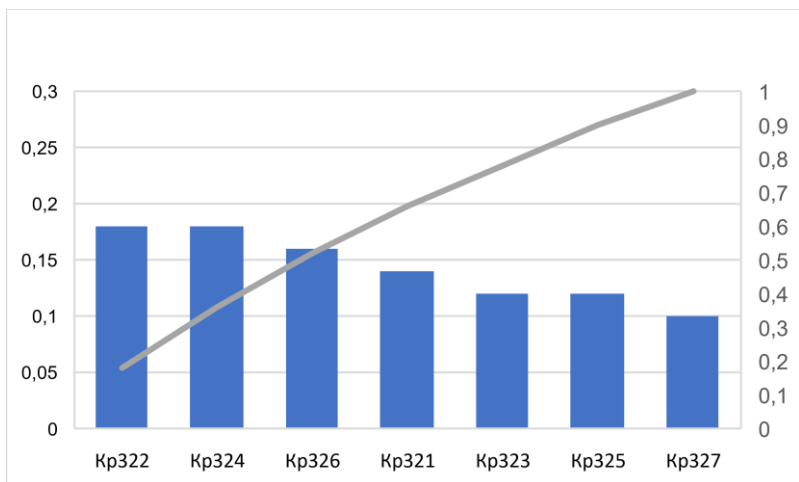


Рисунок 3.45 – Діаграма Парето, що демонструє вагу критеріїв модуля дозування в'язких продуктів

Для вибору раціонального варіанту функціонального модуля на підставі узагальненого критерію можна використати метод послідовного експертного опитування.

Відповідно до результатів морфологічного аналізу експертам запропоновано ряд варіантів виконання функціональних модулів (табл. 3.48). кожний фактор (критерій) оцінюється за десятибальною шкалою. Узагальнений критерій $K_{узаг}$ розраховується за формулою:

$$K_{узаг} = Q_1 \cdot K_1 + Q_2 \cdot K_2 + \dots + Q_n \cdot K_n,$$

де $Q_1 \dots Q_n$ – ваги критерію. Визначається як середнє арифметичне величини критерію, визначеного експертами; $K_1 \dots K_n$ – величина критерію за оцінками експертів. Найкращими вважається функціональний модуль, що має найбільше значення узагальненого (зваженого) критерію.

У табл. 3.50 наведено результати вибору експертами найкращого варіанту конструкції модуля дозування в'язкої продукції. Відповідно результатам експертного опитування доречно віддати перевагу функціональному модулю ФМ32, тому що на думку експертів він має

найбільше значення узагальненого критерію.

Таблиця 3.50 – Експертний вибір найкращого варіанту конструкції модуля дозування в'язких продуктів

№ п/п	Фактори оцінки	Величина критерію K_n для варіантів функціонального модуля			Вага критерію, Q_n
		$\Phi M_{3.1}$	$\Phi M_{3.2}$	$\Phi M_{3.3}$	
1	K_{p321}	5,0	5,0	2,5	7,0
2	K_{p322}	6,0	5,0	7,5	8,0
3	K_{p323}	3,0	2,5	5,0	6,7
4	K_{p324}	6,5	5,0	7,0	6,7
5	K_{p325}	3,0	2,5	6,0	7,0
6	K_{p326}	5,5	5,0	6,5	8,0
7	K_{p327}	2,5	3,0	3,0	8,0
	Величина узагальненого зваженого критерію Кузаг.	370,7	399,4	369,9	

$\Phi M_{3.1}$ – модуль із поршневим дозатором; $\Phi M_{3.2}$ – модуль із витратними пристроями; $\Phi M_{3.3}$ – модуль із системою зважування.

3.4.3 Синтез машин групового пакування пакувальних одиниць

Для проведення морфологічного синтезу конструкції машин групового пакування розроблено взаємозв'язок їх функціональних модулів (рис. 3.46).

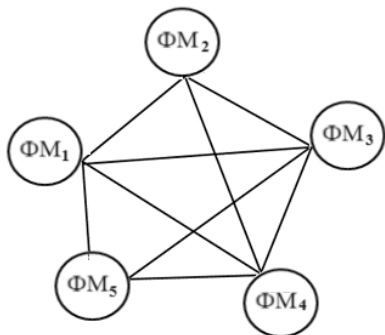


Рисунок 3.46 - Взаємозв'язок функціональних модулів у структурі машини для групового пакування: ΦM_1 - модуль переміщення та орієнтування пакувальних одиниць; ΦM_2 - модуль обгортання пакувальними матеріалами; ΦM_3 - модуль подачі транспортної тари або лотка; ΦM_4 - модуль групового пакування; ΦM_5 - модуль заключних операцій групового пакування (датування, герметизації)

Пошук кращого розв'язку задачі оптимізації за декількома критеріями насамперед полягає у виборі критеріїв для оптимізації. Протиріччя при їх виборі передбачає поєднання складних взаємозалежних технічних характеристик обладнання для групового пакування з різною фізичною природою критеріїв, які характеризуються відповідними розмірностями параметрів (табл. 3.51).

Таблиця 3.51 – Функції модулів обладнання для групового пакування

Функціональні модулі		Функції	
позна-чення	найменування	позна-чення	опис
1	2	3	4
ФМ ₁	модуль переміщення та орієнтування пакувальних одиниць	Ф ₁₁	переміщення пакувальних одиниць по відповідній траєкторії
		Ф ₁₂	орієнтування пакувальних одиниць в заданому положенні
ФМ ₂	функціональний модуль обгортання пакувальними матеріалами	Ф ₂₁	розмотування плівки з рулону
		Ф ₂₂	формування рукава
ФМ ₃	функціональний модуль подачі транспортної тари або лотка	Ф ₃₁	переміщення транспортної тари або лотка по відповідній траєкторії
		Ф ₃₂	Фіксування транспортної тари або лотка в певному положенні
ФМ ₄	функціональний модуль групового пакування	Ф ₄₁	формування ряду пакувальних одиниць
		Ф ₄₂	орієнтування структурної одиниці групового пакування в заданому положенні
		Ф ₄₃	завантаження структурної одиниці групової упаковки
ФМ ₅	функціональний модуль заключних операцій групового пакування	Ф ₅₁	закривання клапанів
		Ф ₅₂	переміщення сформованої групової упаковки до транспортної упаковки

Для технологічних характеристик параметричного ряду однотипних машин групового пакування, створених із функціональних модулів, визначено критерії їх оцінювання, які дають можливість визначити оптимальну конструкцію шляхом аналізу переваг та недоліків їх конструктивних рішень (табл. 3.52).

Таблиця 3.52 – Критерії оцінювання функцій елементів пакувальної машини для групового пакування

Познач. функціональ- них модулів	Познач. функції	Критерії	
		позна- чення	опис
1	2	3	4
ФМ ₁	Φ ₁₁	Кр ₁₀₁	Фактична продуктивність
		Кр ₁₀₂	Точність позиціонування
		Кр ₁₀₃	Плавність переміщення
		Кр ₁₀₄	Енерговитрати
		Кр ₁₀₅	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₁₀₆	Універсальність для тари різної місткості
		Кр ₁₀₇	Надійність конструкції
	Φ ₁₂	Кр ₁₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₁₁₂	Енерговитрати
		Кр ₁₁₃	Точність фіксації положення
		Кр ₁₁₄	Простота конструкції
		Кр ₁₁₅	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₁₁₆	Надійність конструкції
		Кр ₂₁₁	Енерговитрати
ФМ ₂	Φ ₂₁	Кр ₂₁₂	Постійна швидкість розмотування рулону
		Кр ₂₁₃	Постійна величина зусилля натягу стрічки
		Кр ₂₁₄	Енерговитрати
		Кр ₂₁₅	Простота конструкції
		Кр ₂₁₆	Надійність конструкції
		Кр ₂₁₇	Зручність обслуговування та налагодження

Продовження таблиці 3.52

1	2	3	4
	Φ_{22}	Кр ₂₂₁	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₂₂₂	Надійність конструкції
		Кр ₂₂₃	Точність виконання операції
		Кр ₂₂₄	Простота конструкції
		Кр ₂₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₂₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
ФМ ₃	Φ_{31}	Кр ₃₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₃₁₂	Швидкість виконання операції
		Кр ₃₁₃	Точність виконання операції
		Кр ₃₁₄	Простота конструкції
		Кр ₃₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₃₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Φ_{32}	Кр ₃₂₁	Фактична продуктивність
		Кр ₃₂₂	Точність виконання операції
		Кр ₃₂₃	Енерговитрати
		Кр ₃₂₄	Простота конструкції
		Кр ₃₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₃₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
ФМ ₄	Φ_{41}	Кр ₄₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₄₁₂	Плавність переміщення
		Кр ₄₁₃	Енерговитрати
		Кр ₄₁₄	Простота конструкції
		Кр ₄₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₄₁₆	Енерговитрати
	Φ_{42}	Кр ₄₂₁	Плавність переміщення
		Кр ₄₂₂	Величина зусилля формування
		Кр ₄₂₃	Точність виконання операції
		Кр ₄₂₄	Простота конструкції
		Кр ₄₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₄₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Φ_{43}	Кр ₄₃₇	Фактична продуктивність
		Кр ₄₃₈	Енерговитрати
		Кр ₄₃₉	Точність позиціонування

1	2	3	4
ФМ ₅	Ф ₅₁	Кр ₅₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₅₁₂	Енерговитрати
		Кр ₅₁₃	Точність позиціонування
		Кр ₅₁₄	Простота конструкції
		Кр ₅₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₅₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₅₂	Кр ₅₂₇	Фактична продуктивність
		Кр ₅₂₈	Збереження цілісності групової упаковки
		Кр ₅₂₉	Надійність конструкції

На основі отриманих результатів морфологічного аналізу та альтернатив реалізації функцій Фі виконано наступний етап дослідження - розробка комбінацій альтернативних конструктивних виконань функціональних модулів на основі оцінок критеріїв К_і.

Було визначено основні критерії вибору функціональних модулів пакувальної машини для групового пакування: простота експлуатаційного обслуговування; низька вартість і швидка окупність витрат; надійність роботи в широкому діапазоні температур; великий термін служби, що сягає 6 – 8 років при трьох змінній роботі; висока швидкість переміщення робочих органів (лінійна – до 15 м/с, колова – до 100 000 об/хв); рекуперація енергоносіїв.

Аналітичне дослідження надійності машин для групового пакування було проведено на прикладі типових конструкцій обладнання для групового пакування за схемою 2D (z=0) та 3D (z=1) перемішень структурних елементів групової упаковки: брикетів масла солодковершкового в гофрокартонні ящики серії 710 фірми «Трепко»; полімерних пляшок с харчовим продуктом у гофрокартонні ящики серії MCP фірми «APSOL» (рис. 3.47 та 3.48).

Послідовність технологічних операцій формування групової упаковки машиною-автоматом серії 710 фірми «Трепко» наведена на рис. 3.47а і яка

реалізується такими функціональними модулями: I – подачі пакованих брикетів масла магістральним конвеєром з функцією орієнтування; II– формування шару упаковок механізмом зіштовхування; III– подача плоскоскладеної заготовки гофрокартону ящика в місце завантаження вакуумними присмоктувачами та конвеєром; IV – формування групової упаковки шляхом зіштовхування; V,VI – подача заповненої тари відвідним конвеєром у зону її скріплення.



Рисунок 3.47 – Машина-автомат для групового пакування серії 710 фірми «Трепко»: а – послідовність технологічних операцій формування групової упаковки брикетів із масла солодковершкового в гофрокартонні ящики; б – робочі органи для виконання операцій формування

Продуктивність машини-автомата серії 710 фірми «Трепко» становить 20 гр.уп/хв з розрахунку виготовлення 1 групова упаковка за 3 с. Машина-автомат серії MCP фірми «APSOL» (рис.3.48) складається з таких функціональних модулів : I – подачі полімерних пляшок із харчовим продуктом магістральним конвеєром; II – формування шару полімерних пляшок, заповненим харчовим продуктом, механізмом поділення потоку; III – подача порожнього ящика в місце завантаження відвідним конвеєром; IV – формування групової упаковки шляхом перенесення структурної одиниці; V – подача заповненої тари відвідним конвеєром у зону скріплення. Продуктивність машини-автомата серії MCP фірми «APSOL» – 20 гр. уп/хв з розрахунку виготовлення 1 групова упаковка за 3 с.

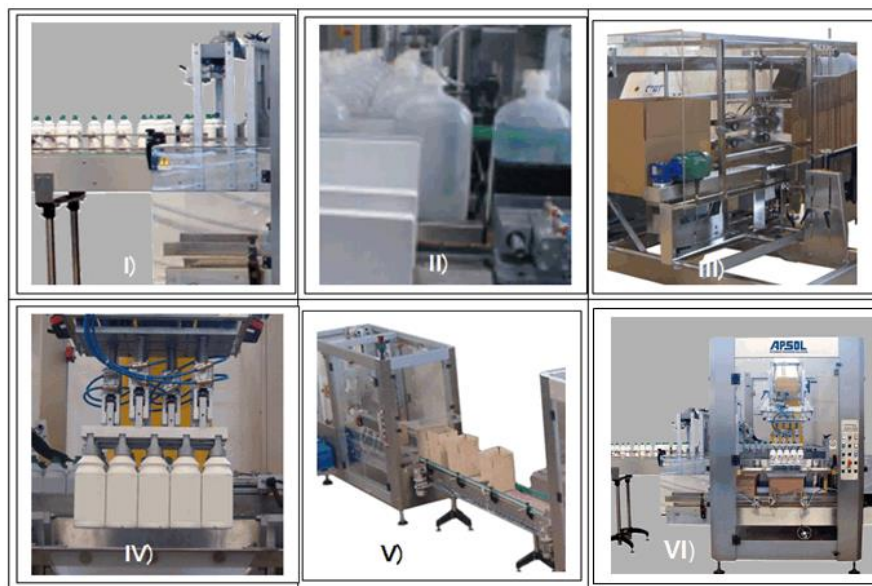


Рисунок 3.48 – Машина -автомат серії MCP фірми «APSOL» для групового пакування: послідовність технологічних операцій формування групової упаковки із полімерних пляшок, заповнених харчовим продуктом у гофрокартонні ящики

За результатами хронометражу роботи вибраних зразків машин-автоматів для групового пакування визначено для кожного з функціональних модулів: інтервали безвідмовної роботи; тривалість відновлення; середня тривалість безвідмовної роботи (m_{cp}); середня тривалість відновлення роботоздатності (m_{np}); коефіцієнтів готовності. ($K_{Гі}$); коефіцієнтів відносної готовності ($K_{вг}$).

Оброблені та розраховані параметри надійності функціональних модулів наведено в табл. 3.53– 3.54.

Таблиця 3.53 - Характеристики надійності ФМ машини-автомата серії 710 для формування групової упаковки з брикетів вершкового масла в гофрокартонні ящики за схемою 2D (z=0) переміщень

№	Функціональний модуль	Інтервали безвідмовної роботи, хв.	Тривалість відновлення, хв.	m_{cp}	m_{np}	$K_{Гі}$	$K_{вг}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Механізм подачі брикетів масла	292	5	292	5	0,983	0,017
2	Механізм внутрішньомашинного переміщення порожньої тари	277-318	5-5	297,2	5	0,983	0,017
3	Механізм формування шару упаковок	142-178	3-3	160	3	0,982	0,018
4	Механізм формування групової упаковки шляхом зіштовхування	97-133-152	3-4-4	127,33	3,67	0,972	0,028
5	Механізм внутрішньомашинного переміщення заповненого ящика	277-318	5-5	297,2	5	0,983	0,017
6	Блок керування	938	7-10	938	7	0.989	0.011

Таблиця 3.54 – Параметри надійності ФМ машини-автомата серії МСР для формування групової упаковки з полімерних пляшок, заповнених харчовим продуктом, в гофрокартонні ящики за схемою 3D (z=1) переміщень

№	Функціональний модуль	Інтервали безвідмовної роботи, хв.	Тривалість відновлення, хв.	m _{ср}	m _{пр}	K _{Гі}	K _{вг}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Механізм внутрішньомашинного переміщення полімерних пляшок з харчовим продуктом	98-154-132-162-115	3-6-7-11-7	132,2	6,8	0,95	0,05
2	Механізм внутрішньомашинного переміщення порожнього ящика	198-263	8-10	230,5	9	0,962	0,038
3	Механізм формування шару	220-252	6-8	236	7	0,97	0,03
4	Механізм формування групової упаковки шляхом переміщення	123-162-108	5-8-5	131	6	0,956	0,044
5	Механізм внутрішньомашинного переміщення заповненого ящика	198-263	8-10	230,5	9	0,962	0,038
6	Блок керування	320	5	320	5	0,985	0,015

За результатами аналітичних досліджень коефіцієнта готовності функціональних модулів розглянутого зразка обладнання серії 710 встановлено, що найменш надійними є функціональні модулі формування групової упаковки шляхом зіштовхування (коефіцієнтом відносної готовності K_{вг} = 0,028). Це можна пояснити тим, що під час формування групової упаковки спостерігається періодичне порушення точності позиціонування структурного елементу групової упаковки і як наслідок

часткова деформація брикетів масла, що призводить до вимушених зупинок. На основі отриманих даних визначимо коефіцієнти готовності машини-автомата серії 710 для формування групової упаковки з брикетів масла солодковершкового в гофрокартонні ящики:

$$K_{Г,М} = \left(1 + \left(\left(\frac{1}{0,983} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,983} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,982} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,972} - 1 \right) + \right) \right)^{-1} = 0,888.$$

За результатами аналітичних досліджень коефіцієнта готовності функціональних модулів розглянутого зразка обладнання МСР встановлено, що найменш надійними є функціональний модуль: внутрішньо-машинного переміщення полімерних пляшок із харчовим продуктом з коефіцієнтом відносної готовності $K_{вг} = 0,05$; формування групової упаковки шляхом переміщення з коефіцієнтом відносної готовності $K_{вг} = 0,044$. Це зумовлено як певною недосконалістю конструкцій модулів, так і певними особливостями технологічних операцій та характеристикою форм споживчих упаковок.

Так періодично можна спостерігати нестійку орієнтацію полімерних пляшок у формі циліндра з харчовим продуктом під час внутрішньомашинного їх переміщення від технологічного обладнання, деформації тари, порушення точності позиціонування структурного елемента групової упаковки та неякісне його захоплення. Перераховані причини призводять до вимушених зупинок роботи обладнання. На основі отриманих даних визначимо коефіцієнт готовності машини-автомата серії МСР для формування групової упаковки з полімерних пляшок, заповнених харчовим продуктом, в гофрокартонні ящики:

$$K_{Г,М} = \left(1 + \left(\left(\frac{1}{0,95} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,962} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,97} - 1 \right) + \right) \right)^{-1} = 0,817.$$

Із врахуванням розрахованих коефіцієнтів готовності фактична продуктивність розглянутих зразків обладнання становить:

Машина-автомат серії 710: $Z_{\phi} = 0,888 \cdot 20 = 17,76$ гр.уп/хв.;

Машина-автомат серії МСР: $Z_{\phi} = 0,817 \cdot 20 = 16,34$ гр.уп/хв.

У результаті виконаних досліджень, поряд із визначеними коефіцієнтами надійності ФМ пакувальних машин, встановлено, що для підвищення надійності і продуктивності машин-автоматів для групового пакування потрібно обґрунтувати і реалізувати раціональні параметри функціональних модулів зіштовхування, переміщення та захоплювання.

Якісною характеристикою ефективності процесу групового пакування є коефіцієнт точності функціонування, який за визначенням характеризує різницю між фактичною характеристикою технологічних параметрів робочого органу та заданих програмно. Коефіцієнт точності функціонування обладнання для групового пакування є комплексною характеристикою показників часу квантування сигналу керування, повторюваності порогу та похибки позиціонування. Основним показником, який поєднує точність функціонування робочих органів мехатронних модулів із технологічним процесом групового пакування, є похибка позиціонування, яка визначається лінійними величинами для кожної площини переміщень $\lambda_i = f_i(\Delta x_i, \Delta y_i; \Delta z_i)$:

$$\Delta x = x_1 - x_0; \Delta y = y_1 - y_0; \Delta z = z_1 - z_0,$$

де x_1, y_1, z_1 — фактична координата положення робочого органу функціонального модуля; x_0, y_0, z_0 — програмно задана координата положення робочого органу модуля. Тоді для будь-якого варіанта структури машини групового пакування характерне рівняння:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Одним із актуальних показників сьогодення для обладнання групового пакування є показник енерговитрат, який характеризує сукупність витраченої енергії на роботу функціональних модулів і визначається з урахуванням споживаної ними потужності:

$$E_i = N_i \cdot T,$$

де E_i – енергія, витрачена i -тим функціональним модулем за час T , Дж; N_i – потужність i -го функціонального модуля, Вт; T – час, необхідний для виконання однієї технологічної операції, с.

Тоді для будь-якого варіанта структури машини $X_i = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ характерне рівняння:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n E_i.$$

Залежно від вимог технічного завдання на проектування, особливостей технологічного процесу групового пакування, функціональних характеристик функціональних модулів кількість показників ефективності може розширюватись та змінюватись. Для раціонального їх використання пропонується в подальшому їх об'єднувати в узагальнені (приведені) критерії.

Використаємо метод пошуку Парето-ефективних рішень для оцінки структур обладнання утвореного параметричного ряду машин (сім однотипних функціональних варіантів) для групового пакування за схемою 3 D ($z=1$) за показниками ефективності: фактична продуктивність, відносна готовність та похибка позиціонування.

Всі зазначені часткові критерії оптимальності є адаптивними. Наразі утворити з них векторний критерій оптимальності не можливо, так як екстремум кожного з них є різний і прямує до $\max$ (фактична продуктивність) або до $\min$ (відносна готовність та похибка позиціонування).

Виразимо фактичну продуктивність через час тривалості технологічного циклу. Тоді задача максимізації фактичної продуктивності перетвориться на задачу мінімізації тривалості технологічного циклу, а векторний критерій оптимальності буде прямувати до $\min$ значення екстремуму.

Всі варіанти структури обладнання для групового пакування харчових продуктів X^i з показниками відповідних критеріїв оптимальності наведено в табл. 3.55.

Таблиця 3.55 - Значення критеріїв оптимальності для варіантів структур машини для групового пакування харчових продуктів

Критерій	Варіант структури						
	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7
Похибка позиціонування: λ_{36} , мм	0,25	0,13	0,22	0,19	0,31	0,35	0,12
Відносна готовність $K_{ВГ}$	0,0153	0,0181	0,0125	0,0214	0,0159	0,0163	0,0199
Тривалість технологічного циклу T , с	3,75	3,33	4,62	3	3,53	3,34	3,59

Математичний розрахунок інтегрального критерію оптимальності передбачає визначення його числових значень. Для кожного значення часткових критеріїв оптимальності задамося ваговими коефіцієнтами C_i . Для цього здійсимо присвоєння вагових коефіцієнтів за принципом наростання значень часткових критеріїв (табл. 3.56). Підставивши відповідні дані з таблиць, одержимо інтегральні критерії оптимальності:

$$F(X^1) = \left(5 \frac{0,25}{0,12}\right) + \left(2 \frac{0,0153}{0,0125}\right) + \left(6 \frac{3,75}{3}\right) = 20,37;$$

$$F(X^2) = \left(2 \frac{0,13}{0,12}\right) + \left(5 \frac{0,0181}{0,0125}\right) + \left(2 \frac{3,33}{3}\right) = 11,63;$$

$$F(X^3) = \left(4 \frac{0,22}{0,12}\right) + \left(1 \frac{0,0125}{0,0125}\right) + \left(7 \frac{4,62}{3}\right) = 19,11;$$

$$F(X^4) = \left(3 \frac{0,19}{0,12}\right) + \left(7 \frac{0,0214}{0,0125}\right) + \left(1 \frac{3}{3}\right) = 12,69;$$

$$F(X^5) = \left(6 \frac{0,31}{0,12}\right) + \left(3 \frac{0,0159}{0,0125}\right) + \left(4 \frac{3,53}{3}\right) = 23,55;$$

$$F(X^6) = \left(7 \frac{0,35}{0,12}\right) + \left(4 \frac{0,0163}{0,0125}\right) + \left(3 \frac{3,34}{3}\right) = 28,98;$$

$$F(X^7) = \left(1 \frac{0,12}{0,12}\right) + \left(6 \frac{0,0199}{0,0125}\right) + \left(5 \frac{3,59}{3}\right) = 16,50.$$

Таблиця 3.56 - Оцінка варіантів структур пакувальної машини для групового пакування за критеріями оптимальності

Критерій	Оцінки варіантів структур пакувальної машини						
	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7
Похибка позиціювання: λ_{3g} , мм	5	2	4	3	6	7	1
Відносна готовність, $K_{ВГ}$	2	5	1	7	3	4	6
Тривалість технологічного циклу T , с	6	2	7	1	4	3	5

Розташування інтегрального критерію оптимальності кожного зразка машини для групового пакування пакувальних одиниць відносно міні значення екстремуму наведено на рис. 3.49.

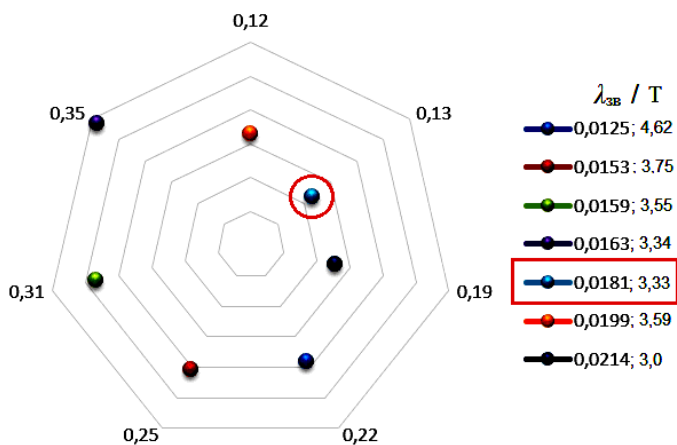


Рисунок 3.49 – Інтегральні критерії оптимальності машин для групового пакування пакувальних одиниць за схемою 3D ($z=1$) переміщення

За результатами розрахунків визначено, що оптимальною є структура машини для групового пакування пакувальних одиниць за номером X^2 .

Слід зауважити, що складність структурних схем будови отриманих альтернативних варіантів машин групового пакування з великої кількості типорозмірів функціональних мехатронних модулів робить пошук

оптимального варіанта компоновання машини досить трудомістким процесом і потребує використання комп'ютерної техніки та спеціалізованих програм, які запропоновані та апробовані в роботі [228].

Таким чином у результаті таких дій отримуємо множину розв'язків N' , з якої поступово виключаємо невідомі розв'язки, покроково звужуючи простір пошуку до множин пріоритетних L' , домінуючих L'' і, нарешті, до остаточних L''' варіантів компоновання. Оптимальний варіант пошуку буде мати наступну послідовність дій:

$$L_{opt}: L_{opt} \in L''', L'' \subset L'' \subset L'.$$

3.4.4. Синтез машин формування збільшених вантажних одиниць

Взаємозв'язок функціональних модулів у структурі пакетоформуючих машин наведено на рис. 3.50.

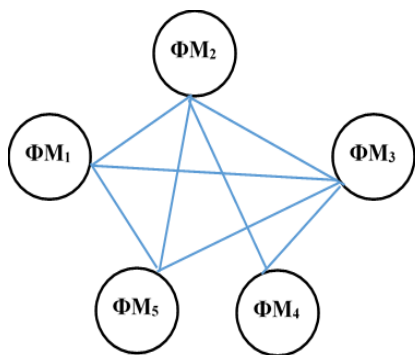


Рисунок 3.50 - Взаємозв'язок функціональних модулів у структурі машини для формування збільшених вантажних одиниць: ФМ₁ - модуль подачі одиничного тарного вантажу/ споживчої упаковки; ФМ₂ - модуль формування структурного елемента транспортного пакета; ФМ₃ - модуль укладання структурного елемента транспортного пакета; ФМ₄ - модуль подачі пакувальних засобів; ФМ₅ - модуль відведення сформованого транспортного пакета

Морфологічний синтез починаємо із вибору критеріїв для оптимізації. Протиріччя при їх виборі передбачає поєднання складних взаємозалежних технічних характеристик обладнання для формування збільшених вантажних одиниць з різною фізичною природою критеріїв, які характеризуються відповідними розмірностями функцій (табл. 3.57).

Таблиця 3.57 - Таблиця функцій модулів обладнання для формування збільшених вантажних одиниць

Функціональні модулі		Функції	
позна-чення	найменування	позна-чення	опис
1	2	3	4
ФМ ₁	модуль подачі одиничного тарного вантажу/споживчої упаковки	Φ ₁₁	переміщення тарного вантажу по відповідній траєкторії
		Φ ₁₂	орієнтування тарного вантажу в заданому положенні
ФМ ₂	модуль формування структурного елемента транспортного пакету	Φ ₂₁	формування ряду вантажів
		Φ ₂₂	формування шару вантажів
ФМ ₃	модуль укладання структурного елемента транспортного пакету	Φ ₃₁	Укладання шляхом переміщення в горизонтальній площині
		Φ ₃₂	Укладання шляхом переміщення в вертикальній площині
ФМ ₄	модуль подачі пакувальних засобів	Φ ₄₁	виділення одиничного піддона
		Φ ₄₂	орієнтування піддона в заданому положенні
		Φ ₄₃	фіксування піддона в певному положенні
ФМ ₅	модуль відведення сформованого транспортного пакету	Φ ₅₁	переміщення сформованого транспортного пакета по відповідній траєкторії
		Φ ₅₂	скріплення транспортного пакета

Для технологічних характеристик параметричного ряду однотипних ПФМ, створених з функціональних модулів визначено критерії їх оцінювання, які дають можливість визначити оптимальну структуру шляхом аналізу переваг та недоліків їх конструктивних рішень (табл. 3.58).

Таблиця 3.58 – Критерії оцінювання функцій модулів пакетоформуючих машин (ПФМ)

Познач. функціональ- ного модуля	Познач. функції	Критерії	
		позначення	опис
1	2	3	4
ФМ ₁	Ф ₁₁	Кр ₁₀₁	Фактична продуктивність
		Кр ₁₀₂	Плавність переміщення
		Кр ₁₀₄	Енерговитрати
		Кр ₁₀₅	Надійність конструкції
	Ф ₁₂	Кр ₁₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₁₁₂	Енерговитрати
		Кр ₁₁₃	Точність орієнтації положення
		Кр ₁₁₄	Простота конструкції
		Кр ₁₁₅	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₁₁₆	Надійність конструкції
ФМ ₂	Ф ₂₁	Кр ₂₁₁	Точність переміщення
		Кр ₂₁₂	Можливість регулювання швидкості
		Кр ₂₁₃	Простота конструкції
		Кр ₂₁₄	Надійність конструкції
		Кр ₂₁₅	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₂₂	Кр ₂₂₁	Зручність обслуговування та налагодження
		Кр ₂₂₂	Надійність конструкції
		Кр ₂₂₃	Точність виконання операції
		Кр ₂₂₄	Простота конструкції
		Кр ₂₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₂₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
ФМ ₃	Ф ₃₁	Кр ₃₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₃₁₂	Швидкість виконання операції
		Кр ₃₁₃	Точність виконання операції
		Кр ₃₁₄	Простота конструкції
		Кр ₃₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₃₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₃₂	Кр ₃₂₁	Фактична продуктивність

Продовження таблиці 3.58

1	2	3	4
		Кр ₃₂₂	Точність виконання операції
		Кр ₃₂₃	Енерговитрати
		Кр ₃₂₄	Простота конструкції
		Кр ₃₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₃₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
ФМ ₄	Ф ₄₁	Кр ₄₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₄₁₂	Плавність переміщення
		Кр ₄₁₃	Простота конструкції
		Кр ₄₁₄	Надійність конструкції
		Кр ₄₁₅	Енерговитрати
	Ф ₄₂	Кр ₄₂₁	Плавність орієнтування
		Кр ₄₂₂	Можливість швидкого переналагодження
		Кр ₄₂₃	Точність виконання операції
		Кр ₄₂₄	Простота конструкції
		Кр ₄₂₅	Надійність конструкції
		Кр ₄₂₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₄₃	Кр ₄₃₇	Фактична продуктивність
		Кр ₄₃₈	Надійність фіксації
		Кр ₄₃₉	Точність позиціонування
ФМ ₅	Ф ₅₁	Кр ₅₁₁	Фактична продуктивність
		Кр ₅₁₂	Енерговитрати
		Кр ₅₁₃	Точність позиціонування
		Кр ₅₁₄	Простота конструкції
		Кр ₅₁₅	Надійність конструкції
		Кр ₅₁₆	Зручність обслуговування та налагодження
	Ф ₅₂	Кр ₅₂₇	Фактична продуктивність
		Кр ₅₂₈	Збереження цілісності транспортної упаковки
		Кр ₅₂₉	Надійність конструкції

На основі отриманих результатів морфологічного аналізу та альтернатив реалізації функцій Φ_i розроблено комбінацію альтернативних конструктивних виконань функціональних модулів на основі оцінок критеріїв K_i .

Визначено основні критерії вибору функціональних модулів ПФМ: простота експлуатаційного обслуговування; низька вартість і швидка окупність експлуатації; надійність роботи в широкому діапазоні температур; термін служби, що сягає 6 – 8 років при трьох змінній роботі; висока швидкість переміщення робочих органів (лінійна – до 10 м/с, колова – до 1000 об/хв); рекуперація енергоносіїв.

На наступному етапі дослідження визначено типові показники ефективності експлуатації ПФМ: фактична продуктивність; надійність; функціональна точність; енерговитрати. Під продуктивністю обладнання для пакетування тарних вантажів вважатимемо його фактичну продуктивність. Така продуктивність є найбільш наближеною характеристикою його роботи, так як враховує сумарний час простоювання (t_n); час несправності (t_n) і час переналадження (t_3). Для підвищення ефективності роботи ПФМ значення фактичної продуктивності має постійно зростати.

Наступним показником ефективності обладнання формування збільшених вантажних одиниць є надійність, яка за визначенням передбачає властивість обладнання в заданому інтервалі часу зберігати визначені технічні та технологічні показники роботи.

Комплексним показником надійності є коефіцієнт готовності K_T , який визначає ймовірність того, що ПФМ буде в роботоздатному стані у довільний момент часу, окрім запланованих періодів, під час яких її використання не передбачається.

Дослідження надійності проведено на прикладі типової конструкції машини SAP-B/SAP-F фірми «Гофротехнології» для формування транспортного пакета продуктивністю – 480 шарів/год; машини SuperPal компанії «Гофромашини» для формування транспортних пакетів з продуктивністю – 400 шарів/год. (рис. 3.51 та рис. 3.52).

Послідовність виконання технологічних операцій формування транспортного пакету в наведеному обладнанні реалізується такими

функціональними модулями: I – подачі та орієнтування тарного вантажу; II – формування шару; III – горизонтального переміщення шару; IV – формування транспортного пакету; V – подачі одиничного піддона до піднімально-опускного механізму; VI – подачі сформованого пакета в зону його скріплення.



Рисунок 3.51 – Машина SAP-B/SAP-F фірми «Гофротехнології» для формування транспортного пакету: продуктивність – 480 шарів/год

Машина SAP-B/SAP-F формує транспортний пакет висотою 2100 мм і складається із 6 шарів. Тривалість формування транспортного пакета – 45 с.

Машина SuperPal компанії формує транспортний пакет висотою 2100 мм, який складається із 6 шарів. Тривалість формування транспортного пакета – 54с.

За результатами хронометражу роботи вибраних зразків ПФМ визначено для кожного з функціональних модулів: інтервали безвідмовної роботи; тривалість відновлення; середня тривалість безвідмовної роботи (m_{cp}); середня тривалість відновлення роботоздатності (m_{np}); коефіцієнтів готовності. ($K_{г1}$); коефіцієнтів відносної готовності ($K_{вг}$).



Рисунок 3.52 – Машина SuperPal компанії «Гофромашини» для формування транспортних пакетів: продуктивність – 400 шарів/год

Оброблені та розраховані параметри надійності ПФМ наведено в табл. 3.59 – 3.60.

Таблиця 3.59 – Параметри надійності ПФМ SAP-B/SAP-F

№	Функціональний модуль	Інтервали безвідмовної роботи, хв.	Тривалість відновлення, хв.	m_{cp}	m_{np}	$K_{Гі}$	$K_{вГ}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Пристрій подачі та орієнтування тарного вантажу	360-400	5	382	5	0,987	0,013
2	Пристрій формування шару	277-318	5-5	297,2	5	0,983	0,017
3	Механізм горизонтального переміщення шару	277-318	3-3	300	3	0,990	0,010
4	Піднімально-опускний механізм для формування транспортного пакету	153-252	3-4-9	207,33	3,67	0,982	0,018

Продовження таблиці 3.59

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Конвеєр подачі одиночного піддона до піднімально- опускного механізму	360	5	360	5	0,986	0,014
6	Подача сформо- ваного пакету відвідним конвеєром в зону скріплення	277-360	5-5	297,2	5	0,983	0,017

Таблиця 3.60 - Параметри надійності ПФМ SuperPal

№	Функціональний модуль	Інтервали безвідмов- ної роботи, хв.	Тривалість віднов- лення, хв.	m _{ср}	m _{пр}	K _{Гі}	K _{вг}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Пристрій подачі та орієнтування тарного вантажу	400-440	6	420	6	0,986	0,014
2	Пристрій формування шару	400	5-7	400	6	0,985	0,015
3	Механізм горизон- тального переміщен- ня шару	380	3-6	380	4,5	0,988	0,012
4	Піднімально-опускний механізм для формування транс- портного пакету	440	3-4-9	440	5,5	0,987	0,013
5	Конвеєр подачі одиночного піддона до піднімально-опуск- ного механізму	360	5	360	5	0,986	0,014
6	Подача сформованого пакету відвідним конвеєром в зону скріплення	360	5-9	360	7	0,981	0,019

За результатами досліджень коефіцієнта готовності функціональних модулів ПФМ SAP-B/SAP-F встановлено, що найменш надійними є

функціональний модуль піднімально-опускного механізму для формування транспортного пакету (коефіцієнт відносної готовності $K_{вг} = 0,018$). Це можна пояснити тим, що під час формування транспортного пакету спостерігається періодичне порушення точності позиціонування товарних вантажів у шарі, який опускається на поверхню сформованого транспортного пакету і як наслідок часткове збільшення габаритів. Такий процес призводить до вимушених зупинок піднімально-опускного механізму або відповідного конвеєра під час подачі сформованого пакету в зону скріплення (коефіцієнт відносної готовності $K_{вг} = 0,017$). На основі отриманих даних визначено приведений коефіцієнт готовності ПФМ SAP-B/SAP-F:

$$K_{Г.М} = \left[1 + \left(\left(\frac{1}{0,987} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,983} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,990} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,982} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,986} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,983} - 1 \right) \right) \right]^{-1} = 0,917.$$

Результатами досліджень коефіцієнта готовності функціональних модулів ПФМ Super Pal встановлено, що найменш надійними є функціональні модулі: подачі сформованого пакету відповідним конвеєром у зону скріплення з коефіцієнтом відносної готовності $K_{вг} = 0,019$; пристрій формування шару з коефіцієнтом відносної готовності $K_{вг} = 0,015$.

Це зумовлено як певною недосконалістю конструкцій модулів щодо швидкості подачі сформованого пакету залежно від його структури та висоти відповідним конвеєром у зону скріплення.

Перераховані причини призводять до вимушених зупинок роботи обладнання. На основі отриманих даних визначено коефіцієнт готовності машини Supe Pal:

$$K_{Г.М} = \left[1 + \left(\left(\frac{1}{0,986} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,985} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,988} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,987} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,986} - 1 \right) + \left(\frac{1}{0,981} - 1 \right) \right) \right]^{-1} = 0,944.$$

Із врахуванням розрахованих коефіцієнтів готовності фактична продуктивність розглянутих зразків обладнання становить:

$$\text{ПФМ SAP-B/SAP-F: } Z_{\phi} = 0,917 \cdot 480 = 440,16 \text{ шарів/год};$$

$$\text{ПФМ SuperPal: } Z_{\phi} = 0,944 \cdot 400 = 377,6 \text{ шарів/год}.$$

У результаті виконаних досліджень, поряд із визначеними коефіцієнтами надійності ПФМ, встановлено, що для підвищення надійності та продуктивності ПФМ потрібно обґрунтувати раціональні параметри механізмів зіштовхування в функціональних модулях формування шару; механізмів переміщення в функціональних модулях формування транспортного пакету; механізмів переміщення сформованого пакету відвідним конвеєром в зону скріплення за умови реалізації різної продуктивності (швидкості).

Фактична продуктивність є технічною характеристикою ПФМ. Якісною ж характеристикою процесу формування транспортної тари є зведений коефіцієнт точності функціонування, який характеризує різницю між фактичною характеристикою технологічних параметрів робочого органу та заданих програмно.

Актуальним показником сьогодення для ПФМ є показник енерговитрат, який характеризує сукупність витраченої енергії на роботу функціональних модулів і визначається з урахуванням споживаної ними потужності.

Для вирішення задачі оцінки структури ПФМ використаємо метод пошуку Парето-ефективних рішень. Відповідно до відомої методики, сукупність перерахованих критеріїв ефективності утворює векторний (інтегральний) критерій оптимальності $F(X) = (f_1(Z_{\phi i}), f_2(K_{B\Gamma i}), f_3(\lambda_{zei}))$. При цьому розв'язання задачі оптимізації зводиться до задачі мінімізації кожного з часткових критеріїв в одній і тій же області допустимих значень D_x , тобто $D_x \in X$.

Всі варіанти структури обладнання для формування збільшених вантажних одиниць X^i з показниками відповідних критеріїв оптимальності

наведено в табл. 3.61.

Таблиця 3.61 - Значення критеріїв оптимальності для варіантів структур машини формування збільшених вантажних одиниць

Критерій	Варіант структури ПМ						
	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7
Похибка позиціонування: λ_{zg} , мм	1,05	1,13	1,24	1,19	1,31	1,35	1,12
Відносна готовність $K_{ВГ}$	0,019	0,01	0,011	0,022	0,016	0,017	0,020
Тривалість технологічного циклу T , с	52	43	54	46	49	48	50

Розрахунок інтегрального критерію оптимальності передбачає визначення його числових значень. Для кожного значення часткових критеріїв оптимальності задамося ваговими коефіцієнтами C_i . Для цього здійснимо присвоєння вагових коефіцієнтів за принципом наростання значень часткових критеріїв (табл. 3.62).

Підставивши відповідні дані з таблиць, одержимо інтегральні критерії оптимальності:

$$F(X^1) = \left(1 \frac{1,05}{1,05}\right) + \left(5 \frac{0,019}{0,011}\right) + \left(6 \frac{52}{43}\right) = 16,9;$$

$$F(X^2) = \left(3 \frac{1,13}{1,05}\right) + \left(4 \frac{0,018}{0,011}\right) + \left(1 \frac{43}{43}\right) = 10,78;$$

$$F(X^3) = \left(5 \frac{1,24}{1,05}\right) + \left(1 \frac{0,011}{0,011}\right) + \left(7 \frac{54}{43}\right) = 15,69;$$

$$F(X^4) = \left(4 \frac{1,19}{1,05}\right) + \left(7 \frac{0,022}{0,011}\right) + \left(2 \frac{46}{43}\right) = 20,67;$$

$$F(X^5) = \left(6 \frac{1,31}{1,05}\right) + \left(2 \frac{0,016}{0,011}\right) + \left(4 \frac{49}{43}\right) = 14,95;$$

$$F(X^6) = \left(7 \frac{1,35}{1,05}\right) + \left(3 \frac{0,017}{0,011}\right) + \left(3 \frac{48}{43}\right) = 17;$$

$$F(X^7) = \left(2 \frac{1,12}{1,05}\right) + \left(6 \frac{0,020}{0,011}\right) + \left(5 \frac{50}{43}\right) = 18,84.$$

Таблиця 3.62- Оцінка варіантів структур машини для формування збільшених вантажних одиниць за критеріями оптимальності

Критерій	Оцінки варіантів структур пакувальної машини						
	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7
Похибка позиціювання: λ_{zg} , мм	1	3	5	4	6	7	2
Відносна готовність, $K_{BГ}$	5	4	1	7	2	3	6
Тривалість технологічного циклу T , с	6	1	7	2	4	3	5

Розташування інтегрального критерію оптимальності кожного зразка машини для формування транспортного пакета відносно міні значення екстремуму наведено на рис. 3.53.

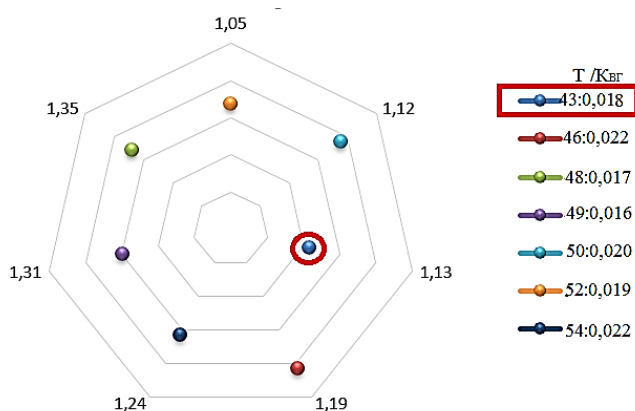


Рисунок 3.53 - Інтегральні критерії оптимальності параметричного ряду ПФМ

За результатами розрахунків визначено, що оптимальною є структура ПФМ за номером X^2 .

Висновки

1. Сформовані таблиці варіантів конструктивного виконання модулів на основі побудованих графів структури функціональних модулів машин пакування сипкої, в'язкої і пластичної продукції у споживчу упаковку,

групового пакування та формування збільшених вантажних одиниць.

2. В основу морфологічного аналізу прийнято морфологічну таблицю. Морфологічна таблиця дає можливість впорядкувати інформаційний масив даних та використати його для проведення подальших фундаментальних досліджень як інструмент ідентифікації новостворених пакувальних машин.

3. На основі морфологічного аналізу та таблиць альтернатив реалізації основних функцій розроблено комбінації конструктивних виконань функціональних модулів машин для пакування в'язких продуктів, групового пакування, формування збільшених вантажних одиниць.

4. Морфологічним аналізом встановлено, що найбільш типовою структурною схемою функціональних модулів машин групового пакування та формування збільшених вантажних одиниць є варіанти, які передбачають створення роботів та робототехнічних комплексів.

5. Встановлено, що під час проведення морфологічного синтезу пакувальних машин доречно використовувати функціональний підхід і як ознаки розглядаються функції елементів пакувальних машин, а альтернативними варіантами є можливі технічні рішення з реалізації функцій.

6. Запропонована послідовність автоматизованого морфологічного синтезу дає можливість виконати за допомогою комп'ютера вибір допустимих та найефективніших технічних рішень та сформувати для них ієрархічний опис.

РОЗДІЛ 4. БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ТА БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ТИПОВИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ

Багатопараметричну оптимізацію пакувальних машин та їх функціональних модулів можна виконувати різними методами. В цьому розділі наведено методику оптимізації параметрів пакувальної машини за принципом пошуку Парето-ефективних рішень та оптимізації параметрів функціонального модуля за інтегральним критерієм.

4.1 Багатопараметричний синтез типових функціональних модулів машин пакування сипкої продукції у споживчу тару

Складність структурної будови пакувальної машини та зростаюча різноманітність типорозмірів функціональних модулів робить знаходження оптимального варіанта компоновання машини досить трудомістким процесом. Ця задача ускладнюється ще більш тим, що потрібно розв'язувати багатокритеріальну або багатопараметричну задачу оптимізації структури пакувальної машини (ПМ). Така проблема зумовлює необхідність здійснювати процедури генерування варіантів компоновань ПМ та розрахунків по критеріям або параметрам оптимальності в автоматизованому режимі.

Для забезпечення цієї можливості та підвищення ефективності проєктування ПМ фахівцями із Луцького національного технічного університету розроблено спеціальну програму «Optimum-3D» в середовищі Delphi 7 [229], яка працює за принципом пошуку Парето-ефективних рішень [229 – 232] та дає можливість здійснювати пошук розв'язків задачі оптимізації у тривимірному просторі, розширюючи тим самим кількість критеріїв, з якими можна одночасно оцінювати компоновання ПМ.

За допомогою програми проєктант самостійно вводить початкові дані для розв'язання конкретної задачі, а саме: задає перелік функціональних модулів

та обирає критерії оптимальності для оцінювання ПМ.

Реалізацію методики розв'язання багатопараметричної задачі синтезу компонувань ПМ розглянемо на прикладі машини пакування сипкої харчової продукції у полімерні пакети [229]. За параметри оптимальності прийнято: вартість, надійність та енерговитрати. Цими параметрами можна характеризувати кожний прийнятий до розгляду функціональний модуль ПМ (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для автоматизованого розв'язку задачі багатопараметричного синтезу структури машини для пакування сипких харчових продуктів у полімерні пакети методом пошуку Парето-ефективних рішень

Назва ФМ		Позначення ФМ	Варіант конструкції ФМ	Параметри оптимізації			
				Споживана потужність (N) кВт	Енерговитрати (E), МДж	Надійність $K_{\text{вдг}}$	Вартість (v.)
1	2	3	4	5	6	7	8
Бункер	Зі зворушувачем	X ₁	X ₁₁	0	0	0,0101	730
	Без зворушувача		X ₁₂	0,5	1	0,0309	8200
Дозатор	Об'ємний	X ₂	X ₂₁	0,55	1,1	0,0101	11200
	Ваговий		X ₂₂	0,6	1,2	0,0101	14800
	Комбінаційний		X ₂₃	0,02	0,04	0,0101	1200
Механізм амортизації шпівки	Ролик, що обертається на осі	X ₃	X ₃₁	0,03	0,06	0,0204	1300
	Ролик, що рухається поступально		X ₃₂	0,06	0,12	0,0204	1400
	Ролик, встановлений на коливальному важелі		X ₃₃	0,04	0,08	0,0101	900
	Ролик, закріплений на рамі		X ₃₄	0	0	0,0204	600

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Механізм гальмування і зупинки плівки	Вакуумний	X ₄	X ₄₁	0	0	0,0101	350
Механізм гальмування рулону	Самозаклинювальні гальма	X ₅	X ₄₂	0	0	0,0204	640
	Дисковий		X ₅₂	0	0	0,0204	460
	Важільний		X ₅₃	0	0	0,0101	2540
Рукавоутворювач	Комірцевого типу	X ₆	X ₆₁	0	0	0,0101	2100
	Без комірця		X ₆₂	0,43	0,86	0,0204	9200
Пристрій поздовжнього зварювання	Зварний ролик	X ₇	X ₇₁	0,54	1,08	0,0101	9380
	Зварна губка		X ₇₂	0,35	0,7	0,0204	10100
Пристрій поперечного зварювання	Зварні губки (ЗГ)	X ₈	X ₈₁	0,47	0,94	0,0309	12040
	ЗГ з механізмом відрізання		X ₈₂	0,34	0,68	0,0309	13200
	ЗГ з механізмом протягування		X ₈₃	0,48	0,96	0,0204	11900
	ЗГ з вмонтованим дататором		X ₈₄	0,4	0,8	0,0204	14020
	ЗГ з механізмами протягування і відрізання		X ₈₅	0,43	0,86	0,0417	12500
	ЗГ з механізмом відрізання і вмонтованим дататором		X ₈₆	0,5	1	0,0526	13900
	ЗГ з механізмом протягування і вмонтованим дататором		X ₈₇	0,24	0,48	0,0757	14600
	ЗГ з механізмами протягування, відрізання і вмонтованим дататором		X ₈₈	0,25	0,5	0,0417	2300
Механізм протягування рукава	Парні ролики	X ₉	X ₉₁	0,2	0,4	0,0309	1800
	Парні сектори		X ₉₂	0,3	0,6	0,0204	2400
	Протяжні ремені		X ₉₃	0,1	0,2	0,0309	1470
Механізм відрізання	Відрізні ножі	X ₁	X ₁₀₁	0,2	0,4	0,0204	2100
	Відрізні ротори	0	X ₁₀₂	0,08	0,16	0,0204	2370

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Датувальний пристрій	Термодрукуючий	X ₁	X ₁₁₁	0,04	0,08	0,0101	3100
	Лазерного друку		X ₁₁₂	0,02	0,04	0,0309	3500
	Краплеструминного друку	1	X ₁₁₃	0	0	0,0101	730

Завдання багатопараметричної оптимізації полягає в знаходженні такого варіанту компонування ПМ, за якого будуть виконуватись усі технологічні операції, причому надійність ПМ буде максимально високою, а вартість і енерговитрати – максимально низькими. Оскільки по першому параметру маємо задачу максимізації, а по інших – мінімізації, то їх потрібно звести до функції мети з однаковим екстремумом.

Для забезпечення адитивності коефіцієнта готовності, яким доречно оцінювати параметр надійності, визначимо коефіцієнт відносної готовності $K_{вг}$ [233]:

$$K_{вг} = \frac{1 - K_{г}}{K_{г}},$$

де $K_{г}$ – коефіцієнт готовності.

Коефіцієнт відносної готовності адитивний для компонувань з послідовним виконанням технологічних операцій функціональними модулями ПМ.

Узагальнений граф зв'язків функціональних модулів у машині пакування сипких харчових продуктів у полімерні пакети наведено на рис.4.1.

Послідовність роботи з програмою оптимізації така.

На початку роботи програми з'являється головне вікно, за допомогою якого можна отримати доступ до її основних функцій, зокрема, за допомогою пункту меню «Файл» створити нову базу даних, відкрити вже існуючу, зберегти виконані зміни або ж завершити роботу з програмою.

Після вибору підпункту «Новий» відкривається діалогове вікно по створенню бази даних. В ньому потрібно вказати кількість функціональних

модулів, кількість варіантів конструкції кожного із заданого числа функціональних модулів, задати кількість параметрів (критеріїв), за якими буде проводитись оцінка, а також умовно позначити кожен із параметрів (критеріїв). Далі потрібно заповнити таблицю, що з'являється на екрані (рис. 4.2), відповідними значеннями критеріїв (параметрів) по кожному функціональному модулі, що позначені як E_{ij} .

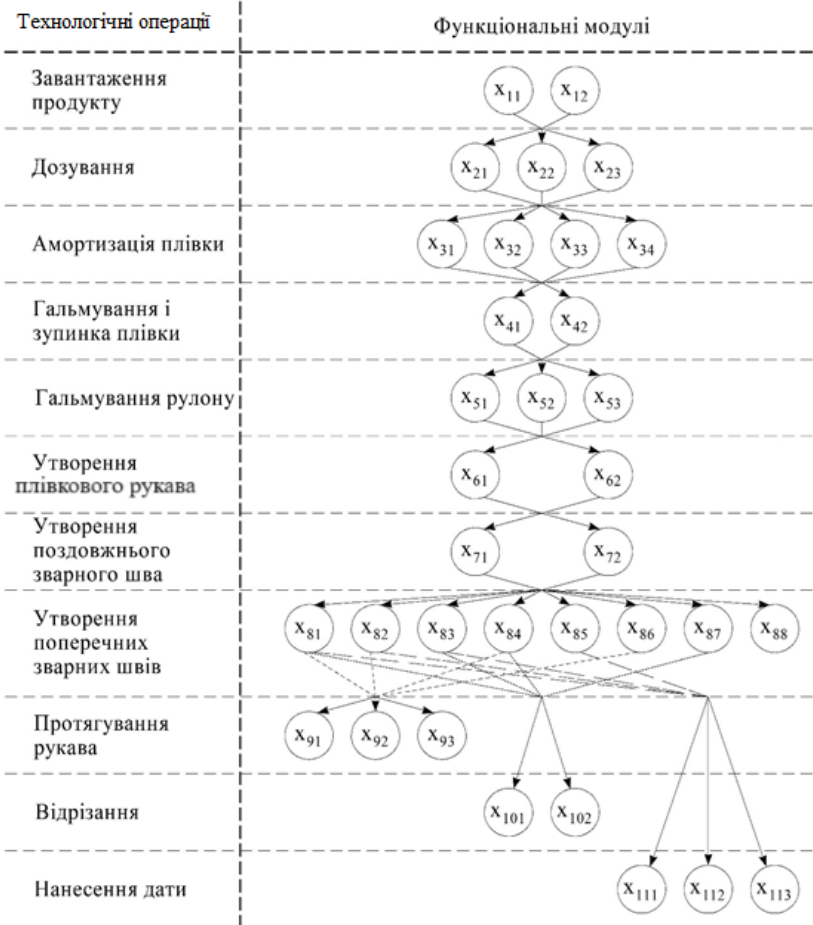


Рисунок 4.1 – Узагальнений граф зв'язків функціональних модулів у машині пакування сухих харчових продуктів у полімерні пакети

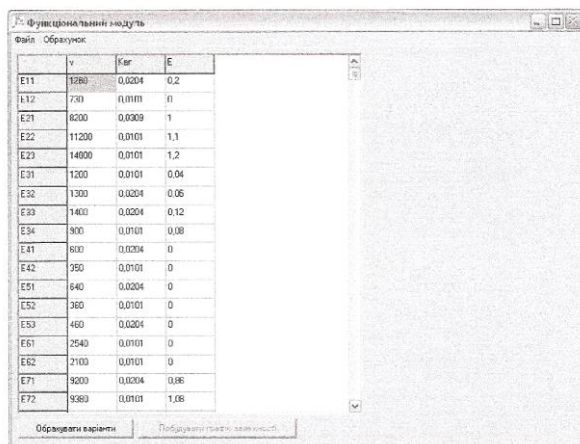


Рисунок 4.2 – Вікно вводу числових даних та обрахунку варіантів
(E в МДж, v в грн., K_{gr})

Якщо є вже готова база даних, то її можна завантажити в програму за допомогою меню «Файл – Відкрити»

Наступним кроком є зазначення логічних зв'язків між функціональними модулями. Під логічним зв'язком розуміють умову, яка включає можливість наявності у складі ПМ більше одного функціонального модуля, що виконує визначену функцію. Це має враховуватись при розгляді функціональних модулів, конструкція яких передбачає виконання, крім основної функції, і додаткової.

Тож, якщо серед ФМ є такі, що взаємозамінюються між собою, то їх можна вказати, виконавши такі дії:

- вибрати пункт меню «Обрахунок – Логічні зв'язки»;
- за допомогою випадаючих списків вибрати елементи (типорозміри ФМ), які несумісні між собою.

Після натискання кнопки «Обрахувати варіанти» в правій частині вікна програми з'явиться таблиця зі всіма результатами розрахунку (рис. 4.3), тобто сумами числових значень по кожному параметру (критерію), що відповідають певному варіанту розв'язку задачі.

Функціональний модуль

Файл Образуюнок

	v	Kar	E
E11	1350	0.0204	0.2
E12	730	0.0101	0
E21	9200	0.0309	1
E22	11200	0.0101	1.1
E23	14800	0.0101	1.2
E31	1200	0.0101	0.04
E32	1300	0.0204	0.06
E33	1400	0.0204	0.12
E34	900	0.0101	0.08
E41	600	0.0204	0
E42	350	0.0101	0
E51	640	0.0204	0
E52	360	0.0101	0
E53	460	0.0204	0
E61	2540	0.0101	0
E62	2100	0.0101	0
E71	9200	0.0204	0.86
E72	9380	0.0101	1.88

Образувати варіанти Побудувати графік залежності

	v	Kar	E
1	39880	0.2461	3.66
2	40610	0.2398	3.58
3	41010	0.2398	3.54
4	40510	0.2396	3.86
5	41240	0.2253	3.78
6	41640	0.2253	3.74
7	38380	0.2353	3.56
8	40110	0.225	3.48
9	40510	0.225	3.44
10	40010	0.2248	3.76
11	40740	0.2145	3.68
12	41140	0.2145	3.64
13	39980	0.2249	3.76
14	40710	0.2145	3.68
15	41110	0.2145	3.64
16	40610	0.2143	3.96
17	41340	0.204	3.88
18	41740	0.204	3.84
19	40350	0.2257	3.7

Рисунок 4.3 – Розрахунок варіантів виконання

Для наочного відображення результатів розрахунку потрібно натиснути кнопку «Побудувати графік залежності». У вікні, що відкривається, слід присвоїти осям координат потрібний діапазон значень. Для цього використовуються випадаючі списки, розміщені в лівому верхньому (вісь Z), лівому нижньому (вісь X) та правому нижньому (вісь Y) кутках вікна програми (рис. 4.4).

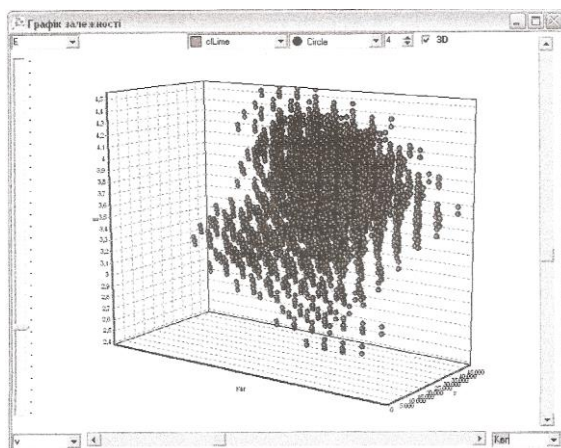


Рисунок 4.4 – Тривимірний графік залежності параметрів (критеріїв) оптимальності

Після виконання цих дій графік залежності має декартову систему координат, осі якої відповідають обраним критеріям оптимальності, а множина точок відображає значення критеріїв для того чи іншого варіанта структури машини.

При натисненні курсором на будь-яку точку ОДР з'являються її координати (сумарні числові значення по кожному з параметрів (критеріїв)) та перелік елементів (ФМ) по даному результату.

Для поділення тривимірного графіка на площині з можливістю перегляду кожної з них (рис. 4.5 – 4.7) потрібно зняти опцію 3D у верхній частині вікна. Щоб з'єднати потрібні точки (виділити Парето-множину) на графіку потрібно: викликати меню, вибрати пункт «Додати лінію», позначити потрібні точки на графіку, викликати меню і вибрати пункт «Завершити».

Множина Парето D_x^* на кожному з графіків є сукупність з'єднаних лініями точок, які займають крайнє ліве нижнє положення, що передбачено постановкою задачі.

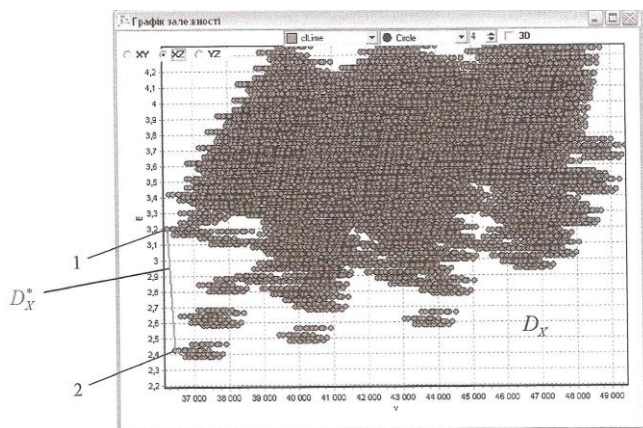


Рисунок 4.5 – Проекція ОДР та Парето-множини на площину “EV”, для якої варіанти структур становлять:

в т.1 – $\{E_{1.2}, E_{2.1}, E_{3.4}, E_{4.2}, E_{5.2}, E_{6.2}, E_{7.1}, E_{8.8}\}$,

в т.2 – $\{E_{1.2}, E_{2.1}, E_{3.1}, E_{4.2}, E_{5.2}, E_{6.2}, E_{7.1}, E_{8.8}\}$

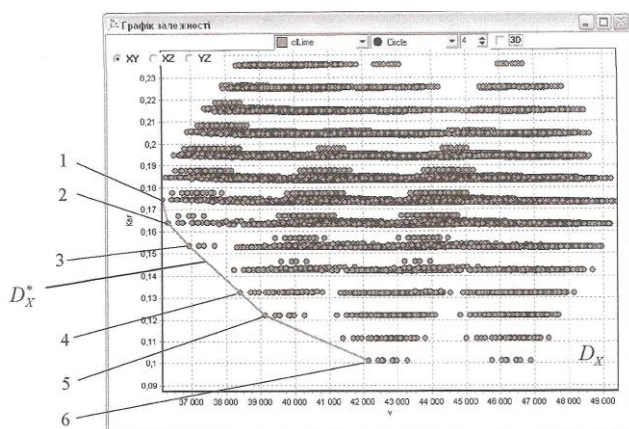


Рисунок 4.6– Проекція ОДР та Парето-множини на площину “Кв6 V”,
для якої варіанти структур становлять:

в т. 1 - $\{E_{12}, E_{21}, E_{34}, E_{42}, E_{52}, E_{62}, E_{71}, E_{86}, E_{92}\}$;

в т. 2 - $\{E_{12}, E_{21}, E_{34}, E_{42}, E_{52}, E_{62}, E_{72}, E_{86}, E_{92}\}$;

в т.3 - $\{E_{12}, E_{21}, E_{34}, E_{42}, E_{52}, E_{62}, E_{72}, E_{86}, E_{93}\}$;

в т.4 - $\{E_{12}, E_{21}, E_{34}, E_{42}, E_{52}, E_{62}, E_{72}, E_{85}, E_{111}\}$;

в т.5 - $\{E_{12}, E_{21}, E_{34}, E_{42}, E_{52}, E_{62}, E_{72}, E_{85}, E_{112}\}$;

в т.6 - $\{E_{12}, E_{22}, E_{34}, E_{42}, E_{52}, E_{62}, E_{72}, E_{85}, E_{112}\}$;

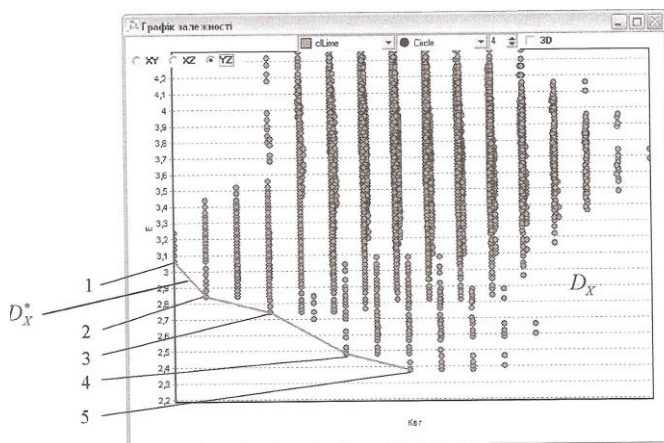


Рисунок 4.7 – Проекція ОДР та Парето-множини на площину “ЕК6г”, для
якої варіанти структур становлять:

в т. 1 - $\{E_{12}, E_{22}, E_{31}, E_{42}, E_{52}, E_{61}, E_{71}, E_{8,8}\}$,

в т. 2 - $\{E_{12}, E_{21}, E_{34}, E_{42}, E_{52}, E_{61}, E_{71}, E_{8,8}\}$;

в т.3 - $\{E_{12}, E_{21}, E_{32}, E_{42}, E_{52}, E_{61}, E_{71}, E_{8,8}\}$

Парето-множина звужує коло пошуку оптимального розв'язку, але не дає остаточного результату. Відповідно рис. 4.5 – 4.7, деякі точки Парето-множини проєктуються одразу на дві площини, тому сумарно вона налічує в собі сім точок із ОДР. Відповідно до цього варіанти структури пакувальної машини позначено X_i (табл.4.2).

Завданням дослідження є вибір кращого варіанта шляхом перебору точок, що належать множині Парето.

Таблиця 4.2 – Значення критеріїв оптимізації для варіантів структур машини для пакування сухих харчових продуктів у споживчу тару

Параметри (критерії)	Варіант структури ПМ						
	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7
Надійність (К _{вг})	0,2058	0,1845	0,2163	0,2098	0,2194	0,1876	0,1981
Енерговитрати (Е)	2,8515	2,2965	2,7915	2,6415	2,5815	2,7165	2,6565
Вартість (V)	44200	46260	44380	44740	44920	46800	46980

Для цього слід перейти до визначення інтегрального критерію оптимальності.

Відносно простим у даному випадку є пошук значень адитивного критерію оптимальності. Для їх визначення для кожного варіанту структури потрібно для кожного значення часткових параметрів (критеріїв) вибрати вагові коефіцієнти C_i . Здійснено присвоєння вагових коефіцієнтів за принципом наростання значень часткових параметрів (критеріїв) (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Оцінка варіантів структур пакувальної машини за критеріями оптимізації

Параметри (критерії)	Оцінки варіантів структур пакувальної машин						
	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7
Надійність (К _{вг})	3	1	5	4	6	2	7
Енерговитрати (Е)	6	7	5	2	1	4	3
Вартість (V)	1	5	2	3	4	6	7

Отже, підставивши у вираз:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n C_i \frac{f_i(x)}{f_i^o(x)} = \sum_{i=1}^n C_i f_i^*(x) \rightarrow \max(\min),$$

де n – кількість об'єднаних часткових параметрів (критеріїв); C_i – ваговий коефіцієнт i -го часткового параметра (критерію); $f_i(x)$ – значення i -го часткового параметра (критерію); $f_i^o(x)$ – i -й нормуючий дільник (максимальне (мінімальне)) значення i -го критерію в ОДЗ); f_i^* – нормоване значення i -го часткового параметра (критерію),

відповідні числові дані, одержимо:

$$F(X^1) = \left(3 \frac{0,2056}{0,1845}\right) + \left(6 \frac{2,8515}{2,5815}\right) + \left(1 \frac{44200}{44200}\right) = 10,97;$$

$$F(X^2) = \left(1 \frac{0,1845}{0,1845}\right) + \left(7 \frac{2,9265}{2,5815}\right) + \left(5 \frac{44260}{44200}\right) = 14,16;$$

$$F(X^3) = \left(5 \frac{0,2163}{0,1845}\right) + \left(5 \frac{2,7915}{2,5815}\right) + \left(2 \frac{44380}{44200}\right) = 13,27;$$

$$F(X^4) = \left(4 \frac{0,2089}{0,1845}\right) + \left(2 \frac{2,6415}{2,5815}\right) + \left(3 \frac{44740}{44200}\right) = 9,56;$$

$$F(X^5) = \left(6 \frac{0,2194}{0,1845}\right) + \left(1 \frac{2,5815}{2,5815}\right) + \left(4 \frac{44920}{44200}\right) = 12,1;$$

$$F(X^6) = \left(2 \frac{0,1876}{0,1845}\right) + \left(4 \frac{2,7165}{2,5815}\right) + \left(6 \frac{46800}{44200}\right) = 12,58;$$

$$F(X^7) = \left(7 \frac{0,1981}{0,1845}\right) + \left(3 \frac{2,6515}{2,5815}\right) + \left(7 \frac{46980}{44200}\right) = 18.$$

Із аналізу одержаних значень адитивного параметра (критерію) оптимальності встановлено, що оптимальною структурою ПМ є структура X^4 у складі:

$$X^4 = \{E_{1,1}, E_{2,3}, E_{3,1}, E_{4,1}, E_{5,1}, E_{6,1}, E_{7,1}, E_{8,8}\}.$$

Узагальнена блок-схема алгоритму програми «Optimum-3D» [232] наведена на рис. 4.8.

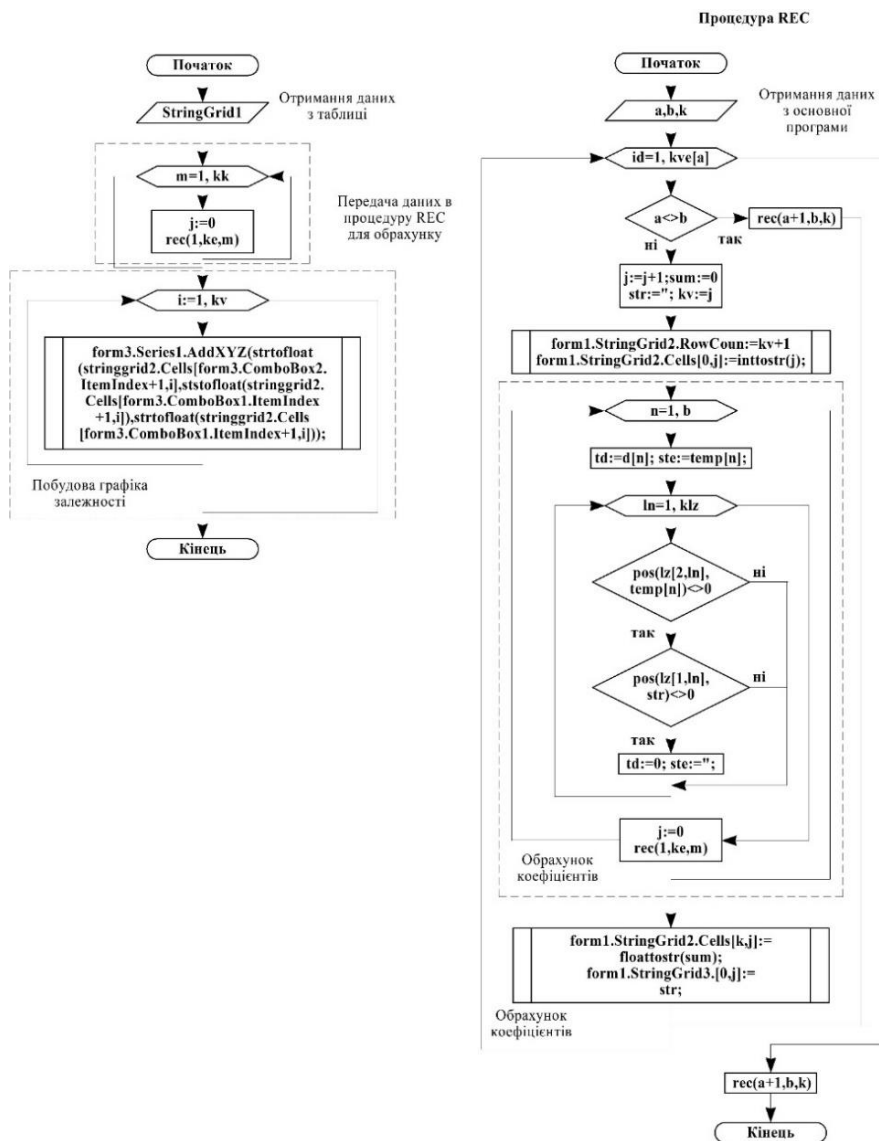


Рисунок 4.8 – Узагальнена блок-схема алгоритму розв'язування задачі оптимізації структури пакувальної машини

Наведена методика багатопараметричного (багатокритеріального) структурного синтезу може бути використана і для синтезу інших функціональних модулів машин.

4.2 Багатокритеріальний синтез типових функціональних модулів машин-автоматів пакування дрібно-штучних і штучних продуктів у споживчу тару

Одну з методологій багатокритеріального синтезу наведемо для функціонального модуля подачі рулонного пакувального матеріалу.

Оптимізація функціонального модуля подачі рулонного пакувального матеріалу проведена за граничними значеннями $P_{i(зад)}$, $OEE_{(зад)}$, $K_{БГ(зад)}$ відповідно: граничні значення критерію продуктивності; критерій загальної ефективності обладнання; коефіцієнт відносної готовності.

При застосуванні багатокритеріальної оптимізації використаємо інтегральний критерій із напрямом екстремуму:

$$F(x) = \{f_1(P_{\Phi i}); f_2(OEE_i), f_3(K_{БГ i})\}.$$

Тобто прийняті до розгляду критерії оптимальності об'єднуються в один інтегральний критерій та вказується напрям екстремуму.

Для отримання кінцевого варіанту ФМ використано метод пошуку оптимального варіанту структури, який базується на принципах: виділення множини домінуючих альтернатив і вибір середніх оптимальної та виключення ймовірності відсіювання потенційно більш ефективних варіантів у порівнянні з тими, які приймаються для подальшого розгляду [237-240]. Результати оптимізації ФМ наведено в таблицях 4.4 – 4.13 за технічною інформацією виробників пакувальних машин.

Відповідно рекомендацій [240, 241-245, 246-297], щодо задовільного значення ОЕЕ для функціональних модулів пакувальних машин та виконаних розрахунків рис. 4.8, табл. 4.4, можна визначити оптимальну компоновку пристрою фіксації рулону плівкового матеріалу у ФМ. Для пристрою

рулонотримача з електромеханічним гальмом X_{12} ОЕЕ = 81,9 %.

Значення ОЕЕ для пристроїв розмотування плівки ФМ наведено на рис. 4.9 та табл. 4.5 відповідно одержаних значень, оптимальною компоновкою буде пристрій розмотування із електромеханічним приводом. Для цього пристрою ОЕЕ = 83,8% (X_{21}).

Для пристрою гальмування рулону плівки оптимальним компонованням є пристрій із примусовим гальмуванням із електромеханічним приводом (рис.4.10, табл. 4.6). Для цього пристрою ОЕЕ = 90 % (X_{32}).

Для пристрою гальмування і зупинки стрічки плівки ФМ оптимальним компонованням є пристрій з вільно або примусово натягнутою петлею плівки та з електромеханічним приводом (рис. 4.11, табл. 4.7). Для цього варіанту пристрою ОЕЕ = 92 % (X_{41}).

Для пристрою регулювання натягу плівки пакувального матеріалу ФМ оптимальним компонованням є варіант пристрою із гальмуванням стрічки на периферії рулону пакувального матеріалу (рис. 4.12, табл. 4.8). Для цього пристрою ОЕЕ = 91,0 % (X_{51}).

Для пристрою амортизації (накопичення) плівки ФМ оптимальним компонованням є варіант пристрою із електромеханічним приводом та примусовим натягуванням петлі плівки рулонного матеріалу (рис. 4.13, табл.4.9). Для цього пристрою ОЕЕ = 88,2 % (X_{61}).

Для пристрою компенсування плівки при зміні режиму роботи ФМ оптимальним компонованням є варіант пристрою із електропневматичним приводом на основі безштокового пневмоциліндра (рис. 4.14, табл. 4.10). Для цього пристрою ОЕЕ = 93,5 % (X_{72}).

Для пристрою контролю наявності продукції і блокування подачі плівки оптимальним компонованням є варіант пристрою із п'єзоелектричним елементом BTL5 (Balluff) стеження (рис. 4.16, табл. 4.12). Для цього пристрою ОЕЕ = 93,5 % (X_{83}).

Для пристрою контролю запасу плівки в рулоні оптимальним компонуванням є варіант пристрою із п'єзоелектричним елементом BTL5 (Balluff) стеження (рис. 4.16, табл. 4.11). Для цього пристрою OEE = 90,9 % (X_{92}).

Для пристрою контролю подачі плівки у ФМ₁ оптимальним компонуванням є варіант пристрою з оптичним елементом регулювання бокового місцеположення плівки (рис. 4.17, табл. 4.13). Для цього пристрою OEE = 92,3 % ($X_{10.3}$).

Для пристрою автоматичної заправки та подачі плівки від кількох рулонів в ФМ₁ є варіант пристрою із електропневматичним приводом (рис. 4.18, табл. 4.14). Для цього пристрою OEE = 91,1 % ($X_{11.2}$).

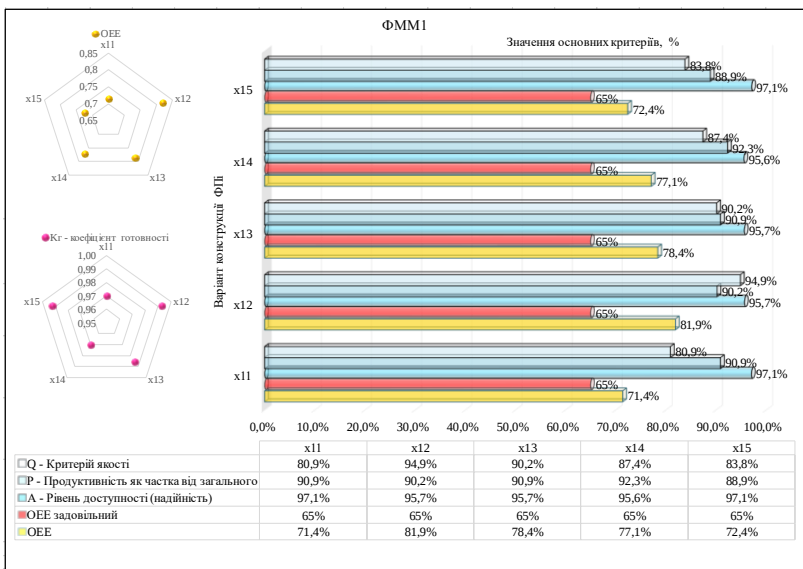


Рисунок 4.8 - Гістограма критеріальної оцінки пристрою фіксації рулону плівкового пакувального матеріалу у складі ФМ1

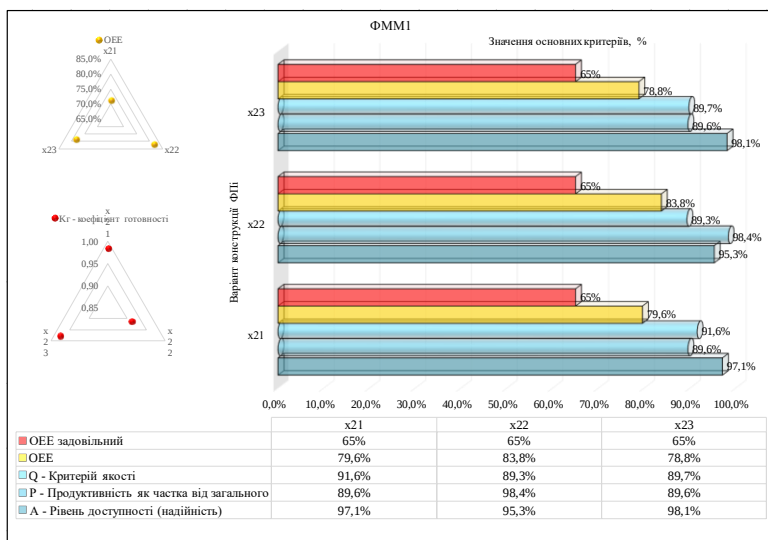


Рисунок 4.9 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою - розмотування рулону плівкового пакувального матеріалу у складі ФМ1

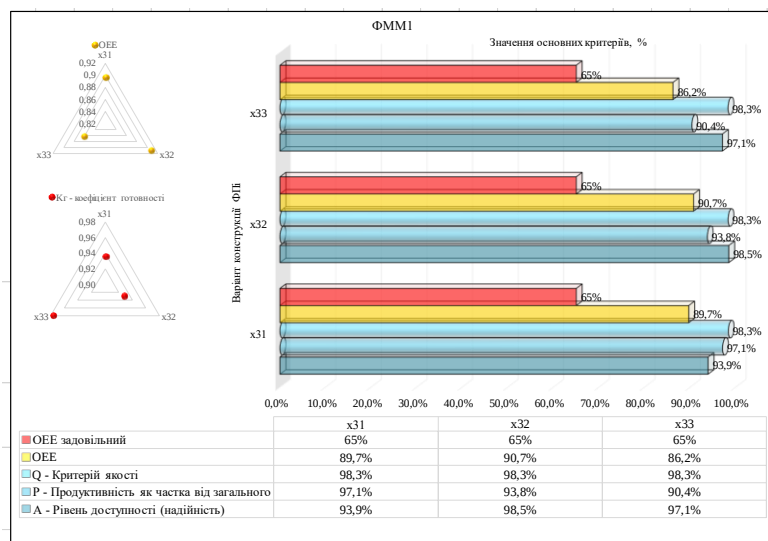


Рисунок 4.10 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою гальмування рулону плівкового пакувального матеріалу у складі ФМ1

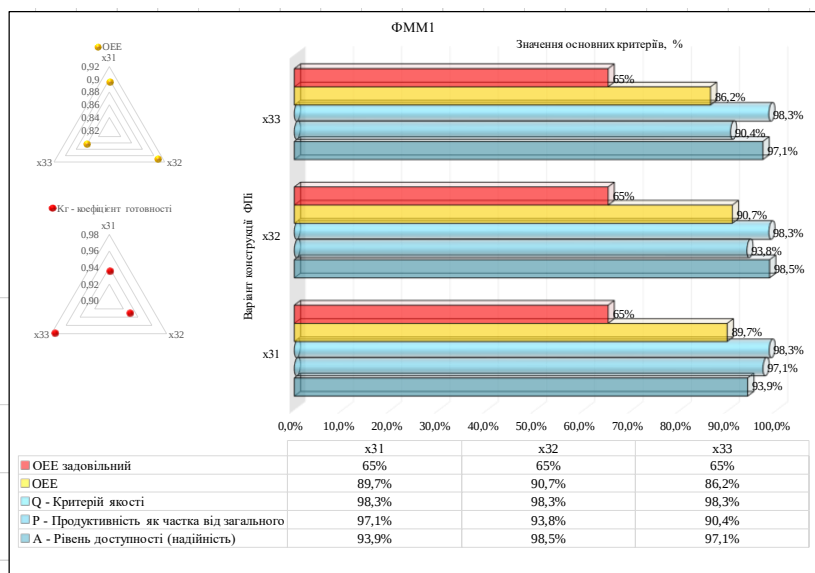


Рисунок 4.11 –Гістограма критеріальної оцінки пристрою гальмування і зупинка стрічки плівки пакувального матеріалу у складі ФМ1

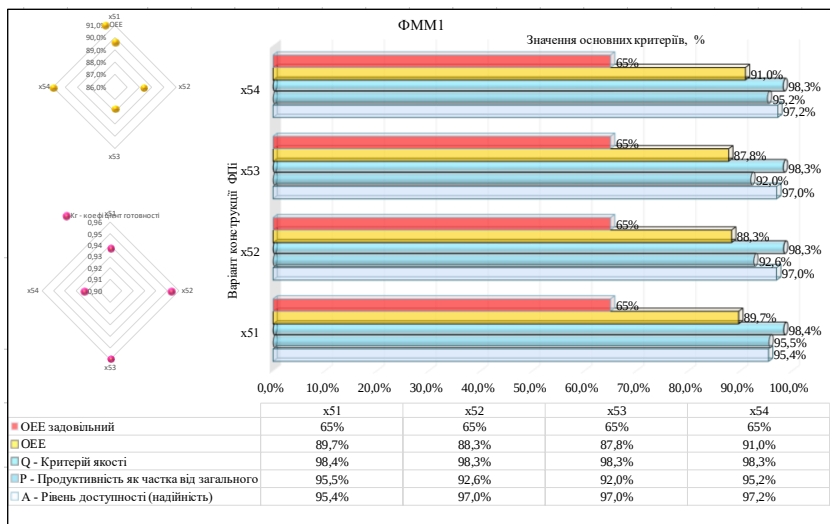


Рисунок 4.12 –Гістограма критеріальної оцінки пристрою регулювання натягу плівки стрічки плівки пакувального матеріалу у складі ФМ1

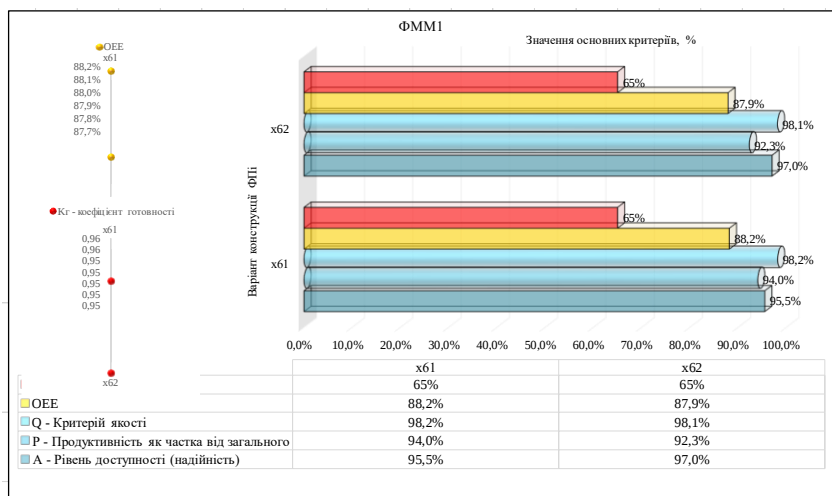


Рисунок 4.13 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою амортизації плівки пакувального матеріалу. у складі ФМ1 -

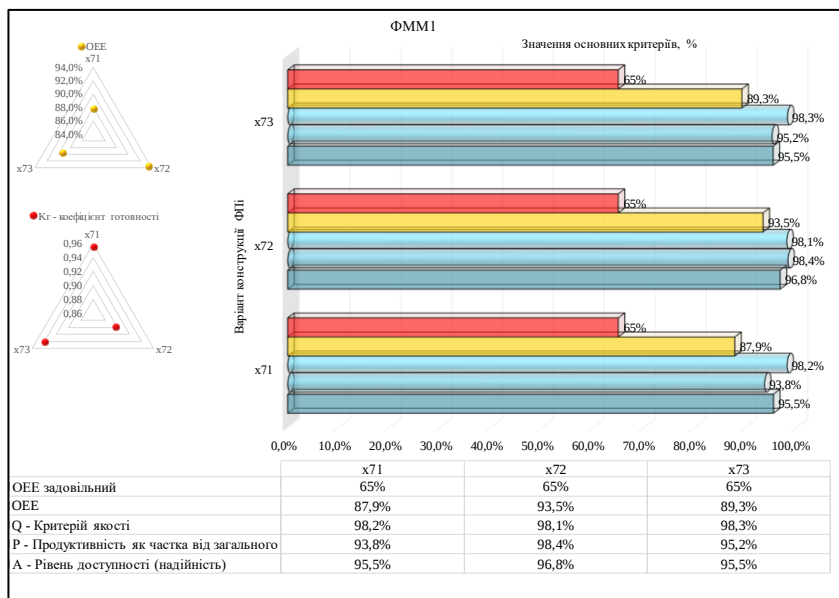


Рисунок 4.14 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою компенсування плівки під час зміни режиму роботи ФМ1

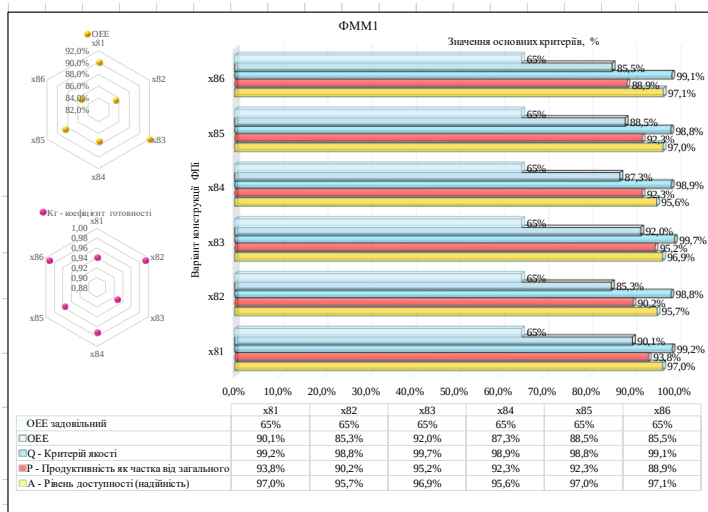


Рисунок 4.15 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою контролю наявності продукції і блокування подачі плівки у складі ФМІ

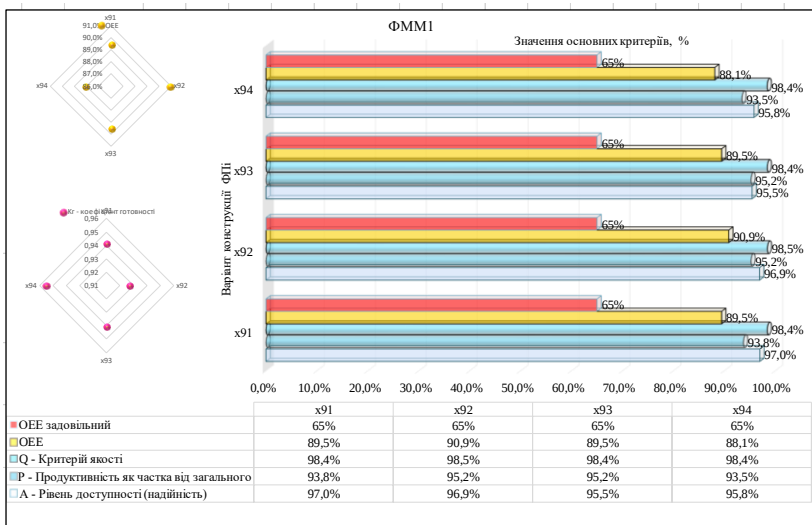


Рисунок 4.16 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою контролю запасу плівки в рулоні у складі ФМІ

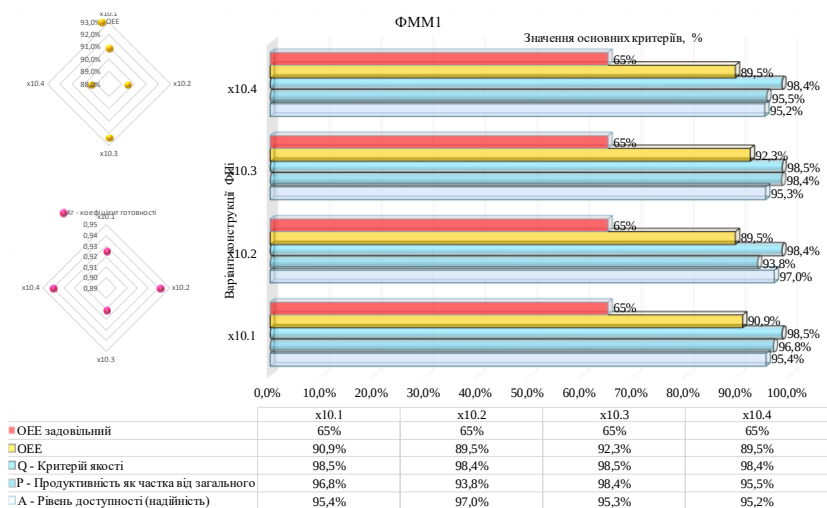


Рисунок 4.17 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою контролю подачі плівки у складі ФМІ

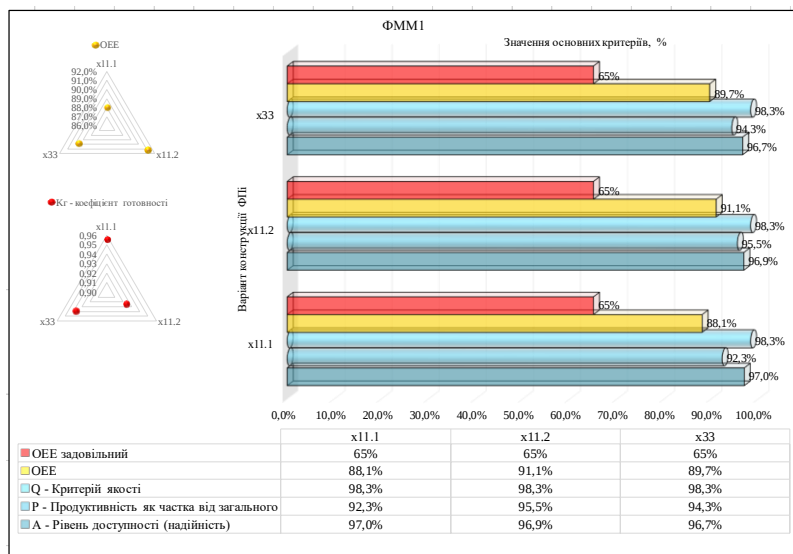


Рисунок 4.18 – Гістограма критеріальної оцінки пристрою автоматичної заправки та подачі плівки від кількох рулонів у складі ФМІ -

Таблиця 4.4 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₁ у складі досліджуваного ФММ податі рулонного пакувального матеріалу для технологічного переходу - фіксація рулону плівкового пакувального матеріалу

	Назва технологічного процесу ФММ	Елемент ФПС	Елементи ФПС від виробника "Паксвалан" технолог	Спосіб податі плівки	фактична кількість годин роботи з дефектами (за операційний час ОТ)	ТФ - максимальна продуктивність (тактів/год за операційний час)	Тз - Загальний час роботи, тактів/год	DTL - Час запланованого виходу за технологією (задня рулона), год	DTL - Незапланований вихід за технологією/год	OT - Операційний час	IKP - Ідеальна норма тактів в одиницю часу (тактів/год)	А - Рівень доступності (надійності)	Р - Продуктивність як частка від запланованого	Q - Купити якість	OEE	Кг - коефіцієнт готовності	Квт - коефіцієнт готовності	Ті - середня прива́лність роботи між відновленнями	Мф - напарювання до відмови 1-го пристрою, год	мт - кількість відмов	th - час відновлення 1-го пристрою, год	Кг- коефіцієнт готовності Кюновірський	Пф - фактична продуктивність (тактів/год)	OEE запланований	OEE контрольний
1	x1 - Фіксація рулону плівкового пакувального матеріалу	x11	пристрій - стандартний вал корпусолодбний із фіксованою фіксаційним гальмом	пороковий з рулоном	3	540	70	2	2	66	9	97,1%	90,9%	80,9%	71,4%	0,97	0,03	0,5	6	12	2	0,20	524	65%	65%
2		x12	пристрій рулоноотримач з електроприводним гальмом	пороковий з рулоном	3	2400	70	0,5	3	66,5	40	95,7%	90,2%	94,9%	81,9%	0,99	0,01	8	32	4	3	0,73	2382	65%	65%
3		x13	модульний пристрій із змінюваними електромагнітними фіксаторами	пороковий з рулоном	10	1320	70	1	3	66	22	95,7%	90,9%	90,2%	78,4%	0,99	0,01	8,6	43	5	5	0,63	1300	65%	65%
4		x14	модульний пристрій рулоноотримача з пневматичним гальмом	пороковий з рулоном	6	840	70	2	3	65	14	95,6%	92,3%	87,4%	77,1%	0,97	0,03	3,5	28	8	3	0,54	815	65%	65%
5		x15	пристрій рулоноотримач рулоноу із пневматичним або пневматичним і електропневматичними фіксаторами	пороковий з рулоном	10	600	70	0,5	2	67,5	10	97,1%	88,9%	83,8%	72,4%	0,99	0,01	7,5	30	4	2	0,79	596	65%	65%

Таблиця 4.5 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₂ у складі досліджуваного ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу для технологічного переходу - розмотування рулону

Елемент ФПС	Елемент ФПС від виробника "Пакувальні технології"	Спосіб подачі півніки	фактична продуктивність роботи ФПС без дефектів за фактичний час (об/год)	фактична кількість годин роботи з дефектами (за операційний час (ОТ))	TP - максимальна продуктивність (об/год за операційний час)	Tз - Загальний час роботи, год	DTL ₁ - Час запланованого висоту за технологією (заміна рулона), год	DTL ₂ - Незапланований висіт за технологією, год	OT - Операційний час	IRR- Іскальна норма роботи в одиницю часу (об/хв)	A - Рівень доступності (надійність)	P - Продуктивність як частка від запланованого	Q - Критерій якості	OEE	Kt - коефіцієнт готовності	Ktg - коефіцієнт готовності між відмовами	Tt - середня тривалість роботи між відмовами	Sd - напруження до відмови t-го пристрою, год	mt - кількість відмов	tw - час відновлення t-го пристрою, год	Kg- коефіцієнт готовності ймовірний	Пфй - фактична продуктивність (об/год)	OEE запланований	OEE контрольний
x21	Примусовий пристрій електромеханічний (Асинхронний мотор-редуктор Алтера МСА1040 «ПТІПАК 1005M»)	Безперервно з рулону	20000	3	237000	70	1	2	67	3950	97,1%	89,6%	91,6%	79,6%	0,99	0,01	14	14	1	2	0,88	233515	65%	85%
x22	Примусовий пристрій комбінований електромеханічний - електромеханічний (GSP 75 EVO)	Безперервно з рулону	15990	9	150000	70	6	3	61	2500	95,3%	98,4%	89,3%	83,8%	0,91	0,09	7	7	2	2	0,78	136567	65%	85%
x23	Примусовий пристрій пневматичний (подвійний пневматичний FAST 01 Later Packaging	Безперервно з рулону	3690	2	36000	70	1,7	1,3	67	600	98,1%	89,6%	89,7%	78,8%	0,98	0,02	6	10	2	2,5	0,71	35109	65%	85%

Таблиця 4.6 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₃ у складі досліджуваного ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу для технологічного переходу - гальмування рулону

	Назва технологічного переходу ФММ	Елемент ФП	Елемент ФП від виробника	Спосіб подачі палива	фактична продуктивність роботи ФП без дефектів за встановлений час циклу (такт/год)	фактична кількість годин роботи з дефектами (за операційний час ОТ)	TP - максимальна продуктивність (такт/год за операційний час)	Tз - загальний час роботи, год	DTL - Час запланованого вистопу за технологією (задня рулона), год	DTL - Незапланований вистоп за технологією	OT - Операційний час	IRK - Іскальна норма роботи в одиницю часу (такт/хв)	A - Рівень доступності (надійність)	P - Продуктивність як частка від загального	Q - Критерій якості	OEE	Kг - коефіцієнт готовності	Kгп - коефіцієнт готовності між візками	T1 - середня тривалість роботи між візками	Sd - напруження до візковий і-го пристрою, год	mi - кількість візков	iv - час відновлення і-го пристрою, год	Kг - коефіцієнт готовності вимирінсний	Пфп - фактична продуктивність (такт/год)	OEE задовільний	OEE контрольний
1	x3-І-гальмування рулона	x31	стрічковий (STN-8500)	по тактам циклу формування улавокки	140,4545	8,2	9000	70	4,2	4	61,8	150	93,9%	97,1%	98,3%	89,7%	0,94	0,06	12	6	4	1,5	0,89	8427	65%	85%
2		x32	фривційний HDL-450-XSS (2 плематичних фривційних пла намотування з несласимим фривційним шириною 2,5 м)	по тактам циклу формування улавокки	60,28986	6	3900	70	5	1	64	65	98,5%	93,8%	98,3%	90,7%	0,93	0,07	7	7	2	2	0,78	3617	65%	85%
3		x33	еплектронеманий із притисалим рулком HDL-450(OT (невозмоетний пристрій 716 PK)	по тактам циклу формування улавокки	68,35294	3,6	4200	70	1,6	2	66,4	70	97,1%	90,4%	98,3%	86,2%	0,98	0,02	12	8	4	3,3	0,78	4101	65%	85%

Таблиця 4.7 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС_компенсування плівки при зміні режиму роботи (дискретний, безперервний)робочих органів у складі досліджуваного ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу, для технологічного переходу - гальмування і зупинка стрічки плівки

	Назва технологічного переходу ФММ	Елемент ФПС	Елемент ФПС_зді виробника "Пакувальні технології"	Спосіб подачі плівки	фактична кількість тактів роботи ФПС без дефектів за фактична кількість тактів роботи з дефектами (за оперативний час ОТ)	TP - максимальна продуктивність (такт/год за оперативний час)	Тз - Загальний час роботи, такт/год	DTL" - Час запланованого вистопу за технологією (вміння рулоном), год	DTL" - Незапланований вистоп за технологією, год	OT - Оперативний час	IRR - Ідеальна норма тактів в одиницю часу (такт/хв)	A - Рівень застосовності (надійність)	P - Продуктивність, як частка від встановлено	Q - Критерій якості	OEE	Kt - коефіцієнт готовності	Kop - коефіцієнт готовності	Т1 - середня тривалість роботи між вимовами	М1 - напрацювання до вимоги 1-го пристрою, год	m1 - кількість вимог	m - час встановлення 1-го пристрою, год	Kg - коефіцієнт готовності вкранівний	Нфп - фактична продуктивність (такт/год)	OEE заплановний	OEE фактичний
1		x41	електропневматичний пристрій з кількох або примусово нагнітаною лентою матеріалу	покроковий з рулоном	36,512	7,2	2400	70	6	62,8	40	98,1%	95,5%	98,2%	92,0%	0,91	0,09	1,333	8	6	6	0,18	2191	65%	85%
2		x42	електромеханічний багатопотіпний пристрій із кількома роликми	покроковий з рулоном	39,701	3,5	2400	70	0,5	66,5	40	95,7%	90,2%	98,2%	84,8%	0,99	0,01	3	9	3	7	0,30	2382	65%	85%
3		x43	гидравлічний пристрій із жидкістю, призначений для електроприводом фіксаторами	покроковий з рулоном	38,235	5	2400	70	3	65	40	97,0%	92,3%	98,2%	87,9%	0,96	0,04	3,333	10	3	6	0,36	2294	65%	85%
4		x44	пневматичний перетягуючий записки	покроковий з рулоном	38,235	5	2400	70	3	65	40	97,0%	92,3%	98,2%	87,9%	0,96	0,04	1,25	5	4	6	0,17	2294	65%	85%
5		x45	вакуумний записки	покроковий з рулоном	38,471	4,6	2400	70	2,6	65,4	40	97,0%	91,7%	98,2%	87,4%	0,96	0,04	2,667	8	3	9	0,23	2308	65%	85%

Таблиця 4.8 – Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₅ у складі досліджуваного ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу, для технологічного переходу - регулювання натягу плівки

	Назва технологічного переходу ФММ	Елемент ФП	Елемент ФП від виробника "Пласмаліт" технологічний	Спосіб подачі плівки	фактична кількість тактів роботи ФП без зупинки на встановлений час (тактів за год)	фактична кількість годин роботи з перестановкою операційний час (ОТ)	ТР - максимальна продуктивність (тактів/год за операційний час)	Тз - загальний час роботи, тактів/год	DПТ ₁ - Час запланованого вистопу за технологією (зміна рулонів), год	DПТ ₂ - - Незапланований вистоп за технологією, год	ОТ - Операційний час	IRR- Ідеальна норма тактів в одиницю часу (тактів/хв)	А - Рівень доступності (надійність)	Р - Продуктивність, як частка від запланованого	Q - Критерій вартості	OEE	Kт - коефіцієнт готовності	Kоп - коефіцієнт готовності між вмісками	Nз - напрацювання до вміскові 1-го пристрою, год	mі - кількість вмісков	n - час відновлення 1-го пристрою, год	Kз- коефіцієнт готовності вміскові	Цфз - фактична продуктивність (тактів/год)	OEE заовільнений	OEE контрольний	
4	x5-Регулювання натягу плівки	x51	пристрій електромеханічний з постійним гальмівним моментом	безперервне	140,6	7,2	9000	70	4,2	3	62,8	150	95,4%	95,5%	98,4%	89,7%	0,94	0,06	2,667	8	3	2	0,57	8436	65%	85%
		x52	пристрій пневматичний з змінним плетем гальмування	безперервне	114,35	5,2	7200	70	3,2	2	64,8	120	97,0%	92,6%	98,3%	88,3%	0,95	0,05	3,667	11	3	3	0,55	6861	65%	85%
		x53	пристрій комбінований з електромеханічний з гальмуванням колодкою на периферії рулону	безперервне	67,118	4,8	4200	70	2,8	2	65,2	70	97,0%	92,0%	98,3%	87,8%	0,96	0,04	3	6	2	7	0,30	4027	65%	85%
		x54	пристрій з пневматичним гальмуванням стрічкою на периферії	безперервне	55,425	7	3600	70	5,2	1,8	63	60	97,2%	95,2%	98,3%	91,0%	0,92	0,08	2,25	9	4	4	0,36	3326	65%	85%

Таблиця 4.9 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₆ у складі досліджуваного ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу, для технологічного переходу – амортизація плівки пакувального рулонного матеріалу

1	2	Назва технологічного переходу ФММ	Елемент ФП	Елемент ФП від виробника	Спосіб подачі плівки	фактична продуктивність роботи ФП1 без дефектів за фактична кількість годин роботи з дефектами (за операційний час ОТ)	TP - максимальна продуктивність (такт/год за операційний час)	T1 - Загальний час роботи, год	DTL' - Час завантаженого вистоя за технологією (задня рулона), год	DTL'' - Незавантажений вистоя за технологією, год	OT - Операційний час	IRK - Іскальна норма роботи в одиницю часу (такт/хв)	I - Рівень доступності (надійність)	P - Продуктивність, як частка від загального	Q - Критерій якості	OEE	Kг - коефіцієнт готовності	Kвт - коефіцієнт готовності	T1 - середня тривалість роботи між відмовами	Sd - направлення до відмови і-го пристрою, год	m1 - кількість відмов	tw - час відновлення і-го пристрою, год	Kг- коефіцієнт готовності ймовірнісний	Пф1 - фактична продуктивність (такт/год)	OEE загальний	OEE контрольний
1	2	х6-амортизація плівки	х61	Електромагнітний пристрій для притискувального нагнітання пелі	по тактам циклу формування упаковки	30,99403	6,2	2520	70	3,2	63,8	42	95,5%	94,0%	98,2%	88,2%	0,95	0,05	12	3	3	3	0,80	2400	65%	85%
2			х62	пневматичний пристрій для притискувального нагнітання пелі	по тактам циклу формування упаковки	30,58824	5	1920	70	3	65	32	97,0%	92,3%	98,1%	87,9%	0,96	0,04	10	4	4	3	0,77	1835	65%	85%

Таблиця 4.11 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₈ у складі досліджуваного ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу, для технологічного переходу – контроль наявності продукції і блокування по дачі стрічки

Наша технологічного переходу ФММ		Елемент ФПС	Елемент ФПС від виробника "Пакуювальні технології"	Середня кількість тактів роботи ФПС без дефектів за фактичний час (такти в хв)	фактичний час (такти в хв)	фактична кількість тактів роботи з дефектами (за фактичний час (т))	TF - максимальна продуктивність (такт/год за операційний час)	T1 - Загальний час роботи, такт/год	D1T1 - Час запланованого виступу в технологічному (такти рулон), год	D1T1 - Незапланований виступ за технологічного год	OT - Операційний час	IR - Ізольована норма - частота випусканих (такт/хв правих і л)	A - Рівень доступності (надійність)	P - Продуктивність, як частка від запланованого	Q - Коефіцієнт якості	OEE	Kg - коефіцієнт готовності	Кит - коефіцієнт готовності	Пі - середня привабливість роботи між відновленнями	Si - напруження до відновлення 1-го пристрою, год	mi - кількість відновлення 1-го пристрою, год	ti - час відновлення 1-го пристрою, год	Kg - коефіцієнт готовності і вивантаження	Пф - фактична продуктивність (такт/год)	OEE запланований	OEE контрольний
1	x81		Ультразвуковий пристрій з датчиком безпакувального типу BUS-004Z (Bahuf)	Беларусь	360	6	43200	70	4	2	64	720	97,0%	93,8%	99,2%	90,1%	0,94	0,06	2	6	3	2	0,50	40659	65%	85%
2	x82		електромонтажний пристрій (B416 P1 236231 - 55923 XEA3)	Беларусь	245,11	3,5	21600	70	0,5	3	66,5	360	95,7%	90,2%	98,8%	85,3%	0,99	0,01	6,4	32	5	3	0,68	21439	65%	85%
3	x83		пелюстковий пристрій B415 (Bahuf)	Беларусь	384	7	115200	70	5	2	63	1920	96,9%	95,2%	99,7%	92,0%	0,93	0,07	0,5	6	3	2	0,20	106729	65%	85%
4	x84		емісійний датчик BC-S0MR (Bahuf)	Беларусь	3907	5	360000	70	2	3	65	6000	95,6%	92,3%	98,9%	87,3%	0,97	0,03	5,6	28	5	3	0,65	349254	65%	85%
5	x85		фотоелектричний датчик BOS 12M (Bahuf)	Беларусь	8571,4	5	720000	70	3	2	65	12000	97,0%	92,3%	98,8%	88,5%	0,96	0,04	5	30	6	2	0,71	688235	65%	85%
6	x86		лінійний датчик безпакувального типу	Беларусь	133,33	2,5	14400	70	0,5	2	67,5	240	97,1%	88,9%	99,1%	85,5%	0,99	0,01	7,5	30	4	6	0,56	14294	65%	85%

Таблиця 4.13 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₁₀ у складі досліджуваного ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу, для технологічного переходу – контроль подачі плівки

Назва технологічного переходу ФММ	Елемент ФПС	Елемент ФПС від виробника "Пакувальні технології"	Є особі подачі плівки	фактична кількість тактів роботи ФПС без дефектів за фактичний активований час (тактів за год)	фактична кількість годин роботи з дефектами (за операційний час ОТ)	TP - максимальна продуктивність (тактів/год за операційний час)	T ₁ - Загальний час роботи, тактів/год	DTL ₁ - Час запланованого вистопу за технологією (такий р/лом), год	DTL ₂ - Незапланований вистопу за технологією, год	OT - Операційний час	IRK - Ісальна норма - частота випутвання (тактів/враховні Іп)	А - Рівень доступності (надійність)	Р - Продуктивність вв частота від заданого	Q - Критерій якості	OEE	Кг - коефіцієнт готовності	Кнг - коефіцієнт готовності	T1 - середня тривалість роботи між відмовами	M1 - напрацювання до відмови І-го пристрою, год	m1 - кількість відмов	m2 - кількість відмов І-го пристрою, год	Кг - коефіцієнт готовності вконтрпінний	Пфп - фактична продуктивність (тактів/год)	OEE задовільний	OEE контрольний
1	x10.1	пристрій підсилення з датчиком магнітного типу	безперервне	5552,2	8	360000	70	5	3	62	6000	95,4%	96,8%	98,5%	90,9%	0,93	0,07	2,667	8	3	2	0,57	333134	65%	85%
2	x10.2	пристрій підсилення з датчиком безконтактного типу	безперервне	30118	6	1920000	70	4	2	64	32000	97,0%	93,8%	98,4%	89,5%	0,94	0,06	2,75	11	4	3	0,48	1807059	65%	85%
3	x10.3	оптичний пристрій регулювання бачогого місцезнаходження полотна	безперервне	14567	9	960000	70	6	3	61	16000	95,3%	98,4%	98,5%	92,3%	0,91	0,09	2	6	3	4	0,33	874030	65%	85%
4	x10.4	оптичний пристрій регулювання бачогого місцезнаходження полотна	безперервне	22563	7,2	1440000	70	4	3,2	62,8	24000	95,2%	95,5%	98,4%	89,5%	0,94	0,06	1,5	9	6	3	0,33	1353772	65%	85%

Таблиця 4.14 - Результати багатокритеріальної оцінки окремих ФПС₁₁ у складі досліджуваного ФММ податі рулонного накувального матеріалу, для технологічного переходу – автоматична правка та подача плівки від кількох рулонів

	Назва технологічного процесу ФММ	Елемент ФП	Елемент ФП від виробника	Співб податі плівки	фактична продуктивність роботи ФП без дефектів за встановлений час циклу (такт/год)	фактична кількість годин роботи з дефектами (за операційний час ОТ)	TP - максимальна продуктивність (такт/год за операційний час)	T ₁ - Заявлений час роботи, год	DTL ₁ - Час запланованого виступу за технологією (задня рулона), год	DTL ₂ - Незапланований виступ за технологією, год	OT - Операційний час	IRK - Ідеальна норма роботи в одиницю часу (такт/хв)	Δ - Різниця доступності (наадність)	P - Продуктивність як частка від запланованого	Q - Критерій якості	OEE	K _г - коефіцієнт готовності	K _м - коефіцієнт готовності	T ₁ - середня тривалість роботи між відмовами	St - напруження до відмови t-го пристрою, год	m - кількість відмов	tv - час відновлення t-го пристрою, год	K _г - коефіцієнт готовності вкюмрієний	Пф - фактична продуктивність (такт/год)	OEE запланований	OEE контрольний
1	X11-Автоматична правка та подача плівки від кількох рулонів	x11.1	електромеханічний пристрій зміни рулону на холу машини за допомогою рулонної зарядки з одним променем	по тактам циклу формування упаковок	114,7059	5	7200	70	3	2	65	120	97,0%	92,3%	98,3%	88,1%	0,96	0,04	12	3	2	1.5	0.89	6882	65%	85%
2		x11.2	електроопереміаційний двофазний пристрій	по тактам циклу формування упаковок	87,73529	7,2	5700	70	5,2	2	62,8	95	96,9%	95,5%	98,3%	91,1%	0,92	0,08	7	5	4	2	0,78	5264	65%	85%
3		x33	пристрій електроопереміаційний зміни рулону на холу машини за допомогою рулонної зарядки з двома променями	по тактам циклу формування упаковок	103,1858	6,4	6600	70	4,2	2,2	63,6	110	96,7%	94,3%	98,3%	89,7%	0,94	0,06	12	2	3	3,3	0,78	6191	65%	85%

Результати обґрунтування оптимальної структури ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу, в результаті розв'язання задачі багатокритеріального синтезу, наведені в табл. 4.15.

Таблиця 4.15 – Варіанти структури ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу в машинах пакування дрібно-штучних і штучних харчових виробів

Варіант структури	Пристрій, що формує структуру ФМ ₁ при ОЕЕ _{max}	Пристрій, що формує структуру ФМ ₁ при КвГ→max	Пристрій, що формує структуру ФМ ₁ при Р→max
ФМ1	X _{1.2} ; X _{2.2} ; X _{3.2} ; X _{4.1} ; X _{5.4} ; X _{6.1} ; X _{7.2} ; X _{8.3} ; X _{9.2} ; X _{10.3} ; X _{11.2}	X _{1.2} ; X _{2.1} ; X _{3.3} ; X _{4.2} ; X _{5.3} ; X _{6.2} ; X _{7.1} ; X _{8.2} ; X _{9.4} ; X _{10.2} ; X _{11.1}	X _{1.4} ; X _{2.2} ; X _{3.1} ; X _{4.1} ; X _{5.1} ; X _{6.1} ; X _{7.2} ; X _{8.3} ; X _{9.2} ; X _{10.3} ; X _{11.1}
$\frac{\sum_{i=1}^n \text{критерій } (x_i)}{n}$ → max	89,76	0,99	95,97

Враховуючи результати проведеного критеріального синтезу ФМ1, для введених початкових даних, отримано перелік структур пристроїв за обраним критерієм оптимальності ОЕЕ для оцінювання технічних показників ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу.

В табл. 4.16 наведено результати синтезу ФМ1 подачі рулонних плівкових матеріалів у машинах пакування дрібно-штучних і штучних виробів.

Таблиця 4.16 – Результати синтезу ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу на базі критерію ОЕЕ

п/п	ФПС _j	Опис ФПС _j пакувальної машини	ОЕЕ
1	2	3	4
1	x12	пристрій рулонотримача з цифровим драйвером для покровових двигунів із вбудованими системами bluetooth і NFC	81,91%
2	x22	примусовий пристрій комбінований електропневматичний -електромеханічний	83,75%

1	2	3	4
		(GSP 75 EVO)	
3	x32	фрикційний HDL450-XSS (2 пневматичних фрикційних вала намотування з незалежними фрикціонами шириною 25 мм)	90,74%
4	x41	електропневматичний пристрій з примусово натягнутою петлею матеріалу за допомогою ролика	92,04%
5	x54	пристрій з пневматичним гальмуванням стрічкою на периферії	90,99%
6	x61	електромеханічний пристрій для примусового натягнення петлі	88,17%
7	x72	пристрій електропневматичний на основі безштокового пневмоциліндра	93,46%
8	x83	п'єзоелектричний пристрій BTL5 (B alluff)	91,99%
9	x92	пристрій ультразвуковий	90,88%
10	x10.3	оптичний пристрій регулювання бокового міцположення полотна (оптичний скобовий)	92,33%
11	x11.2	електропневматичний однорулонний пристрій	91,05%
12	сер. знач, критерія ФМ1		89,76%

Для прийняття кінцевого рішення щодо структури ФМ1 потрібно врахувати ще вартість, енерговитрати, які мають бути мінімально низькими, та витрати на експлуатацію.

Аналіз і формування технічних характеристик ФМ1 подачі рулонного плівкового матеріалу можна виконати на основі визначення чинників, що впливають на їх рівень [237,238, 276-280]. Оцінка верхнього і нижнього рівнів характеристик якості дає можливість на етапі проєктування вибирати найбільш раціональні (технологічні та технічні) рішення для реалізації заданої функції вибору в конкретних умовах експлуатації. Семантична оцінка нової

моделі машини або функціонального модуля може бути проведена під час порівняння критеріїв K1 та K2 із заданою (атестаційною) шкалою.

Визначення K1 та K2 проведено для пакувальних машин марок АФП, G250, DE-200. Ці машини мають однотипні конструкції ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу.

Під час розроблення пристрою руху плівки ФМ1 алгоритм визначення його якісних і кількісних характеристик наведено на рис. 4.19.

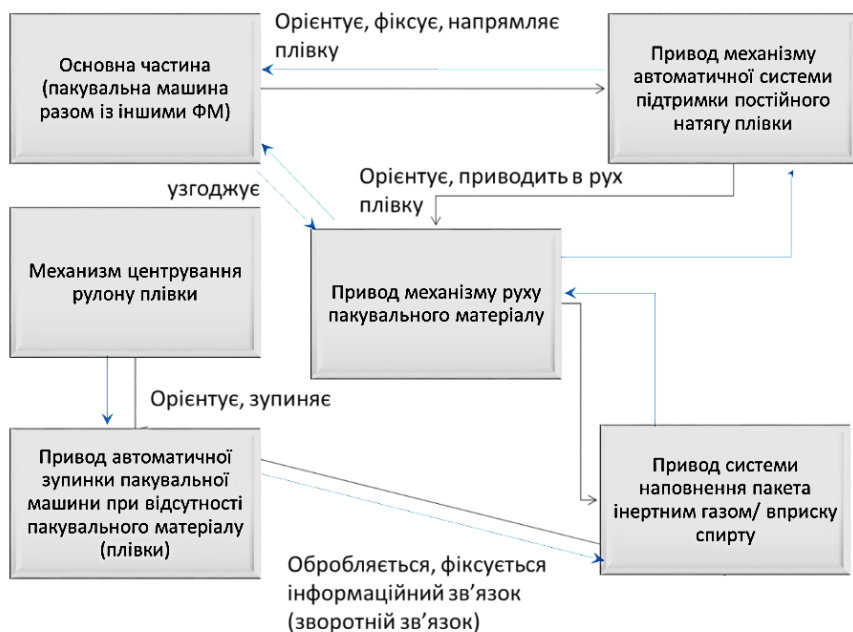


Рисунок 4.19 – Структурна схема алгоритму модернізації ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу

Ранжована послідовність технічних характеристик ФМ подачі плівки для вибраних моделей пакувальних машин наведена в табл. 4.17.

Таблиця 4.17 – Технічні характеристики функціонального модуля подачі плівки із рулону пакувальних машин із електропневматичним приводом

Модель	Прототип АФП	G250	DE-2000
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Максимальна довжина продукту, мм	25 - 150	25-100	100
Максимальна ширина продукту, мм	20 - 100	30-110	80
Ширина плівки, мм	250	250	480
Оптична індикація – фото маркер	присутня	відсутня	присутня
Датчики безпеки	присутні	відсутні	відсутні
Механізм центрування рулону	присутній	присутній	присутній
Автоматична зупинка пакувальної машини за відсутності плівки	присутня	присутня	відсутня
Автоматична система підтримки постійного натягу плівки	присутня	присутня	присутня
Система наповнення пакету інертним газом/ вприску спирту	присутня	присутня	присутня
Габаритні розміри (довжина × ширина × висота), мм	3770 × 670 × 1450	3920×670 × 1320	4260×920 ×1600
Діаметр катушки рулону,мм	320	320	300
Продуктивність, упак/хв	40 - 230	40-230	250
Вага пакувальної машини, кг	800	600	600

Приймаємо, що порядок ранжування параметрів задовольняє умову (функція Харрінгтона). Відповідно до співвідношень (табл 4.18 – 4.19) критерії оцінки рівня характеристик проєктованої моделі ФМ1 пакувальної машини визначаються як:

Таблиця 4.18 -Визначення рівня характеристик моделі пакувальної машини, що проєктується

Номер харак-теристики	Найменування характеристик	Значення характеристика			Бага характе-ристик Φ (1)	k_r	k_p	Критерії оцінки характе-ристик	
		X	X_{op}	X_{or}				K_1	K_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Середнє напруцювання, рік	2400	1800	1900	1,0	1,33	1,26	2,52	1,5
2	Трудомісткість нормо-рік на 100 оди-ниць готової продукції	0,1	0,2	0,15	1,0	2,0	1,5		
3	Витрати на одиницю готової продукції, грн	0,4	0,3	0,3	0,75	0,75	0,75		
4	Кількість пристроїв безпеки	4	1	2	0,5	2,0	2,0		
5	Рівень механізації	6	1	2	0,31	6,0	3,0	1,5	1,5
6	Показник ефективності технології збирання	0,9	0,1	0,6	0,187	9,0	1,5		
7	Показник ефективності технології механооброби	0,9	0,1	0,5	0,11	9,0	1,8	1,5	1,5
8	Показник використання технологій нанесення зносостійких покриттів	0,7	0,15	0,4	0,062	4,67	1,75		
9	Показник використання діагностики поточного стану механізму руху плівки	1,0	0,1	0,5	0,035	10,0	2,0		
10	Вага кг	70	85	90	0,195	2,0	1,12		

де X – АФП, X_{ог} – G250, X_{оп} – DE-2000

$$K_1 = \frac{1,33 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 0,75 \cdot 0,75 + 2 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,31 + 9 \cdot 0,187}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,11 + 0,062 + 0,035 + 0,0195} +$$

$$+ \frac{9 \cdot 0,11 + 4,67 \cdot 0,062 + 10 \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,0195}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,11 + 0,062 + 0,035 - 0,0195}$$

$$= \frac{10,098}{3,97} = 2,52,$$

$$K_2 = \frac{1,26 \cdot 1 + 1,5 \cdot 1 + 0,75 \cdot 0,75 + 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,31 + 1,5 \cdot 0,187}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,11 + 0,062 + 0,035 + 0,0195} +$$

$$+ \frac{1,8 \cdot 0,11 + 1,75 \cdot 0,062 + 2 \cdot 0,35 + 1,12 \cdot 0,0195}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,11 + 0,062 + 0,035 - 0,0195}$$

$$= \frac{5,928}{3,97} = 1,5.$$

Таким чином критерії нижнього K1 і верхнього K2 рівнів більше одиниці. Відповідно до цього проектно-конструкторська розробка машини АФП має вищий рівень щодо моделей, прийнятих для аналізу.

Це підтверджує, що використання сучасних інтегрованих інформаційних технологій дає можливість врахувати всі переваги і недоліки обладнання, що експлуатується.

Такий підхід суттєво скорочує час проектування і практично виключає помилки проекту, а також дає можливість здійснювати аналіз і синтез конструкції машини за заданими критеріями, у тому числі на основі нових технічних рішень.

Функціональні модулі пакувальних машин можуть бути виконані на основі різних типів приводів (табл. 4.19).

Важливою задачею проектування є вибір із множини можливих рішень тих, які найбільше відповідають критеріям виконання основної функції. Чим більше число розглянутих альтернативних рішень, тим більша ймовірність найкращого вибраного рішення для заданих умов виконання пакувального процесу.

*Таблиця 4.19 - Можливі виконання приводів пристроїв ФММ подачі
рулонного пакувального матеріалу*

Приводи основних елементів ФММ	Тип привода								
	Електро пневма- тичний	Елект- ричний		Електро- механічний		Пневма- тичний		Комбіно- ваний	
	Варіанти можливих виконань								
Привод меха- нізму руху пакувального матеріалу А	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A _{N-1}	A _N
Привод механізму контролю розмотування рулону Б	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B _{N-1}	B _N
Привод механізму гальмування рулону С	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C _{N-1}	C _N

За основні критерії приймемо: K_1 – рівень конструкторської розробки, який визначається можливостями конкретного виробника; K_2 – рівень конструкторської розробки, який визначається конкуренцією на ринку; K_3 – точність виконання основної функції (переміщення на встановлену довжину тощо); K_4 – економічність виконання основної функції; K_5 – надійність; K_6 – технологічність виготовлення; K_7 – ремонтпридатність.

При виконанні вибору одного із варіантів виконань пристроїв ФМ1 подачі полімерної плівки із кожного рядка можна отримати одне з альтернативних рішень поставленого завдання. Загальне число можливих варіантів становить N^3 . Щоб обрати найбільш раціональне рішення використовують різні моделі. Однією із них є метод, наведений в працях [237, 278-280]. За цим методом із кожного рядка вибирають можливе виконання, що найкраще задовольняє всі критерії. Для цього оцінюють усі виконання за кожним рядком із точки зору кожного критерію. Потім розставивши пріоритети критеріїв, знаходять коефіцієнти значущості (вагомості або відносні пріоритети) кожного критерію. За найбільшими значеннями сум добутку відносних пріоритетів

можливих виконань із точки зору відповідного критерію на його відносний пріоритет з'ясовують, які з них потрібно запровадити до складу основної функції, щоб виконати задані технологічні вимоги.

Керуючись критерієм K_1 (рівень конструкторської розробки) припустимо, що варіант реалізації A_1 переважає над варіантом A_2 , а під час розгляду варіантів A_2 та A_3 однозначно не можна вказати, який із цих варіантів має перевагу. Зіставлення між собою цих варіантів із точки зору критерію K_1 може бути таким: $A_1 > A_2$; $A_1 > A_3$; $A_1 > A_4$; $A_1 > A_5$; $A_1 > A_6$; $A_2 = A_3$; $A_2 = A_4$; $A_2 = A_5$; $A_2 = A_6$; $A_3 = A_4$; $A_3 = A_5$; $A_3 > A_6$; $A_4 = A_5$; $A_4 > A_6$; $A_5 > A_6$; $A_3 = A_4$; $A_3 = A_5$; $A_3 > A_6$; $A_4 > A_6$; $A_5 > A_6$. Замінивши знаки ($>$), ($=$), ($<$) коефіцієнтами переваги (наприклад, 3; 2; 1), записують ці значення в квадратичну матрицю суміжності для оцінки абсолютних і відносних пріоритетів [281, 284-287]. Значення абсолютних пріоритетів обчислюємо як суму доданків кожного рядка на вектор стовпець суми рядків. Відносні пріоритети отримані нормуванням абсолютних пріоритетів щодо загальної суми абсолютних пріоритетів (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 – Квадратична матриця суміжності для оцінки абсолютних і відносних пріоритетів на прикладі критерію K_1

Варіант виконань	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	$\Sigma_{\text{стр}}$	Π_1	β_1^a (K_1)
A_1	2	3	3	3	3	3	17	199	0,242
A_2	1	2	2	2	2	2	11	127	0,155
A_3	1	2	2	2	2	3	12	135	0,164
A_4	1	2	2	2	2	3	12	135	0,164
A_5	1	2	2	2	2	3	12	135	0,164
A_6	1	2	1	1	1	2	8	91	0,111
Σ							72	822	1,0

Аналогічно проводиться порівняльна оцінка відносних пріоритетів даних реалізацій щодо кожного критерію (табл. 4.21) і зведеного 3D графіка оцінки відносних пріоритетів даних (рис. 4.20).

Таблиця 4.21 - Результати порівняльної оцінки відносних пріоритетів даних реалізацій

Варіант можливих виконань привода механізму руху пакувального матеріалу	Відносні пріоритети можливих виконань привода механізму руху пакувального матеріалу у функції критеріїв				
	β_1^a (K ₁)	β_1^a (K ₂)	β_1^a (K ₃)	β_1^a (K ₄)	β_1^a (K ₅)
A ₁	0,242	0,214	0,128	0,186	0,184
A ₂	0,155	0,103	0,094	0,086	0,122
A ₃	0,164	0,213	0,210	0,196	0,185
A ₄	0,164	0,159	0,209	0,196	0,161
A ₅	0,164	0,159	0,209	0,196	0,169
A ₆	0,111	0,152	0,150	0,140	0,179

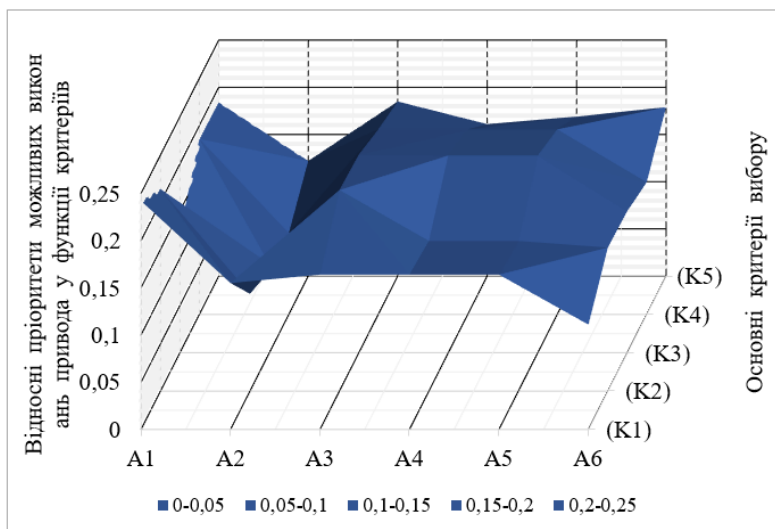


Рисунок 4.20 - Об'єднаний 3D графік критеріальної оцінки можливих виконань привода ФМ1 подачі рулонного плівкового матеріалу

Якщо пріоритети критеріїв на основі експертного оцінювання взяти такими: $K_1=K_2$; $K_1<K_3$; $K_1<K_4$; $K_1=K_5$; $K_2<K_3$; $K_2>K_4$; $K_2>K_5$; $K_3>K_4$; $K_3>K_5$; $K_4>K_5$, то відносний пріоритет критеріїв буде такий (табл. 4.22).

Таблиця 4.22 - Відносний пріоритет критеріїв

Варіант виконань	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	Σ _{стр}	Π ₁	Відносний пріоритет критеріїв
K ₁	2	2	1	1	2	8	76	0,162
K ₂	2	2	1	3	3	11	103	0,219
K ₃	3	3	2	3	3	14	136	0,289
K ₄	3	1	1	2	3	10	90	0,192
K ₅	2	1	1	1	2	7	65	0,138
Σ						50	470	1,0

Можливі виконання, які якнайкраще відповідають заданим умовам, визначають за коефіцієнтами значущості цих виконань – як сума доданків значущості (вагомості або пріоритетності) критеріїв на відповідні значущості виконань відносно цих критеріїв. Коефіцієнт значущості першої реалізації (A_1) визначається як

$$R_{A_1} = \sum_{j=1}^N \beta_j^k \beta_i^a(K_j),$$

тоді: $R_{A_1} = 0,162 \cdot 0,242 + 0,219 \cdot 0,214 + 0,289 \cdot 0,128 + 0,192 \cdot 0,186 + 0,138 \cdot 0,184 = 0,184$

Аналогічно обчислюють коефіцієнти значущості решти можливих виконань. У табл. 4.23 наведено значення коефіцієнтів значущості варіантів виконання привода ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу.

Таблиця 4.23 - Значення коефіцієнтів значущості варіантів виконання привода ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу

Код виконань	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
Коефіцієнт значущості R_{A_N}	0,179	0,108	0,197	0,171	0,172	0,146

Для пошуку Парето-оптимальних варіантів математично задача формулюється як [288-290]:

$$f_i(x) \rightarrow \min_{x \in D}; D \subset R^n (i = \overline{1, k}).$$

Приймають, що, якщо для двох точок $x', x'' \in D$ виконується нерівність:

$$f_i(x') \leq f_i(x'')$$

i для всіх $i \in [1:k]$, причому хоч би одна з нерівностей є строгою, то вважають, що точка x' має перевагу перед точкою x'' . Якщо ж для деякої точки $x_0 \in D$ не існує більше точок, які мають перевагу, то це – ефективне або парето-оптимальне рішення багатокритеріальної задачі. Тоді, множина із всіма ефективними розв'язками буде множиною Парето для векторного відображення f .

Для ефективного пошуку оптимального проєкту для ФМ₁ подачі рулонного пакувального матеріалу потрібно шукати тільки серед складових множини.

За результатами розрахунків побудована діаграма Парето (рис. 4.21), яка візуалізує висновок: із встановлених критеріїв найбільшою мірою відповідають перший і третій варіанти привода ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу – електромеханічний та електропневматичний.

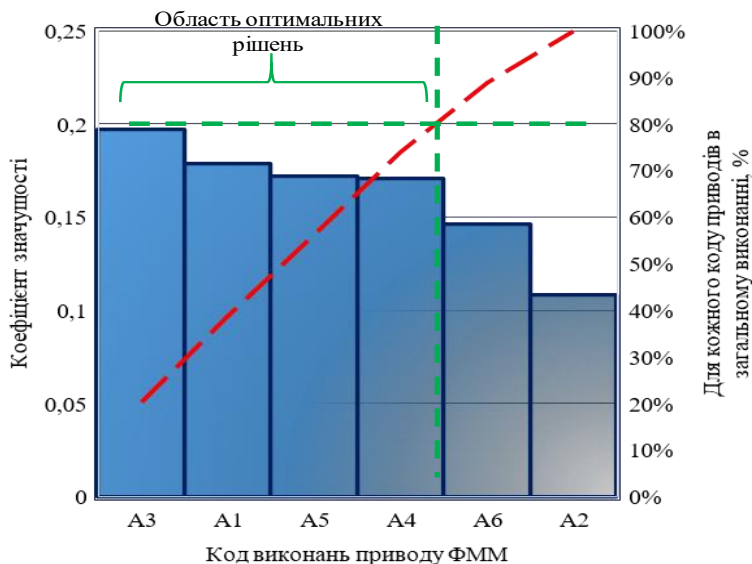


Рисунок 4.21 - Діаграма Парето для пошуку оптимального багатокритеріального розв'язку вибору варіантів виконання привода ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу

Вибрані приводи прийняті для ескізного проєктування ФМ1 подачі рулонного пакувального матеріалу (рис. 4.22).

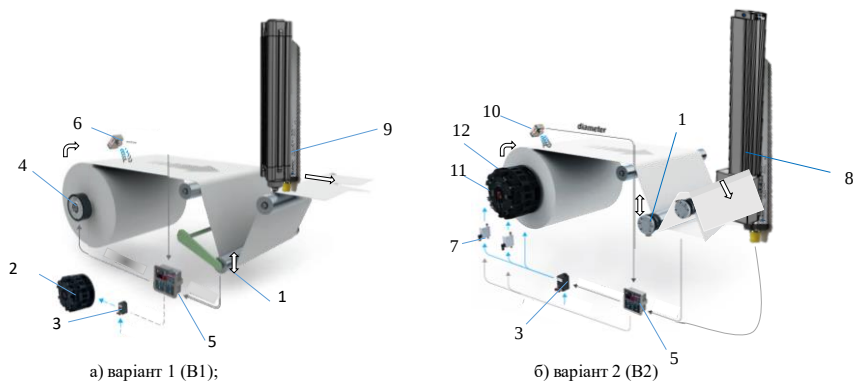


Рисунок 4.22 - Приклади ескізних компоновань досліджуваного прототипу ФМ подачі рулонного пакувального матеріалу в пакувальній машині: 1- натяжний приводний ролик; 2 - електромагнітні порошкові гальма; 3- пневморегулятор гальма; 4 - група супорта; 5 – контролер; 6- датчик оптичного зору; 7 - блок керування, забезпечує потрібний тиск на гальмо; 8 – позиційний привод із безштоковим пневматичним циліндром і датчиком руху «танцювального ролика»; 9 - позиційний привод із пневматичним циліндром двосторонньої дії із системою протиповороту штока і датчиком руху ролика натягу стрічки (п'єзоелектричний пристрій BTL5 (Balluff)); 10 – ультразвуковий датчик контролю діаметра рулона (4..20мА); 11 –пристрій рулонотримача з цифровим драйвером для покрокових двигунів із вбудованими системами bluetooth і NFC; 12 – фрикційне пневматичне гальмо

Кожний ескізний варіант (B_1 та B_2) оцінюється з позиції всіх критеріїв. Перевагами цих варіантів між собою, з точки зору наведених критеріїв, будуть такими (табл. 4.24).

Таблиця 4.24 - Оцінка ескізних компоновань з позиції переваги критеріїв

Критерій	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
Пріоритет варіантів	$B_1 > B_2$	$B_1 > B_2$	$B_1 < B_2$	$B_1 < B_2$	$B_1 = B_2$

Замінивши знаки переважання числовими коефіцієнтами і враховуючи відносну значущість критеріїв, можна оцінити значущість варіантів ФМ₁ подачі рулонного пакувального матеріалу в пакувальній машині:

$$R_{B_1} = 0,162 \cdot 3 + 0,219 \cdot 3 + 0,289 \cdot 1 + 0,192 \cdot 1 + 0,138 \cdot 2 = 1,9;$$

$$R_{B_2} = 0,162 \cdot 1 + 0,219 \cdot 1 + 0,289 \cdot 3 + 0,192 \cdot 3 + 0,138 \cdot 2 = 2,1.$$

Отже, переважним є другий варіант компонування ФМ₁. Остаточний вибір проводимо за величиною витрат на виготовлення C_{B_i} , що належать до відповідного коефіцієнта значущості варіантів R_{B_i} :

$$E_{B_i} = \frac{C_{B_i}}{R_{B_i}}.$$

Найбільше переваг буде мати такий варіант, на який витрати на умовну одиницю якості (E_{B_i}) будуть найменшими. Враховуючи, що величина витрат на виготовлення ФМ₁ подачі рулонного пакувального матеріалу з врахуванням ціни готових елементів із кластерної бібліотеки виробників пакувальних машин для першого варіанта становить $C_{B_1} = 24\,200$ грн, а для другого $C_{B_2} = 22\,300$ грн, отримаємо:

$$E_{B_1} = \frac{24200}{1,9} = 12736 \text{ грн}, \quad E_{B_2} = \frac{22300}{2,1} = 10619 \text{ грн}.$$

Таким чином, найбільше переваг для виготовлення має другий варіант компонування ФММ подачі рулонного пакувального матеріалу.

Висновки

1. За допомогою принципу Парето-ефективних рішень виконано багатокритеріальний структурно-параметричний оптимізаційний синтез типових функціональних модулів пакування сипкої продукції у споживчу тару. За критерії оптимальності прийнято: надійність; енерговитрати та вартість.

2. Параметрична оптимізація функціонального модуля подачі рулонного пакувального матеріалу проведена за граничними значеннями продуктивності, критерію загальної ефективності обладнання та коефіцієнта відносної

готовності. Під час багатокритеріальної оптимізації використано інтегральний критерій із напрямом екстремуму.

3. Наведені методи багатопараметричної або багатокритеріальної оптимізації структури можна використовувати для значної кількості типових функціональних модулів та функціональних груп пакувальних машин-автоматів.

5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТИПОВИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ

5.1. Алгоритми імітацій функціонування типових функціональних модулів пакувальних машин

Побудова узагальненого алгоритму імітації складається з побудови:

- алгоритму просування модельного часу;
- алгоритму просування стану моделі залежно від часу;
- алгоритму збирання інформації про поведінку моделі у процесі імітації.

Узагальнена схема алгоритму імітації наведена на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 – Узагальнена схема алгоритму імітації

Сьогодні відомі три способи просування модельного часу [298]:

- за принципом Δt ;
- за принципом найближчої події;
- за принципом послідовного проведення об'єктів вздовж моделі.

Для дискретних систем просування модельного часу за принципом найближчої події є найефективнішим способом.

Процес функціонування імітаційної моделі може бути описаний з точки

зору:

- зміни стану системи, що відбуваються в момент появи подій;
- дій, що виконуються елементами системи;
- процесу, який відбувається у системі.

Відповідно до цих способів опису функціонування моделі існують три способи просування стану моделі в часі [299]:

- орієнтований на події;
- орієнтований на дії;
- процесно-орієнтований.

Спосіб, орієнтований на події, при побудові алгоритмів імітації дискретних систем засобами універсальних мов програмування є найефективнішим.

Спосіб, орієнтований на дії, найбільш ефективний, коли тривалість дії залежить від того, наскільки стан всієї системи задовольняє заданим умовам.

При процесно-орієнтованому підході описують процес проходження об'єктів уздовж моделі, використовуючи кінцевий набір операторів. Послідовність операторів транслюється у відповідну послідовність подій і далі моделювання здійснюється як при підході, орієнтованому на події.

Для побудови алгоритму збору інформації про поведінку моделі у процесі імітації використовують статистичні методи. Так, статистичну оцінку ймовірності відмови обслуговування знаходять як відношення кількості відмов до загальної кількості вимог, що надійшли до технічної системи:

Де – кількість відмов протягом часу моделювання; - загальна кількість вимог, що надійшли до технічної системи протягом часу моделювання.

Імітаційне моделювання складається з двох основних етапів [299]:

- розробки моделі технічної системи;
- постановки експерименту на цій моделі для оцінки майбутньої системи.

На рис. 5.2 наведена схема імітаційного моделювання.

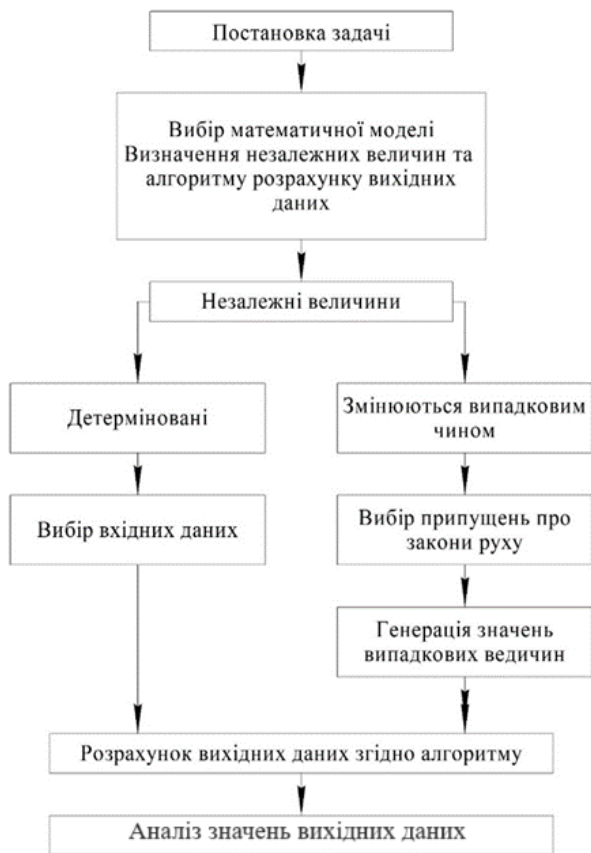


Рисунок 5.2 – Схема імітаційного моделювання

На першому етапі при формуванні проблеми, для розв'язування якої розробляється модель, потрібно визначити межу моделювання, потім обстежити об'єкт моделювання, визначити межі, в яких буде проводитись дослідження.

Після завершення цього етапу описуються основні характеристики системи, вхідні та вихідні змінні, їх взаємозв'язок, зовнішні впливи на систему, визначаються основні критерії функціонування системи та обмеження. Подальше уточнення та формалізацію моделі здійснюють на етапі створення концептуальної моделі.

Концептуальна модель – це абстрактна модель, яка виявляє причинно-наслідкові зв'язки, властиві досліджуваному об'єкту. Це формальний опис об'єкта моделювання, який відображає концепцію.

При розробленні концептуальної моделі потрібно:

- визначити мету моделювання;
- сформулювати цільові функції (критерії якості) системи, що моделюється;
- вибрати ступінь деталізації зображення моделі;
- описати вихідні, входні змінні і параметри моделі;
- висунути гіпотези та припущення, які замінюють невідомі закономірності розвитку системи і обрати функціональні залежності, що описують поведінку змінних параметрів;
- описати обмеження на можливі зміни величин;
- розробити структурну схему концептуальної моделі та скласти опис її функціонування.

Від вибраного рівня деталізації моделі залежить і її стійкість, тобто здатність точно відтворювати поведінку системи, конфігурація якої або входні дані для якої не було передбачено на етапі побудови моделі. Стійкість зростає зі збільшення ступеня деталізації моделі.

На етапі розроблення концептуальної моделі визначаються вимоги до вхідних даних. Для цього можуть використовуватись різні методи вимірювань, якщо модельована система реально існує. Частина даних можна отримати з технічної та конструкторської документації системи, офіційних звітів, довідників.

На третьому етапі здійснюється формалізоване зображення концептуальної моделі. Формалізація – це відображення системи в точних поняттях.

Завершенням цього етапу є розроблення структурно-логічного опису модельованої системи з урахуванням динаміки. Частина моделі, які можна

описати математичним апаратом, задаються аналітичними залежностями. Інші частини моделі задаються алгоритмом їх функціонування або діаграмою функціонування.

Для концептуальної структури можуть використовуватись формальні математичні моделі, такі як мережі Петрі, стохастичні мережі СМО, потокові діаграми та ін. На цьому етапі на вибір структури може суттєво впливати вибір програмних засобів реалізації імітаційної моделі.

Після формалізації концептуальної моделі перевіряють її відповідність (адекватність) об'єкту моделювання, використовуючи метод оберненого перетворення. Розглядається побудована модель, здійснюється перехід до прийнятих припущень, апроксимацій та спрощень і повернення до реальних процесів і явищ системи, що моделюється. Побудова концептуальної моделі – найвідповідальніший етап моделювання. Неправильна концепція, покладена в основу моделі, неправильні припущення про взаємозв'язки змінних параметрів призводять до того, що виконання подальших етапів побудови імітаційної моделі є безглуздими і часто спричиняє невиправдані витрати.

Четвертий етап – це вибір засобів реалізації імітаційної моделі. Реалізація імітаційної моделі може бути створена за допомогою: існуючих мов загального призначення, спеціалізованих мов моделювання; прикладних програм для моделювання; засобів автоматизації програмування імітаційних моделей; діалогових і візуальних систем моделювання; інтелектуальних систем моделювання. Структуру моделі можна зобразити з використанням елементів програмних засобів створення імітаційної моделі. А тому важливо на цьому етапі вибрати мову програмування, за допомогою якої буде реалізовано модель.

На п'ятому етапі об'єкт моделювання остаточно формалізується у вигляді абстрактної системи. Для цього потрібно описати структуру системи та сукупність математичних описів усіх її елементів, зовнішніх впливів і взаємодій між усіма елементами в процесі функціонування системи.

Структура системи визначається з огляду на побудовану концептуальну модель і вибрані засоби моделювання. У разі реалізації імітаційної моделі алгоритмічною мовою загального призначення на структуру імітаційної моделі істотно впливає вибраний підхід до реалізації імітаційного алгоритму. У разі вибору об'єктно-орієнтованої мови описують класи та підкласи для статичних і динамічних об'єктів, задають інтерфейси, методи класів та властивості об'єктів. Якщо модель буде реалізовано мовою моделювання, то структура моделі подається у вигляді блок-схеми, що складається з блоків різних типів. Набір блоків у блок-схемі визначає набір операторів мови, що описують структуру системи, яка моделюється, та логіку її функціонування.. після закінчення налагоджування функціонування програмної реалізації імітаційної моделі потрібно перевірити її роботоздатність в усьому діапазоні змін вхідних змінних.

Шостий етап – це програмна реалізація імітаційної моделі. Програмну реалізацію імітаційної моделі рекомендується будувати за модульним принципом. Це дає можливість удосконалювати модель за допомогою ітераційного моделювання, додаючи до неї модуль за модулем. Під час налагоджування та експериментування окремі модулі можуть бути замінені або змінені, що не призведе до істотних змін у самій моделі.

До основних методів проєктування імітаційних моделей можна віднести: варіативний; ітераційний; ієрархічний.

Варіативний метод є найпростішим та широко застосовуваним. Під час проєктування розглядаються кілька варіантів кожної частини модельованої системи для її відображення в імітаційній підмоделі. Найдоцільніший варіант вибирається з урахуванням рішень, прийнятих відносно інших частин модельованої системи. Це є послідовна схема проєктування, згідно з якою вибір варіантів імітаційної моделі є суб'єктивним і залежить від рівня знань про систему. Застосування варіантного методу рідко призводить до допустимих проєктних рішень і не відповідає загальній схемі системного

аналізу імітаційного моделювання. Така схема передбачає виконання ітераційної процедури, під час якої повертаються до вже розроблених частин імітаційної моделі і коригують їх, доки не будуть впевненими, що модель відповідає цілям моделювання.

Ітераційний метод полягає в тому, що шляхом багатьох ітерацій спроектована спочатку імітаційна модель перетворюється в таку, яка відповідає цілям моделювання. Цей метод є методом «проб і помилок», що передбачає послідовні циклічні зміни, у результаті яких отримують модель, що задовольняє вимогам точності та адекватності. Циклічний ітераційний метод проектування потребує розгляду послідовності процедур прийняття рішень під час проектування. Крім того, весь хід проектування та остаточний результат значною мірою залежать від вибору початкової імітаційної моделі. Алгоритм ітераційного методу моделювання наведено на рис. 5.3.

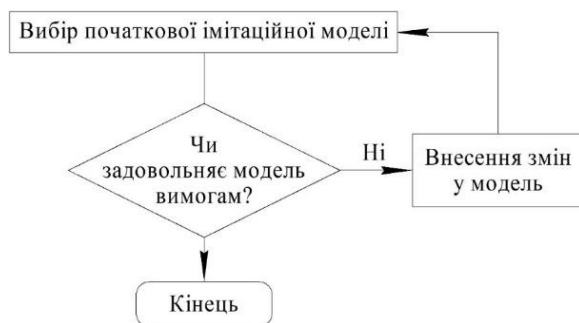


Рисунок 5.3 – Алгоритм ітераційного методу моделювання

Основна проблема в разі застосування як ітераційного, так і варіативного методів проектування полягає у виборі початкового варіанта моделі. Це пов'язано з тим, що вже під час формулювання проблеми та в процесі змістовної постановки задачі висувуються вимоги до моделі, визначаються вхідні та вихідні дані, проєктувальник має вибирати початкову модель, використовуючи метод метод аналогій, який базується на знанні характеристик компонентів системи, технологічних засобів і прийнятих

рішень у подібних умовах. За таких умов потрібно сформулювати ряд гіпотез, за допомогою яких можна визначити причину невідповідності. Гіпотези доцільно формувати для кількох рівнів представлення імітаційної моделі: опису структури; алгоритмів поведінки; параметрів і вхідних даних.

Незалежно від того, який метод використовується - варіантний чи ітераційний, існують два принципово відмінних підходи до проектування імітаційних моделей. Згідно з першим підходом проектування здійснюється за схемою згори вниз (ієрархічне, багаторівневе або низхідне проектування), згідно з другим – знизу догори (висхідне проектування). Перший підхід передбачає розподіл системи на підсистеми з дотриманням принципу цілісності системи (декомпозиція). Другий підхід з позиції розгляду структури системи є оберненим до першого (композицією). Він передбачає розгляд структури системи з метою створення моделі, який починають з її елементів та підсистем, а потім переходять до системи в цілому.

Для розроблення імітаційних моделей ФМ пакувальних машин використовують різноманітні інструментальні програмні засоби та середовища (MathCad, MatLab, Mathematica, Maple, Derive, VisSim, Genius, Exel та інші), які дають можливість досліджувати взаємодію робочих органів ФМ із об'єктами пакування.

Це дає можливість ще на стадії проектування вирішити багато питань, що стосуються взаємодії робочих органів, їх взаємного розташування і найбільш наочно візуалізувати проект. Останнім часом окреслилася тенденція розширення кола користувачів CAE (Computer Aided Engineering), які поширюються на базі геометричних CAD систем (Computer Aided Design). При виборі CAD систем потрібно відразу робити аналіз CAE продуктів, які здатні проводити розрахунки на базі створюваних моделей. Однією з найвикористовуваних систем твердотільного моделювання є Solid Works з інтегрованим пакетом інженерних розрахунків COSMOS. Додаток COSMOS Works призначений для вирішення завдань механіки деформованого твердого

тіла методом скінченних елементів. Програма використовує геометричну модель деталі або складальної одиниці для формування розрахункової моделі. Інтеграція з Solid Works дає можливість мінімізувати операції, пов'язані зі специфічними особливостями кінцево-елементної апроксимації. COSMOS Works здатний приймати результати динамічного аналізу, отримані в COSMOS Motion.

При дослідженні систем автоматичного керування, обчислювальних математичних задач, найбільш ефективним є використання програмної системи MatLab із широким класом предметно-орієнтованих бібліотек та інструментом візуального моделювання Simulink. Для візуалізації моделювання система MatLab має бібліотеку Image Processing Toolbox, що забезпечує широкий спектр функцій, що підтримують візуалізацію проведених обчислень безпосередньо із середовищем MatLab, а також можливість побудови алгоритмів обробки зображень.

Серед інших бібліотек системи MatLab можна відзначити System Identification Toolbox – набір інструментів для створення математичних моделей динамічних систем, заснованих на спостережуваних вхідних/вихідних даних. Особливістю цього інструменту є наявність інтерфейсу, що дає можливість організувати дані й моделі. Бібліотека System Identification Toolbox підтримує як параметричні, так і непараметричні методи. Інтерфейс системи полегшує попередню обробку даних, роботу з інтерактивним процесом створення моделей для одержання оцінок і виділення найбільш значимих даних.

Для візуального моделювання та моделювання разом із реальною апаратурою більш зручним є програмний пакет VisSim. Поряд із наведеними засобами імітаційного моделювання використовують й інші програмні продукти, які враховують реологічні властивості продукції та енергопотоків в машині.

5.2. Імітаційні моделі роботи типових функціональних модулів машин

5.2.1 Моделі роботи функціональних модулів машин-автоматів пакування сипкої продукції у споживчу тару

В машинах пакування сипкої продукції в споживчу тару модулем, від якого залежать споживчі властивості пакованого продукту є модуль дозування і фасування. Якісне виконання своїх функцій модулем забезпечується висока точність дозування та продуктивність.

Дослідження дозування сипкої продукції за об'ємом із застосуванням імітаційного моделювання проведено, модернізуючи машину 2200і німецької фірми Fette, яка призначена для масового виробництва таблеткових продуктів і виробів [300].

Точність формування маси сипкої продукції у матриці преса залежить від конструкції, конструктивних і експлуатаційних характеристики пристрою живлення. Принципова схема машини 2200і наведена на рис. 5.4.

Живлення та дозування – це процеси переміщення продукції. Для визначення кінематичних і динамічних параметрів переміщення сипкої продукції використано репрезентативну модель продукції. Така модель створена в пакеті програм EDEM Creator. У цьому пакеті надаються інструменти для визначення компонентів матеріалу DEM, включаючи контактну фізику та форму і розподіл частинок моделі. За потреби CAD-моделі фактичних частинок сипкої продукції можуть бути імпортовані і використані для наближення форми частинок моделі і розрахунку інерційних властивостей. Моделі САПР геометрії обладнання можуть бути імпортовані в різних форматах, а компоненти моделі можуть бути згруповані, переміщені та скопійовані. Кінематика кожної групи вказується індивідуально.

Технологія EDEM's Particle Factor забезпечує унікальний метод ефективного генерування частинок продукції, використовуючи вбудовану просту функціональність 3D CAD або у зв'язку з імпортованою геометрією обладнання.

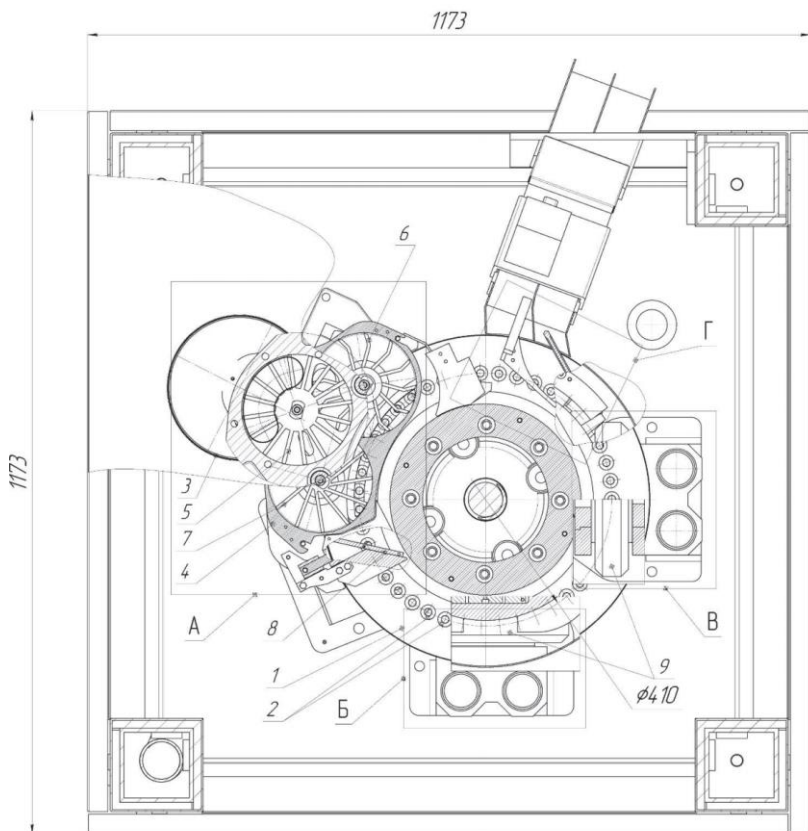


Рисунок 5.4 – Принципова схема машини 2200i: А – модуль живлення і дозування; Б – пристрій попереднього пресування; В – пристрій основного пресування; Г – пристрій виштовхування пресованого виробу і переміщення до модуля пакування; 1 – ротор; 2 – матриці; 3 – бункер для сипкої продукції; 4 – корпус живлення; 5 – дозувальне колесо; 6 – зрошувальне колесо; 7 – колесо зворотнього руху; 8 – скребок; 9 – ролик преса

Для модельної частинки використано метод дискретних елементів (DEM) потоку сипкої продукції. Для дослідження потоку сипкої продукції використано програмний пакет EDEM v.6.3.1 (DEM Solutions Ltd, Единбург, Шотландія), а для моделювання контактних сил використана контактна модель Герца-Міндліна.

У цій моделі сила в нормальному напрямку визначається як:

$$F_n = k_n \delta_n^{\frac{3}{2}} + c_n \dot{\delta}_n$$

де δ_n - нормальне перекриття, $\dot{\delta}_n$ - відносна нормальна швидкість удару, c_n - нормальний коефіцієнт демпфування, нормальна жорсткість і визначається як

$$k_n = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*}$$

де E^* - ефективний модуль Юнга, визначений як

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_i^2}{E_i} + \frac{1 - \nu_j^2}{E_j}$$

де E_i, E_j, ν_i, ν_j - модулі Юнга та відношення Пуассона окремих частинок i та j , що контактують відповідно, R^* — ефективний радіус, визначений як $\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_j}$, де R_i, R_j — радіуси окремих звичайних контактуючих частинок, а c_n задається як:

$$c_n = -2 \sqrt{\frac{5}{6}} \beta \sqrt{2E^* (\sqrt{R^*} \delta_n) m^*}$$

де β визначається за формулою:

$$\beta = \frac{c}{\sqrt{(\ln e)^2 + \pi^2}}$$

де e - коефіцієнт відновлення, а m^* - ефективна маса, визначена як $\frac{1}{m^*} = \frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j}$ де m_i і m_j — маси індивідуальних контактних сфер.

Сила в тангенціальному напрямку визначається як:

$$F_t = \min \left[S_t \cdot \delta_t + 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \beta \sqrt{S_t \cdot m^*} \cdot \dot{\delta}_t \cdot \mu \cdot F_n \right]$$

де δ_t - тангенціальне перекриття, $\dot{\delta}_t$ - відносна тангенціальна швидкість, μ - коефіцієнт тертя ковзання, S_t — тангенціальна пружність, яка визначається як

$$S_t = 8G^* \sqrt{R^*} \delta_n$$

де G^* — еквівалентний модуль зсуву.

Тангенціальна сила прикладається в напрямку, перпендикулярному до нормального напрямку і протилежному тангенціальній відносній швидкості,

або, якщо швидкість дорівнює нулю, протилежна тангенціальному зміщенню δ_t .

Модель тертя кочення включена, щоб протистояти крутному моменту, що діє на частинки в контактi. Внесок тертя кочення на крутний момент τ_R як:

$$\tau_R = \mu_R F_N X \omega,$$

де μ_R - коефіцієнт тертя кочення, X - відстань точки контакту від центру мас, ω - одиничний вектор кутової швидкості.

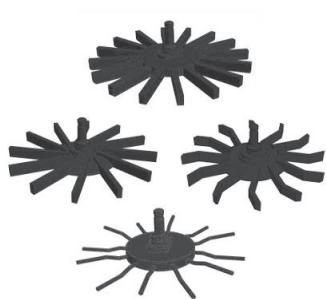
Для моделювання переміщення сипкої продукції було прийнято гранулят лактози моногідрату, реологічні властивості якого наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Реологічні властивості грануляту лактози моногідрату

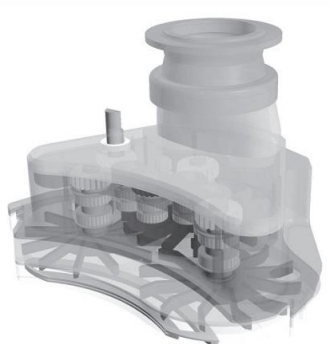
Параметр	Призначення параметру	Значення параметру
Коефіцієнт Пуассона	Гранулят	0,3
	Сталь (обладнання)	0,3
Густина матеріалу (ρ)	Гранулят	2000 кг/м ³
	Сталь (обладнання)	7800 кг/м ³
Модуль Юнга (E)	Гранулят	8,7 • 10 ⁹ Па
	Сталь (обладнання)	21,0 • 10 ⁹ Па
	Взаємодія	
Коефіцієнт реституції	Гранулят - гранулят	0,15
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,15
Коефіцієнт статичного тертя	Гранулят - гранулят	0,3
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,35
Коефіцієнт тертя кочення	Гранулят - гранулят	0,05
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,05

Для моделювання живлення та дозування сипкої продукції створено об'ємні моделі основних пристроїв функціонального модуля дозування та фасування в програмі AutoCAD (рис. 5.5).

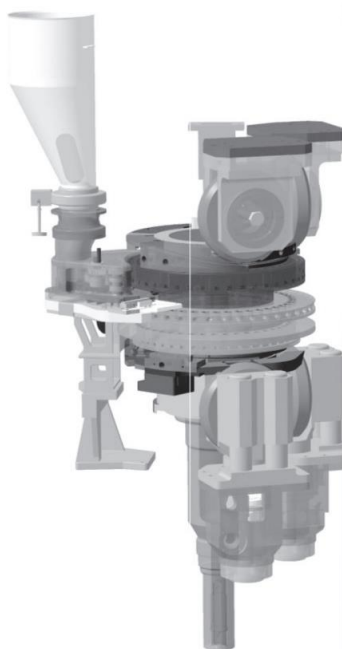
Приймаємо, також, такі граничні умови: сипка продукція реагує з деталями функціонального модуля як контакт зі стінками.



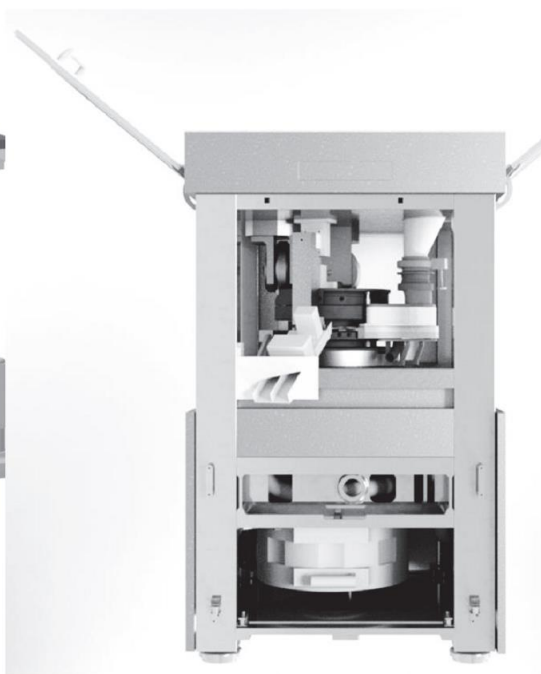
a



б



в



г

Рисунок 5.5 – Геометричні моделі модуля дозування і фасування: а – зворощувачі живильника; б – живильник; в – компоновка модуля; г – компоновка машини

Об'ємну фігуру живильника задаємо у вигляді (рис. 5.6).

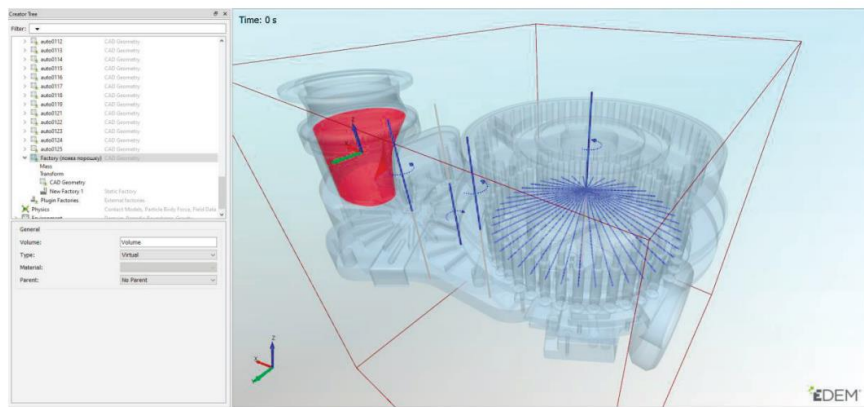


Рисунок 5.6 – Об'ємна фігура живильника

У програмі вказуємо тип об'єкту «віртуальний (Virtual)», за цих умов сипка продукція не буде виступати в контакт із деталями модуля. Задаємо частоту обертання ротора (наприклад 50 об/хв) і вказуємо вектор осі обертання (рис. 5.7).

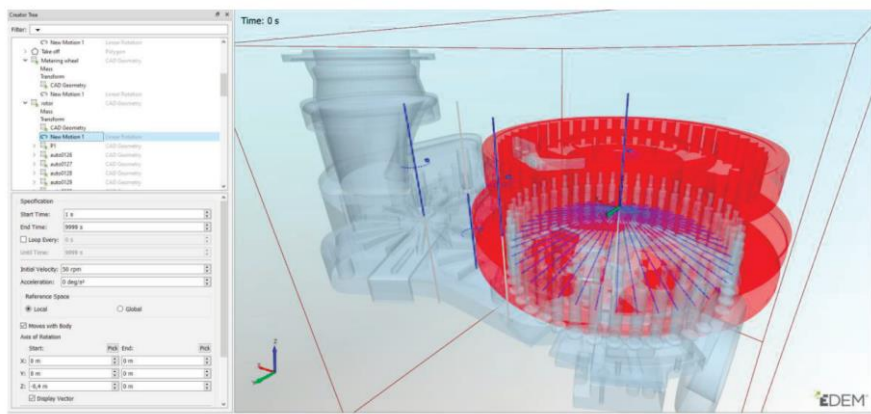


Рисунок 5.7 – Прийняття кінематичних параметрів руху робочих органів модуля

Вказуємо частоти обертання лопатей живильника (рис. 5.8).

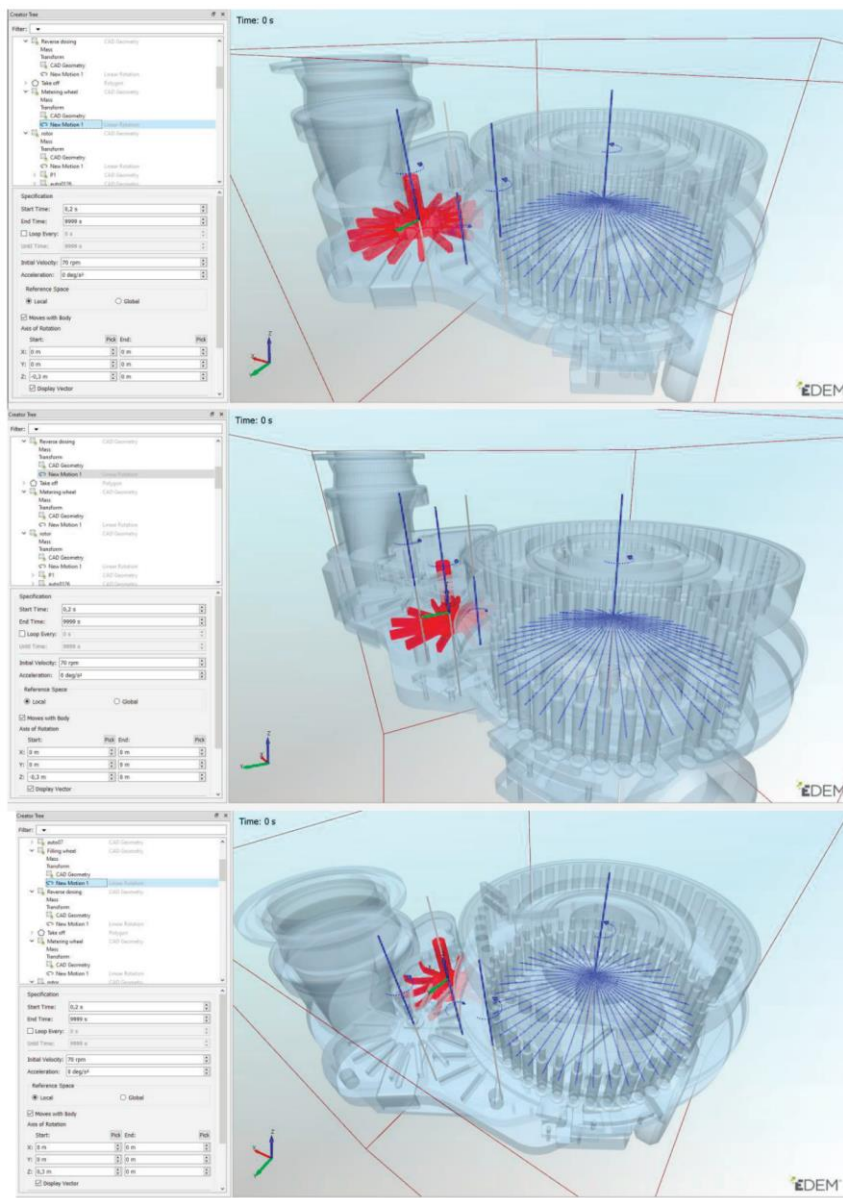


Рисунок 5.8 – Прийняття і нанесення кінематичних параметрів руху лопатей живильника

Приймаємо, що всі конструктивні виконання лопатей обертаються з однаковою швидкістю. Задаємо параметри частинки сипкої продукції згідно таблиці 5.1, прийнявши її форму у вигляді сфери (рис.5.9).

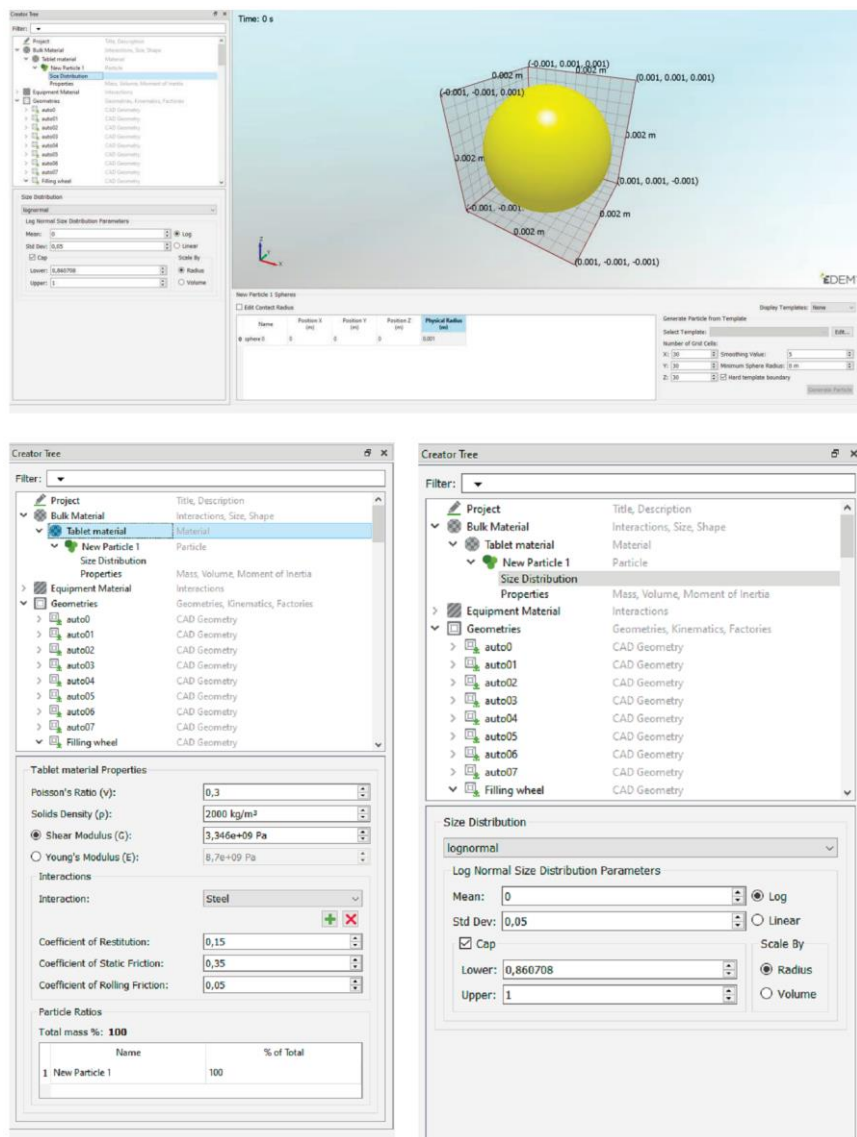


Рисунок 5.9 – Модель частинки сипкої продукції

В налаштуваннях симуляції процесу виставляємо крок часу 40 %, розмір сітки $6R_{\min}$ (рис.5.10).

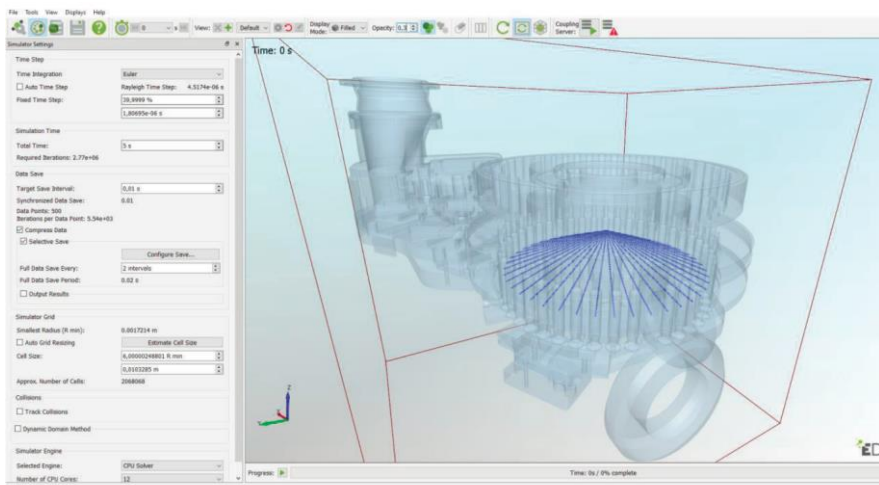


Рисунок 5.10 – Симуляція процесу переміщення сипкої продукції у функціональному модулі дозування і фасування

Одним із важливих факторів, що впливає на якість наповнення матриць сипкою продукцією є режими обертання лопатей живильника та конфігурація лопатей.

Для імітаційного моделювання побудовано 3D-моделі обладнання на дві конфігурації лопатей:

- 1 - із плоскостінними (рис. 5.11),
- 2 – із трубчатими (рис.5.12).

Частоти обертання лопатей приймаємо: 50, 70, 90 об/хв.

Результати досліджень наведено у вигляді графіків (рис.5.13, 5.14).

Узагальнені залежності, що характеризують вплив частоти обертання лопатей та їх конструкційних особливостей на середнє значення об'єму наповнення матриць наведено на рис. 5.15 та рис. 5.16.

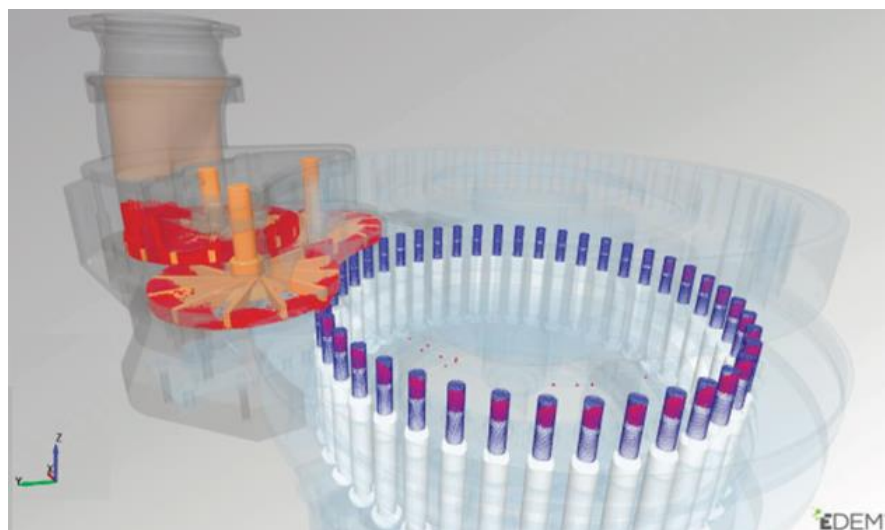
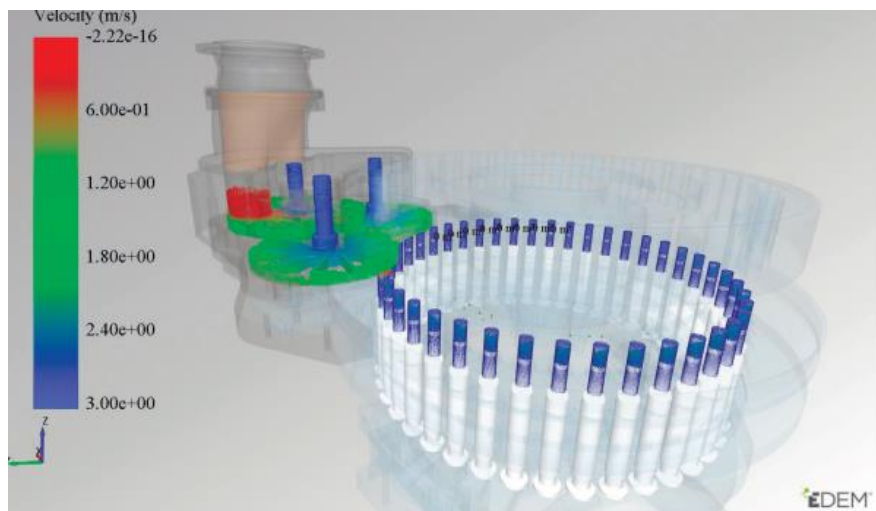


Рисунок 5.11 – Модель із плоскостінними лопаттями

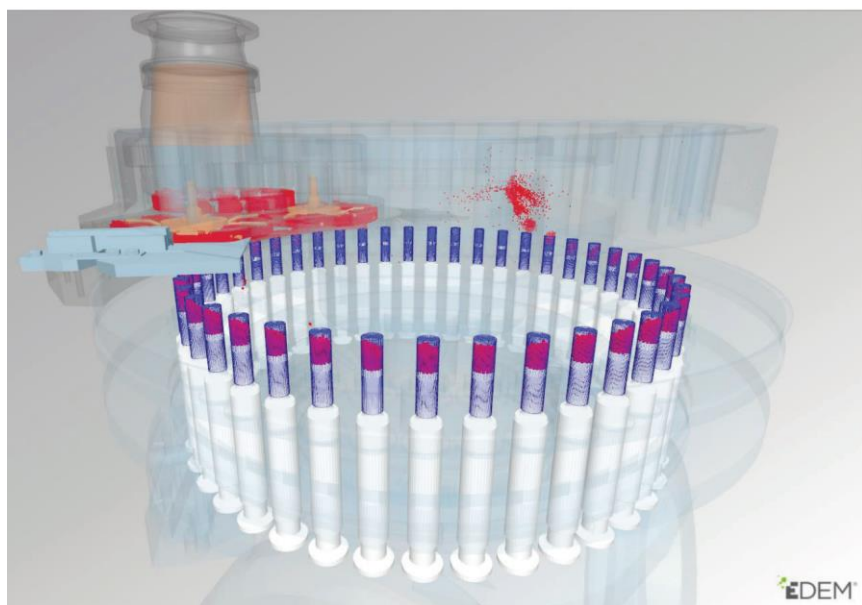
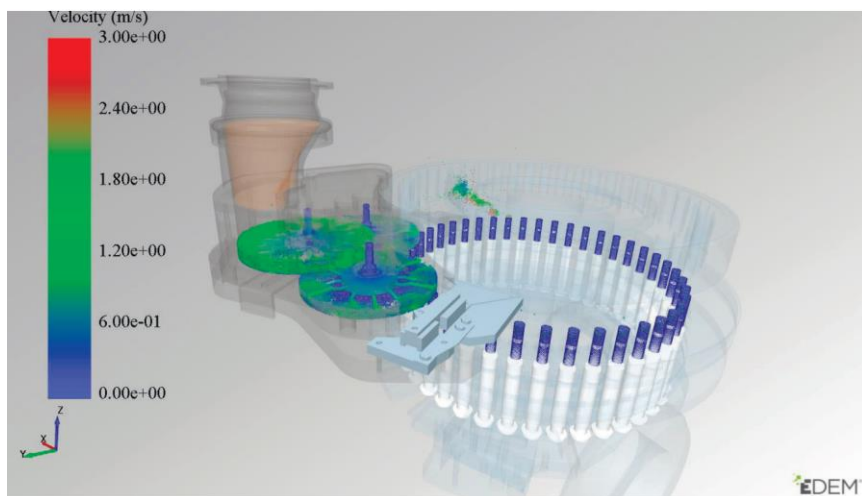


Рисунок 5.12 – Модель із трубчастими лопатями

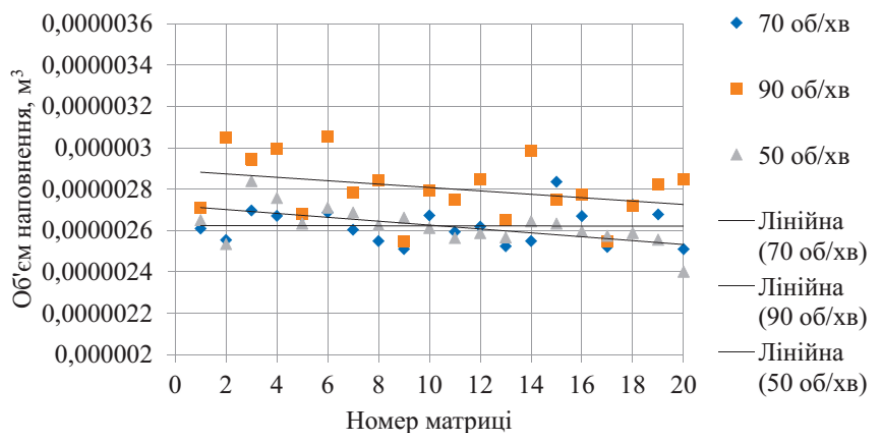


Рисунок 5.13 – Показники якості заповнення матриць сипкою продукцією при роботі плоских лопатей

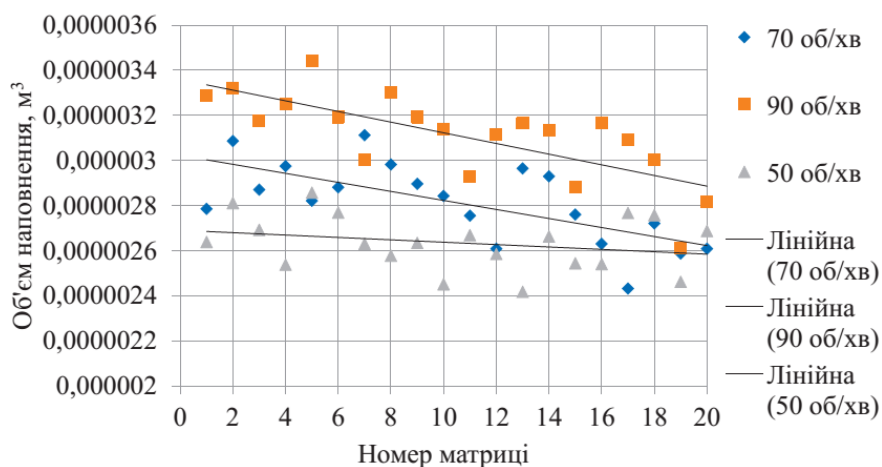


Рисунок 5.14 – Показники якості заповнення матриць сипкою продукцією при роботі трубчатих лопатей

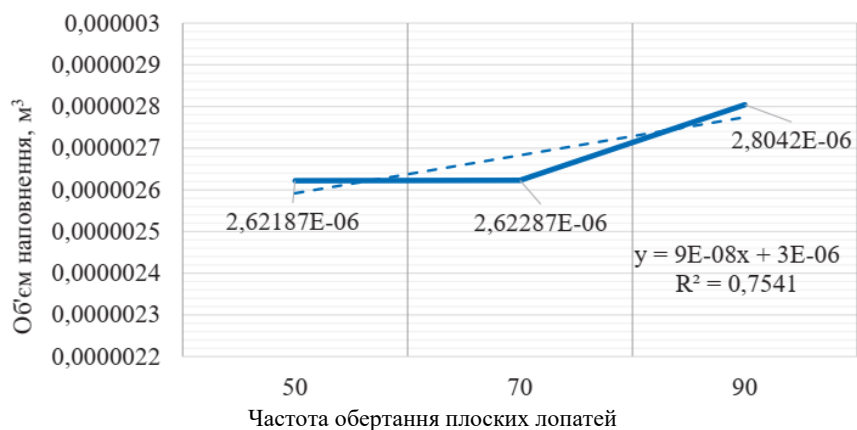


Рисунок 5.15 – Залежність середнього об'єму наповнення матриць від частоти обертання плоских лопатей

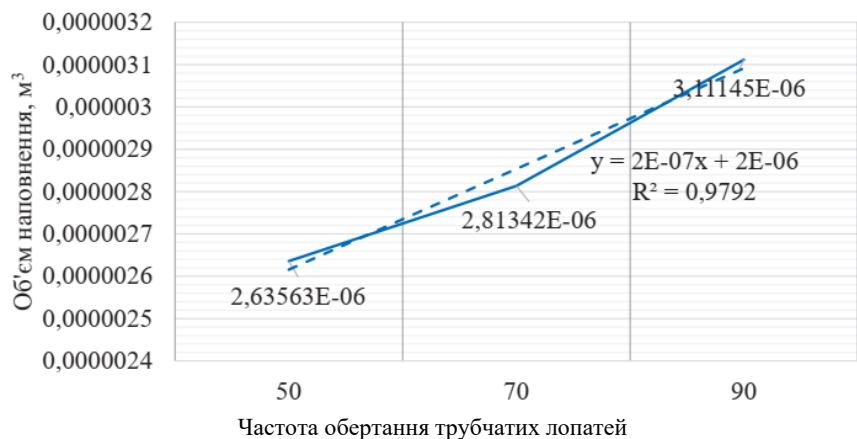


Рисунок 5.16 – Залежність середнього об'єму наповнення матриць від частоти обертання трубчатих лопатей

Більші значення об'єму матриць, заповнених сипкою продукцією, характерні для більших із розглянутих частот обертання лопатей (90 об/хв). Це можна пояснити більш інтенсивною подачею сипкої продукції лопаттю. Для

плоских лопатей збільшення об'єму заповнення матриць становить 7 %, а для трубчатих – 18 %. Тобто середній об'єм заповнення матриці сипким продуктом при частоті обертання лопаті 90 об/хв більший на 11 % при роботі трубчатої лопаті, порівняно з плоскою. Одержані результати імітаційного моделювання для заданих умов роботи пакувальних машин-автоматів дають можливість обґрунтовано вибирати як конструкційні, так і кінематичні параметри робочих органів функціональних модулів.

5.2.2 Моделі роботи функціональних модулів машин-автоматів пакування в'язких та в'язко-пластичних продуктів у споживчу тару

Метою проведення досліджень є підвищення ефективності роботи функціональних модулів машин пакування в'язких та в'язко-пластичних продуктів у споживчу тару за допомогою імітаційного моделювання їх роботи в програмному комплексі Flow Vision.

Цей програмний комплекс використовуємо для імітації властивостей продукції, що дає можливість моделювати його напружено-деформований стан під впливом робочого органа відповідної геометричної форми у тривимірному просторі.

Flow Vision дає можливість моделювати плинність в'язкої продукції в будь-яких промислових і природних об'єктах. Адаптовані методика імітаційного моделювання дає можливість налаштувати обчислювальний процес так, щоб відтворити властивості продукції у програмі Flow Vision і провести чисельне моделювання роботи робочих органів [301].

Сам процес розрахунку включає такі кроки [302]:

- створення області розрахунку та 3-D моделей робочого органа ФМ, що досліджується;
- прийняття математичної моделі і початкових параметрів;
- завдання граничних умов;
- завдання вихідної розрахункової сітки і критеріїв її адаптації за

рішенням і за граничними умовами;

- проведення розрахунку;
- перегляд, аналіз результатів розрахунку в графічній формі («візуалізація» результатів розрахунків) і збереження даних у файли.

Створення області розрахунку та 3D моделі робочого органа ФМ, що досліджується, здійснювалось в САПР та імпортувалось через файли формату STL. Крім того потрібно імпортувати 3-D модель робочого органа і розмістити її в зоні розрахункової області таким чином, щоб межі області не впливали на роботу імітаційної моделі. Граничні умови функціонування моделі задаються на стінках розрахункової області та на поверхні робочого органа. На виході з розрахункової області задається гранична умова «вільний вихід».

Об'єктом імітаційного моделювання обрано дозувально-фасувальний ФМ для в'язких продуктів. Для в'язких продуктів розроблено 3-D модель ФМ поршневого типу з об'ємним принципом дозування.

Розглянемо процес імітаційного моделювання поршневого дозатора в'язких харчових продуктів, який працює за об'ємним принципом дозування.

На першому етапі моделювання із застосуванням графічного редактора розроблено 3-D моделі функціонального модуля та робочого органу.

На другому етапі моделювання сформовані твердотілі 3-D моделі дозатора з вихідним каналом та робочого органу було збережено із розширенням .STL для подальшого експортування у середовище програмового комплексу FlowVision.

На третьому етапі моделювання 3-D модель дозатора з вихідним каналом із розширенням .STL було завантажено у середовище програмового комплексу FlowVision та створено додатковий шаблон площини відносно координатної вісі Z.

На четвертому етапі у середовище програмового комплексу FlowVision завантажено робочий орган (поршень). Для цього у діалоговому вікні «Препроцес» використано закладку «Фільтри».

За допомогою діалогового вікна «Властивості» у закладці «Фільтри» задано їх початкове положення, параметри руху (напрямок та частота обертання), маса рухомих елементів.

На п'ятому етапі моделювання обрано модель процесу, початкові значення, реологічні характеристики продукту, який дозуватиметься. Так наприклад, у відповідності до досліджуваного продукту обираємо модель процесу «Нестискувана рідина».

На шостому етапі моделювання задано граничні умови, які дозволяють сформуванню геометрії моделі. Для поставленої задачі обрано граничні умови «Стінка», «Стінка з проковзуванням» «Вхід», «Вільний вихід» (рис. 5.17).

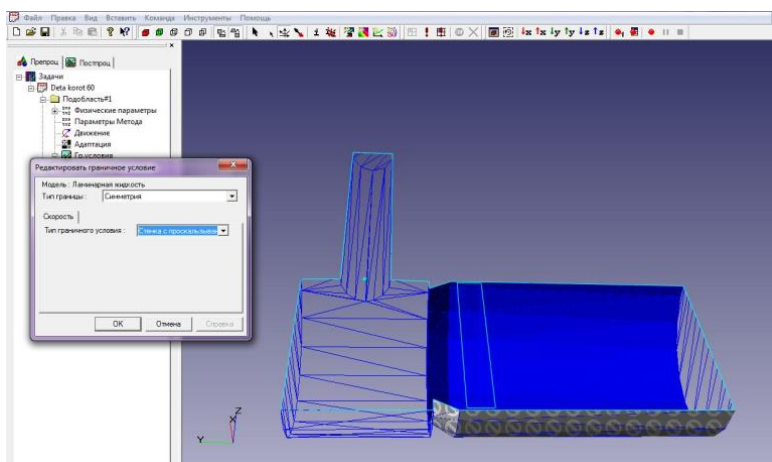


Рисунок 5.17 – Гранична умова «Стінка з проковзуванням»

У відповідності до обраних граничних умов задано властивості кожній з поверхонь моделі дозатора (рис. 5.18).

На сьомому етапі - сформовано початкову сітку (рис. 5.19) та задано загальні параметри процесу (рис. 5.20).

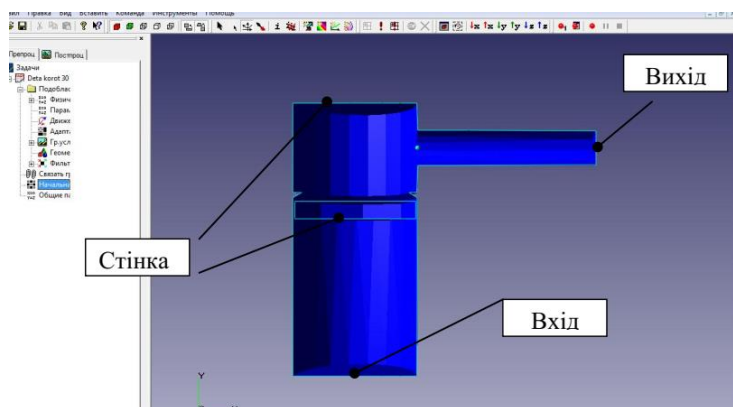


Рисунок 5.18 – Розподіл граничних умов

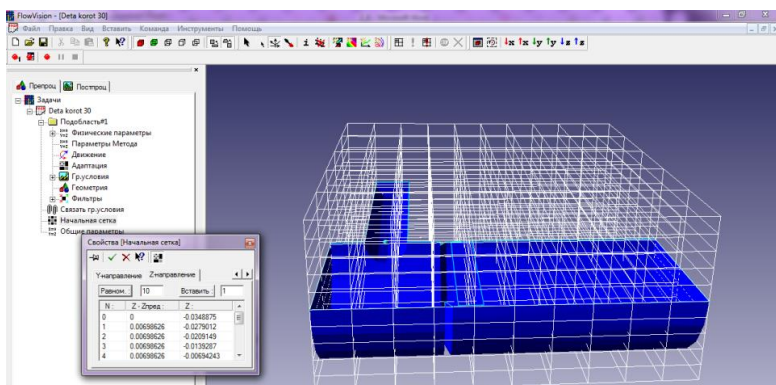


Рисунок 5.19 – Початкова сітка пристрою

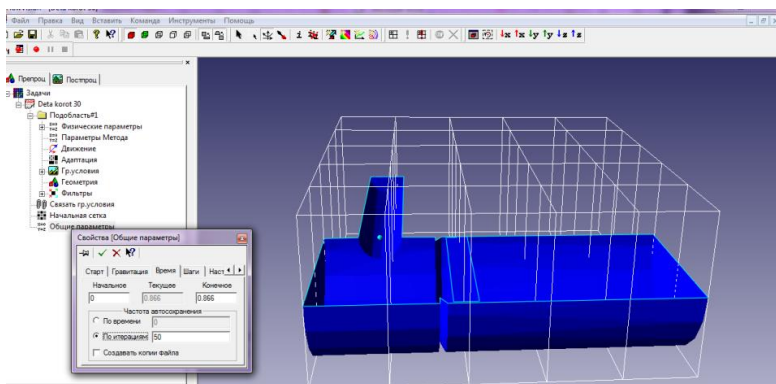


Рисунок 5.20 – Загальні параметри моделі

На восьмому етапі подано команду на побудову початкової сітки та виконання процесу розрахунку за допомогою відповідних кнопок/піктограм на командній панелі програми.

За результатами розрахунків у діалоговому вікні «Постпроцес» стала можливою візуалізація процесу дозування з можливістю відображення характеристик процесу (тиску у камері дозування, характеру руху частинок, швидкості руху частинок, в'язкісних напружень тощо (рис. 5.21) та отримання кількісних значень параметрів процесу для подальшого аналізу.

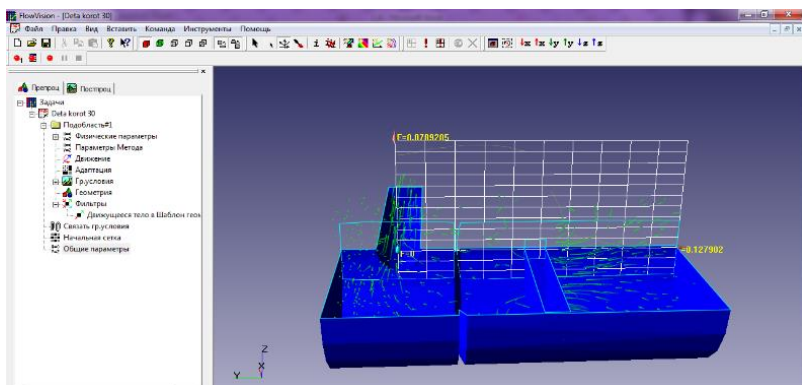


Рисунок 5.21 – Візуалізація процесу дозування поршиневим дозатором

У запропонованій імітаційній моделі є можливість зміни параметрів складових елементів (розмірів та форми вихідного каналу; розмірів та форми корпусу; форми поверхні та лінійної швидкості переміщення поршня) дозувального пристрою, виду/властивостей в'язкого харчового продукту. Це дає можливість критично розглянути різні конструкційні варіанти дозатора з метою вибору оптимального за певних вхідних даних або встановлених критеріїв.

На основі проведених числових розрахунків та використавши методологію проведення багатофакторного активного експерименту (за вагомі фактори впливу прийнято співвідношення діаметрів мірної ємності і вставки, динамічну в'язкість харчового продукту, величину радіуса заокруглення або

фаски при вершині вставки), отримали поліноміальні рівняння:

$$P = (-46,964) - 1,746f + 85,362\frac{D}{a} - 13,433\eta - 2,756f\frac{D}{a} - 0,485f\eta + 22,769\eta\frac{D}{a}$$

та

$$P = (-68,506) - 2,44r + 87,708\frac{D}{a} - 12,025\eta - 0,825r\frac{D}{a} - 0,474r\eta + 21,8\eta\frac{D}{a},$$

де p – тиск, потрібний для переміщення поршня; f – величина фаски; r – радіус заокруглення; η – динамічна в'язкість; $\frac{D}{a}$ – співвідношення діаметрів мірного циліндра і насадки (вставки).

Отримані рівняння регресій дають можливість визначити величину впливу вхідних величин (геометричних параметрів насадок, співвідношень діаметральних розмірів та величин динамічної в'язкості) на вихідну величину (відгук) – тиск, необхідний для руху поршня із заданою швидкістю та із врахуванням обмежень силової дії на продукт.

Дозатори об'ємного типу сьогодні досить широко використовуються і для в'язко-пластичних харчових продуктів, тому що вони прості за конструкцією, забезпечують достатньо високу продуктивність. Разом із тим потребують значних матеріальних і часових витрат для усунення систематичної і випадкової складових похибки дозування. Для забезпечення точності дозування в межах 0,5 – 1,0 % застосовують вагові або об'ємно-вагові дозатори. Вони значно легше переналагоджуються на різні величини дози та менш чутливі до неоднорідних властивостей продукції. Основною перепорою до їх широкого впровадження є відсутність глибоких наукових досліджень через складність опису взаємодії робочих органів дозатора із в'язко-пластичною продукцією. Ця проблема може бути вирішена через застосування методів імітаційного моделювання.

Під час моделювання прийнято такі припущення:

- продукція має однорідні властивості;
- продукція переміщається нерозривним потоком і поздовжній згин

продукції не відбувається;

- на етапі моделювання пружну деформацію і релаксацію не враховуємо, тому що вони виникають після завершення дозування.

Система зважування враховує три складові: вагу продукції, що перемістилася у зважувальну ємність в будь-який момент часу; зусилля від тиску продукції, що переміщається живильником; зусилля опору, що характеризує реологічні властивості продукції.

Формування дози продукції в тарі наведено сукупністю чотирьох характерних етапів (рис. 5.22):

- перший – переміщення продукції живильником і момент її удару по дну тари;
- другий – формування конуса продукції у тарі;
- третій – наповнення тари;
- четвертий – завершення дозування (виникають додаткові зусилля деформації конуса).

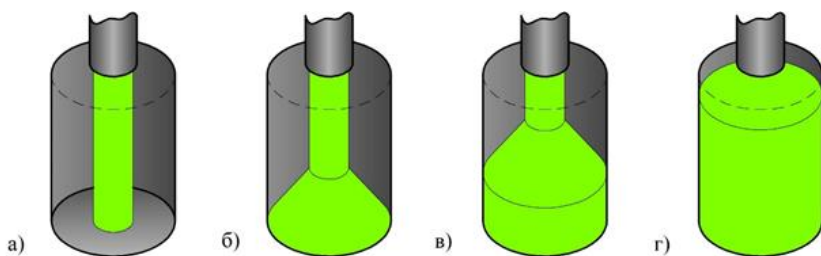


Рисунок 5.22 – Етапи наповнення тари в'язко-пластичною продукцією: а) початковий – момент удару продукції по дну тари; б) формування конуса – перехідний процес нестійких навантажень на систему зважування; в) наповнення – основна частина дозування, навантаження приймає відносно стабільний характер; г) завершення – виникають додаткові зусилля від деформації конуса

Конус продукції, який утворюється в тарі під час фасування, доречно розглядати як набір перерізів, товщина яких прямує до нуля (рис. 5.23).

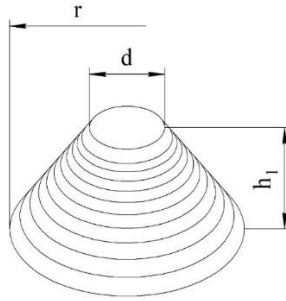


Рисунок 5.23 -Модель конуса продукції в споживчій тарі

Висота конуса визначається реологічними властивостями продукції:

$$h_1 = f(\eta_e).$$

Переміщення продукції у вигляді конуса залежить від досягнення нижніми перерізами конуса радіусу тари. Приріст площі основи конуса залежить також і від продуктивності живильника. Тобто

$$S = Q \frac{dv}{dt}$$

Комп'ютерна модель подачі продукту в тару побудована як через нерухомий, так і рухомий патрубок.

Для дозатора із нерухомим патрубком (рис. 5.24) різниця тисків у патрубку Δp_2 визначається:

$$\Delta p_2 = \frac{8 \cdot Q \cdot \eta_{ef} \cdot l_2}{\pi \cdot (d/2)^4},$$

де η_{ef} – ефективна в'язкість продукції; l_2 – довжина патрубка; d – діаметр патрубка.

Різниця тисків після проходження конфузора Δp_1 , визначається:

$$\Delta p_1 = \frac{128 \cdot Q \cdot \eta_{ef} \cdot l_1 (D^3 - d^3)}{3 \cdot \pi \cdot D^3 \cdot d^3 (D - d)}.$$

Тиск у камері перед конфузоровим P_2 , що дає можливість забезпечити задану продуктивність, визначається:

$$P_2 = \tau + \Delta p_1 + \Delta p_2.$$

Для забезпечення заданого тиску і продуктивності частота обертання шнека-живильника за заданих його геометричних параметрах має бути:

$$n = \left(\frac{\pi \cdot D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi}{12 \cdot \eta_{ef}} \cdot \left(\frac{P_2 - P_1}{L} \right) \cdot F_p + Q \right) \cdot \frac{2}{F_d \cdot \psi \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi'}$$

де H – крок гвинтової поверхні шнека; D – зовнішній діаметр шнека; d – діаметр вала шнека; ϕ – кут нахилу гвинтової лінії шнека; F_p – коефіцієнт форми потоку під дією тиску; F_d – коефіцієнт форми гвинтової поверхні шнеку; P_1 – тиск продукції у зоні завантаження.

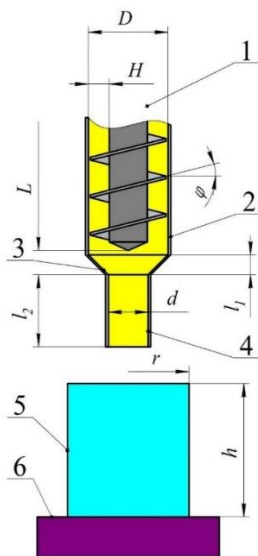


Рисунок 5.24 – Схема дозатора із нерухомим патрубком: 1 – шнек; 2 – корпус; 3 – конфузор; 4 – патрубок; 5 – тара; 6 – зважуючий елемент

Результати числових розрахунків дозатора із нерухомим патрубком наведено на рис. 5.25.

Відповідно до графіка зміни тиску в продукті можна констатувати, що залежність є нелінійною. Цей факт ускладнює реалізацію зворотнього зв'язку в мехатронній зважувальній системі.

Поряд із цим значне падіння тиску після зупинки подачі продукції пояснює суттєві додаткові зусилля, що створює сама подача продукції.

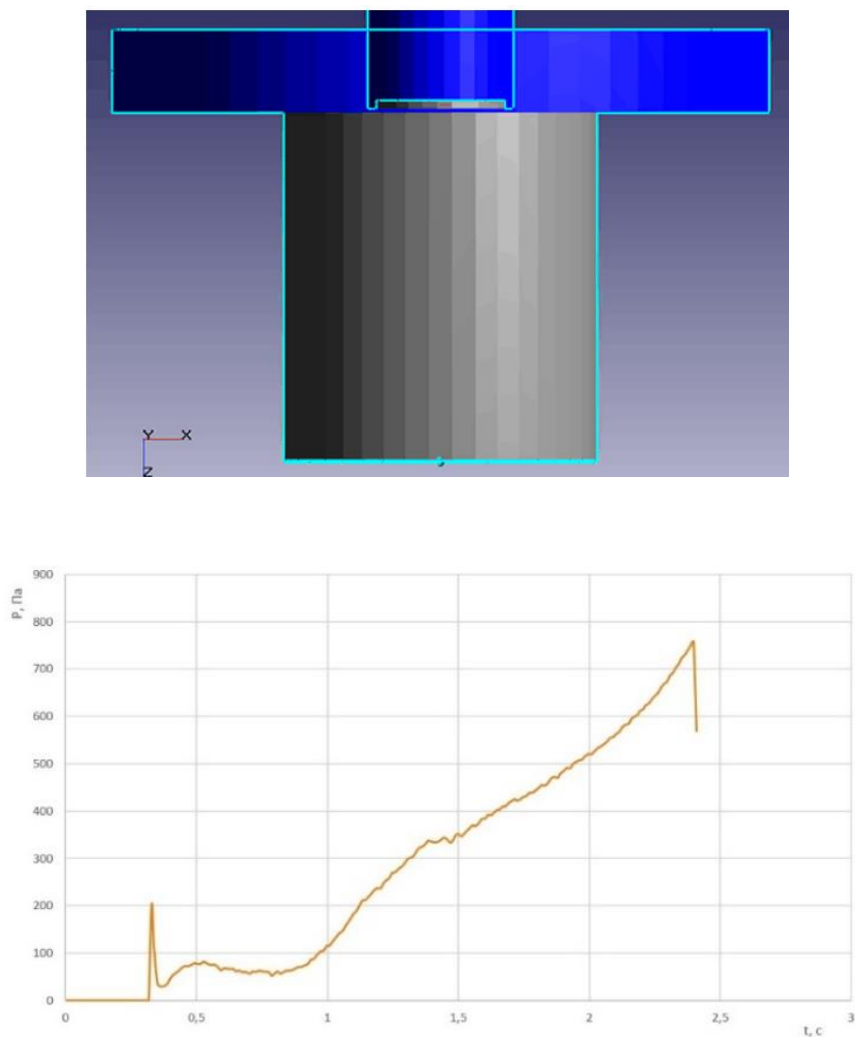


Рисунок 5.25 – Результати імітаційної моделі дозування в'язко-пластичної харчової продукції: а – імітаційна модель; б – зміна тиску в продукції під час дозування

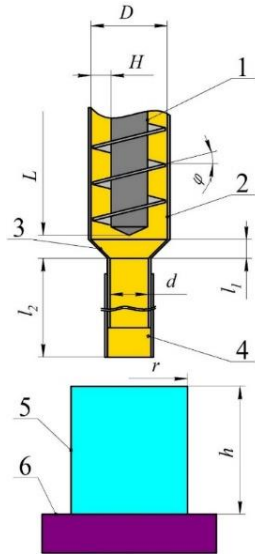


Рисунок 5.26 – Схема дозатора із рухомим патрубком: 1 – шнек; 2 – корпус; 3 – конфузор; 4 – телескопічний патрубок; 5 – тара; 6 – зважуючий елемент

У випадку виконання патрубку телескопічним та рухомим виникає додатковий опір переміщенню продукції і для забезпечення заданої пропускної здатності потрібно в продукції створювати додатковий тиск. Зміну довжини патрубку можна визначити:

$$l_2 = l_b - \frac{Q \cdot t_i}{\pi \cdot r^2} + \Delta h$$

де l_2 – поточне значення довжини патрубку; r – радіус тари; t_i – поточне значення часу; Δh – початкова позиція патрубку; l_b – початкова довжина патрубку.

Результати імітаційного моделювання дозатора із рухомим патрубком наведено на рис. 5.27.

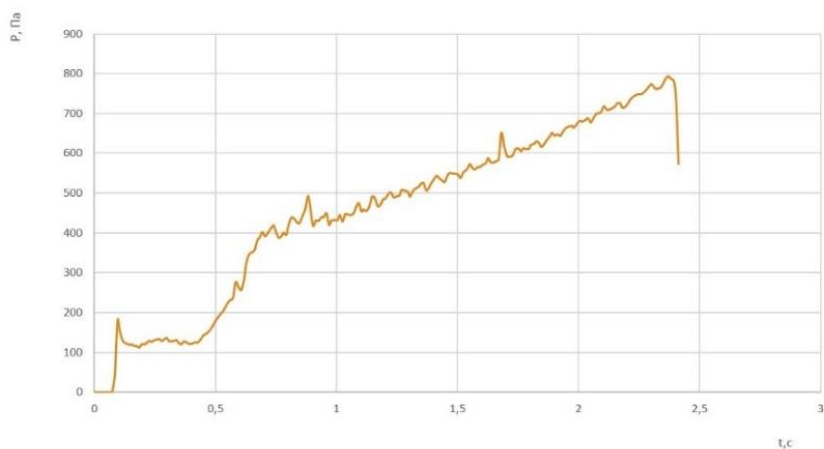
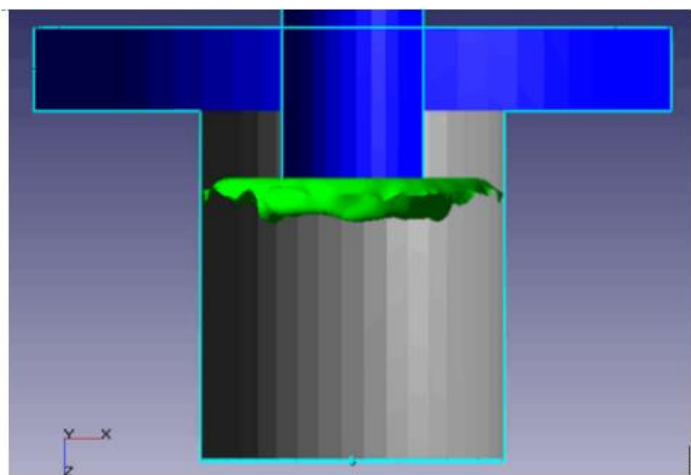


Рисунок 5.27 – Результати імітаційного моделювання дозування в'язко-пластичної харчової продукції із використанням рухомого патрубку: а – імітаційна модель; б – зміна тиску в продукції під час дозування

Відповідно одержаним результатам розрахунків, можна констатувати, що при застосуванні рухомого патрубку початковий удар продукції по днищу упаковки м'якший, а наповнення характеризується лінійною залежністю.

За результатами розрахунків визначено зусилля, що сприймає зважувальна система (рис. 5.28).

При порівнянні графіків навантаження на систему зважуванням видно, що відсутність конуса деформації збільшує загальні навантаження на систему. Поряд із цим залежність близька до лінійної, що спрощує апроксимацію залежності простою функцією, тобто вирішує задачу зворотнього зв'язку для мехатронного модуля. Значне падіння навантажень у кінці обох графіків вказує на доцільність використання двоетапного формування дози.

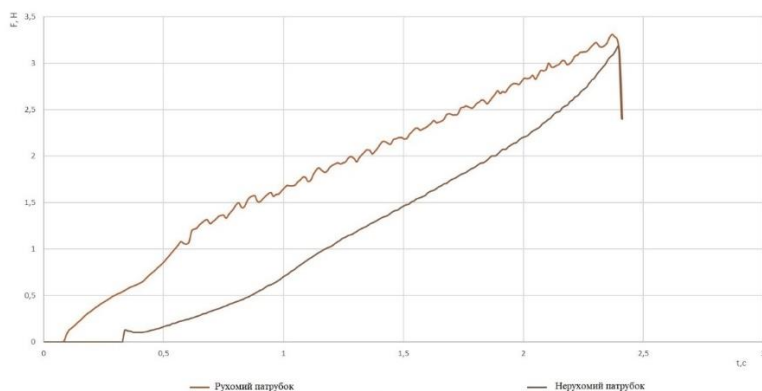


Рисунок 5.28– Зусилля, що сприймає система зважування під час дозування дозування в'язко-пластичної продукції

Застосування двоетапного способу формування дози призводить до суттєвого збільшення тривалості дозування, тобто до зменшення продуктивності ФМ. Для забезпечення високої точності дозування і значної продуктивності доречно використовувати дозатори комбінованого типу (об'ємно-вагові). У таких дозаторах груба доза (до 90% від загальної величини дози) буде формуватись об'ємним способом, а точна – ваговим (10%).

Загальний вигляд функціональних залежностей зміни зусилля на вагових системах за різних способів формування дози наведено на рис. 5.29.

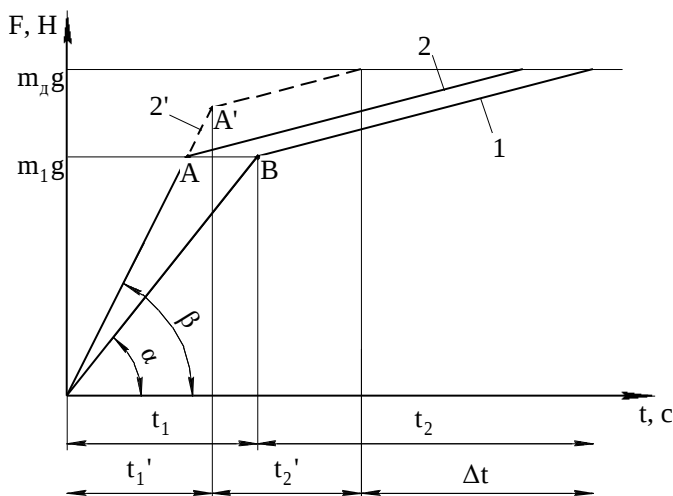


Рисунок 5.29 – Зміна зусилля, що сприймає зважувальна система за різних способів формування дози: 1 – зміна ваги з рухомим патрубком; 2 – зміна ваги з не рухомим патрубком; 2'- комбінований спосіб дозування; β – кут, що відповідає максимальній швидкості переміщення дози продукції, без втрати її властивостей; $\alpha = \beta - f(\Delta P)$ – кут, що відповідає швидкості формування дози під час застосування рухомого патрубка; m_1g – навантаження на систему зважування при якому відбувається перехід до етапу точного дозування; m_dg – зусилля, що відповідає сформованій дозі продукції; t_1 – час формування грубої дози; t_2 – час формування точної дози; Δt – різниця тривалості формування дози продукції при ваговому та комбінованому способах

На основі виконаного морфологічного аналізу та синтезу конструкцій дозувальних пристроїв для в'язко-пластичної продукції встановлено, що реалізувати об'ємно-ваговий і ваговий спосіб дозування можна такими конструкційними схемами ФМ (рис. 5.30, 5.31).

У вагових дозаторах доза формується в споживчій тарі, що встановлена на зважувальну систему (здебільшого тензометричну). Формування «грубої» і «точної» частин дози забезпечується співвісно встановленими шнеками-живильниками. Для формування «точної» частини дози застосовують шнек

меншого діаметра і з меншим кроком.

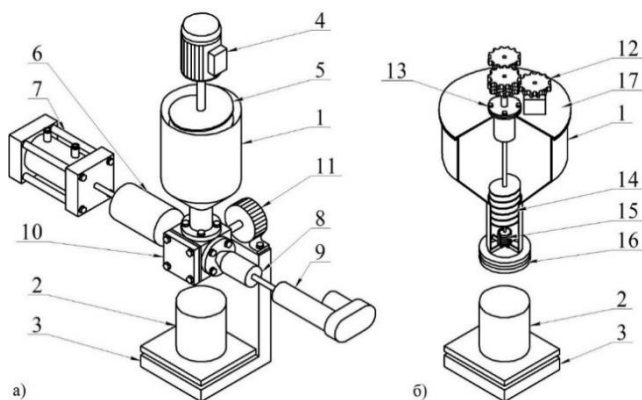


Рисунок 5.30 – Схема об'ємно-вагових (а) та вагових (б) дозаторів для в'язко-пластичних харчових продуктів: 1 – бункер; 2 – споживча тара; 3 – зважувальна система; 4 – привід живильника; 5 – шнек подачі продукції (живильник); 6 – поршневий дозатор для формування «грубої» частини дози об'ємним способом; 7 – пневмопривід; 8 – поршневий живильник для формування «точної» частини дози; 9 – привід живильника формування «точної» частини дози; 11 – привід запірної арматури; 12 – привід для шнеків формування «грубої» та «точної» частин дози; 13 – з'єднувальна муфта; 14 – шнек формування «грубої» частини дози; 15 – шнек формування «точної» частини дози; 16 – телескопічна насадка; 17 – кришка бункера

Зменшення впливу динамічної складової переміщення в'язко-пластичної продукції на точність дозування та якість наповнення тари, здійснюється за рахунок телескопічної насадки, яка залежно від наповнення тари переміщається від основи тари до її вершини. Після формування дози продукції клапан перекриває циліндр шнеків і обидва шнеки зупиняються.

В об'ємно-вагових дозаторах «груба» частина дози формується поршневим дозатором, а «точна» частина дози – живильником, яким є поршневий живильник 8, робота якого узгоджується системою керування з роботою поршневого дозатора 6 і запірної арматури 10.

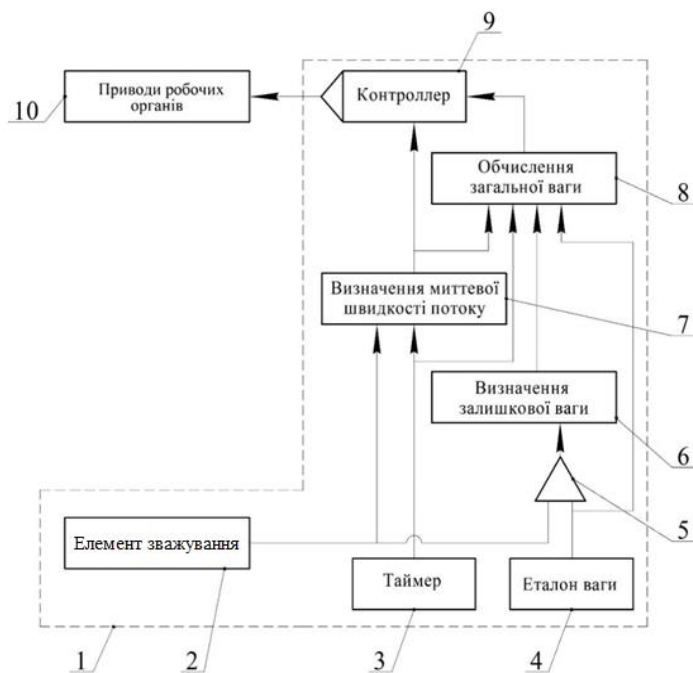


Рисунок 5.31 – Схема керування системою формування «грубої» і «точної» частин дози в'язко-пластичних харчових продуктів

5.2.3 Моделі роботи функціональних модулів машин-автоматів пакування дрібно-штучних і штучних продуктів у споживчу тару

Імітаційне моделювання виконаємо для ФМ формування тришовного пакета флоу-пак та ФМ для перевантаження штучних виробів із застосуванням програми AnyLogic.

На першому етапі розроблено сигнальний граф ФМ в просторі програми AnyLogic, який є орієнтованим графом та відповідає лінійним або лінеаризованим системам рівнянь математичної моделі технологічної системи і відображає причинно-наслідковий зв'язок між змінними моделі (рис. 5.32).

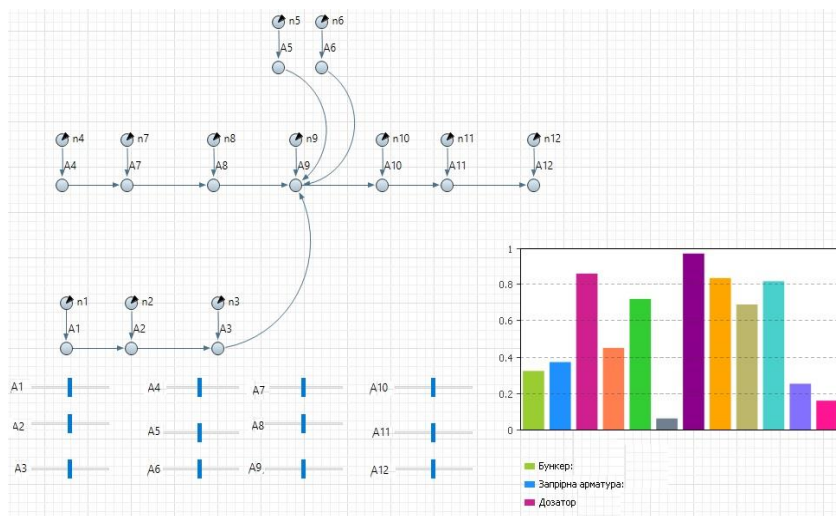


Рисунок 5.32 – Структурний граф ФМ формування тришовного пакета

Одним із способів застосування кінцевого графа є врахування положення, що графи – це топологічна форма інтерпретації системи компонентних рівнянь, в яких $A_1 - A_{12}$ – пристрої ФМ пакувальних машин; $p_1 - p_{12}$ – змінні входні величини (енерговитрати, масовитрати, економічні затрати) (табл. 5.15)

Таблиця 5.15 – Інтерпретація структурного графа ФМ формування тришовного пакета

Технологічні переходи	Позначення	Змінні функціональні модулі
1	2	3
Завантаження продукту	A1	Бункер – накопичувач
Запірна арматура	A2	Клапанні, шибєрні, золотникові
Дозування/фасування	A3	Вагове, за часом
Амортизація плівки	A4	Механізм з натягнуною петлею матеріалу, багатопетлеві із кількома роликками

1	2	3
Гальмування і зупинка плівки	A5	Перегинаючі затискачі, самозаклинювальні затискачі, вакуумні затискачі
Гальмування рулону	A6	Механізми з постійним гальмівним моментом, механізм зі змінним плечем гальмування, механізми з гальмуванням колодкою на периферії рулону, механізми з гальмуванням стрічкою на периферії рулону
Утворення плівкового рукава	A7	Рукавоутворювач комірцевого типу, плоского тришовного або типу «дой-пак» пакета, механізм утворення чотиришовного плоского пакета
Утворення поздовжнього зварного шва	A8	Механізм термоконтактного, термоімпульсного, інфрачервоного випромінювання, ультразвукового, тертям і токами високої частоти зварювання
Утворення поперечних зварних швів	A9	Механізм термоконтактного, термоімпульсного, інфрачервоного випромінювання, ультразвукового, тертям і токами високої частоти зварювання
Протягування рукава	A10	Механізм з протягувальними роликами; механізм на основі безштокового пневмоциліндра; механізм протягування з натяжними пасами
ідрізання пакету	A11	Універсальний ніж; ніж - гільйотина
Нанесення дати	A12	Дататор струменевий; дататор термопринтерний

В перетвореному структурному графі формування тришовного пакета (рис. 5.33) $A_1 - A_{12}$ – це вхідна величина, яка відображає кінематичний час виконання операції, переходів ФМ.

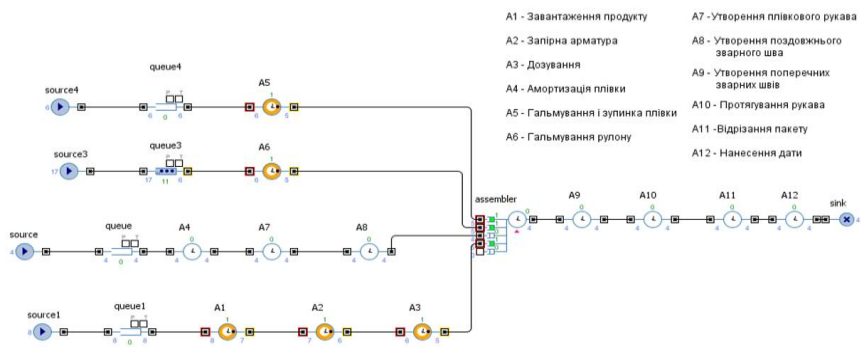


Рисунок 5.33 – Перетворений структурний граф виготовлення тришовного плоского пакета в просторі програми AnyLogic

Гістограма, наведена на рис. 5.34, відображає кінематичний час виконання окремих операцій.

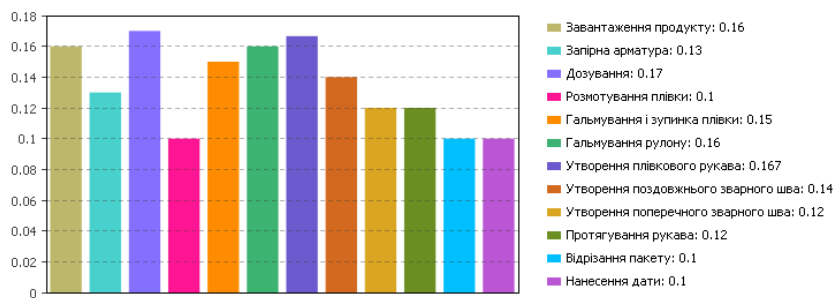


Рисунок 5.34 – Гістограма часу виконання окремих операцій в просторі програми AnyLogic

За допомогою такої гістограми відслідковуються найбільш тривалі операції або переходи. У подальшому, провівши аналіз і синтез кінематичних параметрів робочих органів ФМ, можна зменшити тривалість операції, переходу, збільшивши при цьому продуктивність.

Наступним результатом досліджень є енерговитрати. В програмі AnyLogic побудовано гістограму енерговитрат (рис. 5.35).

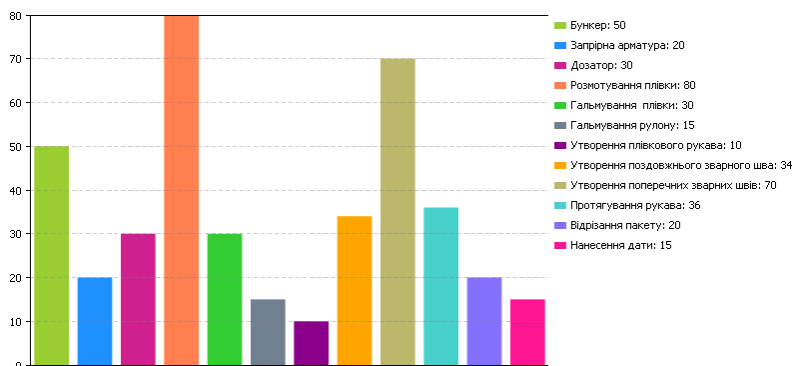


Рисунок 5.35– Гістограма енерговитрат в просторі програми AnyLogic

За допомогою такої гістограми відслідковуються робочі органи, які на виконання операцій використовують найбільшу кількість енергії. Динамічний аналіз і синтез ФМ дасть можливість знайти шляхи мінімізації енергії при виконанні відповідної операції.

У програмі AnyLogic, за наведеною методикою, виконано аналітичні розрахунки параметрів різних типових ФМ ПМ. Розрахунки проведено за допомогою таких підходів моделювання: дискретно-подієвого, системної динаміки та агентного. Виділено найбільш вдалі конструктивні рішення ФМ пакувальної машини вертикального типу для дрібно-штучних харчових виробів за енерговитратами та тривалістю кінематичного циклу виконання операції, переходу. Встановлено, що пристрій розмотування плівки із рулону та пристрій зварювання швів потребують удосконалення.

Імітаційне моделювання ФМ перевантаження штучних виробів виконано на моделі маніпулятора, який розміщує штучні вироби в певному порядку для їх пакування у споживчу упаковку. Маніпулятор у моделі реалізується як агент із чотирма діаграмами стану. Він підтримує два типи інтерфейсу: функції moveTo, stop і т.д., а також об'єкт діаграми процесу UseRobot, який може використовуватися у діаграмах процесу основної бібліотеки, як це і зроблено в цій моделі (рис. 5.36).

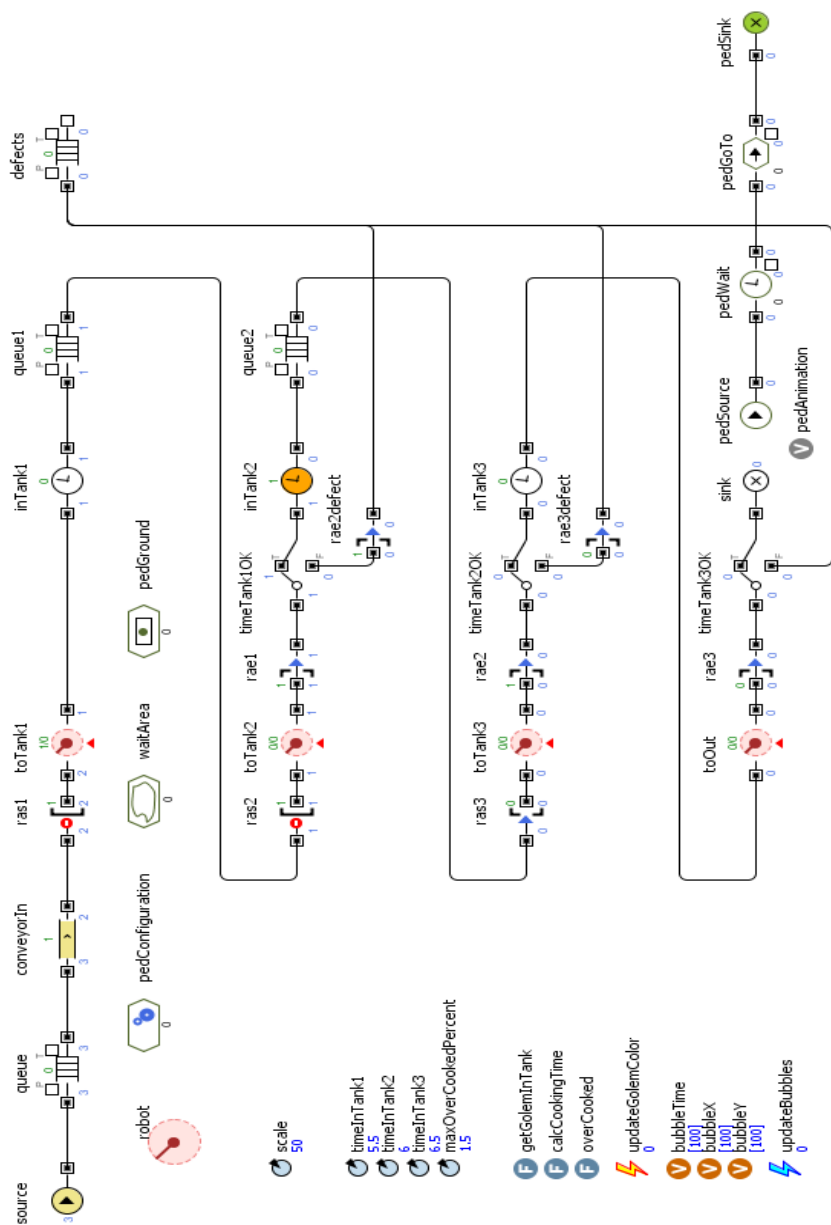


Рисунок 5.36– Логістика моделі ФМ перевантаження штучних виробів у пакувальних машинах

У новітніх пакувальних машинах для оброблення штучного і дрібно-штучного продукту використовують ФМ із пневмосопловими системами.

Для вибору раціональної конструкції ежектора, враховуючи різні фізико-механічні властивості продуктів, потрібно виконати моделювання системи із врахуванням кінематичних і динамічних характеристики робочої речовини під час ежекції.

Актуальним завданням під час моделювання є створення методології проведення CFD (Computational Fluid Dynamics) розрахунків з метою їх системного застосування при проведенні досліджень. Окрема увага має бути приділена моделям визначення раціональних значень параметрів систем обдуву і витратним характеристикам стисненого повітря.

Під час вирішення поставлених завдань, використовувався аналіз і узагальнення результатів досліджень [303, 304].

Дослідженнями встановлено, що в ежекторних системах ФМ пакувальних машин продуктивність є визначальним параметром для роботоздатності системи.

Дослідні моделі поділені на дві основні категорії:

- 1 – стійкі термодинамічні моделі, які поділяють на однофазну модель потоку і модель двофазного потоку;
- 2 – динамічні моделі, які також поділяють відповідно із фазами [304].

Процес побудови моделі для чисельного рішення поділено на кілька кроків (рис. 5.37).

На першому кроці формують диференціальні рівняння в часткових похідних, якими описується безперервний процес, а також допоміжні (граничні і початкові) умови (які перетворюються в дискретну систему алгебраїчних рівнянь). Цей крок називається дискретизацією.

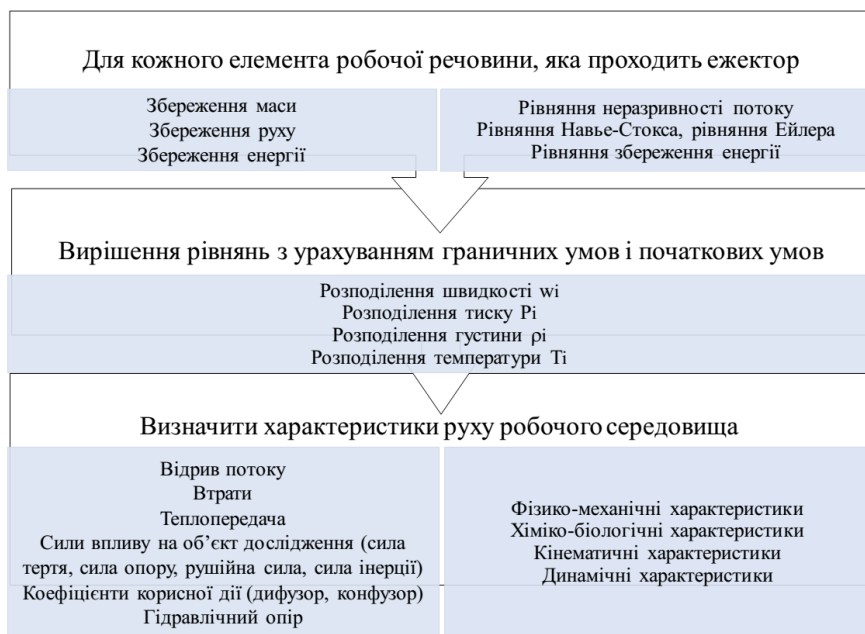


Рисунок 5.37 – Алгоритм дій імітаційного моделювання на принципах гідрогазодинаміки для ежекторних систем ФМ пакувальних машин

Робочий процес оброблення упаковки у ФМ можна привести до такого явища. Високонапірний (робочий) газ, що характеризується повним тиском P^* і температуру гальмування T^* , підводиться крізь сопло 1 (рис. 5.38) у змішувальну камеру 4. У вхідному каналі камери змішувача встановлюється статичний тиск P_2 , який має значення менше повного тиску низьконапірного газу P_2^* ежекції.

Під дією різниці тисків низьконапірний газ (повітря) спрямовується у камеру змішування. В кінці камери 4 після завершення процесу змішування газ має параметри P_3 , T_3 , ω_2 . В пакувальних машинах широко використовують L-подібний ежектор.

Ежектор складається із активного сопла 1, яким подається робоче середовище до приймальної камери 2 (для підведення потоку ежекції),

пасивного сопла 3 для підведення повітря, камери змішування 4, дифузора 5, призначеного для підвищення статичного тиску. В деяких компоновках дифузор або пасивне сопло можуть бути відсутні [305, 306].

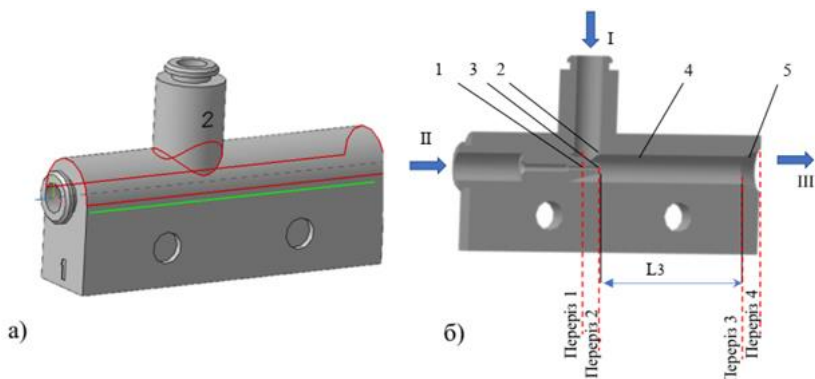


Рисунок 5.38 – Загальний вид конструкції L-подібних ежекторів соплових систем у пакувальних лініях: а) класична 3D модель із основними зонами (пере-різами) зміни тиску; б) 3D розроблена модель із змінними прохідними пере-різами; I – канал підведення робочого середовища в сопловий переріз; II – вхідний напірний канал; III – вивідний (вихлопний) канал

Перерізи - 1, 2, 3, 4 є основними зонами дослідження тиску p , температури T , швидкості потоку ω , масових витрат G , σ коефіцієнтів відновлення тиску. На виході дифузору статичний тиск газу p_4 більше статичного тиску в кінці камери змішування p_3 . Якщо позначити масову витрату робочого потоку G_1 , а масові витрати газу ежекції G_2 , то співвідношення $n = G_2/G_1$ є коефіцієнтом ежекції. При цьому відношення статичного тиску робочого газу перед соплом до статичного тиску газу ежекції p_1/p_2 буде ступенем розширення. Відношення статичного тиску на виході з дифузора до статичного тиску газу ежекції p_4/p_2 визначає ступінь стиснення або ступінь підвищення тиску. При моделюванні у просторі PPP FlowVision, основним геометричним параметром ежектора є відношення площин вихідних соплових перетинів для робочого потоку і потоку ежекції:

$$\alpha = \frac{F_1}{F_1} = \frac{F_1}{F_3 - F_1}$$

де F_1, F_2 – відповідно площа вихідних соплових перерізів для підведення робочого потоку і потоку ежекції; F_3 – площа перетину циліндричної камери змішування (переріз 3). Ежектор з великим значенням α вважається високо напірним, але має малий коефіцієнт ежекції. І навпаки, ежектор з малим α дає можливість отримати великий коефіцієнт ежекції, але характеризується малим напором. Другий геометричний параметр під час імітаційного моделювання ежектора – відносна довжина камери змішування L_1/d_3 – також впливає на динамічні характеристики ежектора.

Третій геометричний параметр моделі ежектора - ступінь розширення дифузора $f = F_4/F_3$ – приймалась як відношення площі перерізу на виході з дифузора до площини на вході в нього. Припущенням дослідної моделі FlowVision приймалось, що ежектор працює при заданому статичному тиску на виході із дифузора (наприклад, при виході в атмосферу або всередину споживчої упаковки із постійним тиском). Ступінь розширення дифузора f розглядалась як параметр, який суттєво впливає на режими роботи ежектора. Для проведення моделювання розроблено чотири 3D-моделі ежектора з різними характеристиками прохідного робочого сопла (рис. 5.39). Під час моделювання ежектора також прийняті припущення про одномірність потоку. Закон збереження маси має вигляд:

$$G_3 = G_1 + G_2, \text{ тоді } G_3/G_1 = 1 + n.$$

На основі закону збереження енергії можна записати:

$$G_3 \left(c_3 T_3 + \frac{w_3^2}{2} \right) = G_1 \left(c_1 T_1 + \frac{w_1^2}{2} \right) + G_2 \left(c_2 T_2 + \frac{w_2^2}{2} \right) + Q,$$

де Q – загальна кількість тепла, яке підводиться до повітря (газу) в секунду через стінку змішувальної камери. При розрахунках лінійних ежекторів приймаємо, що $Q = 0$ і гази, які змішуються, однорідні і мають однакову теплоємність.

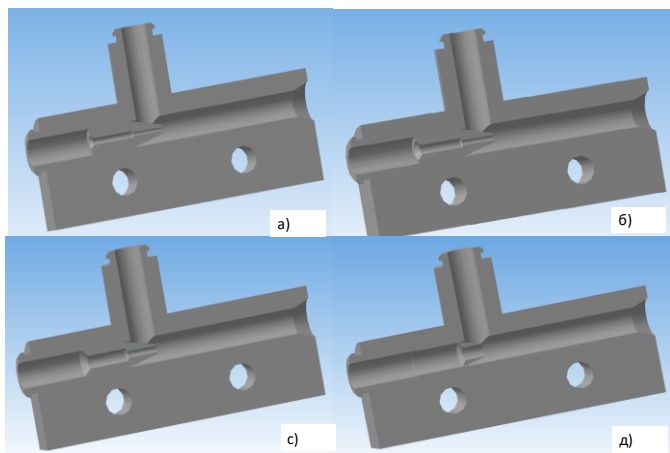


Рисунок 5.39 – Перерізи імітаційних 3D-моделей L-подібного ежектора:
 а) діаметр сопла 0,5 мм; б) діаметр сопла 0,7 мм; в) діаметр сопла 1 мм;
 д) діаметр сопла 2 мм

Приймаємо припущення:

$$(n + 1) \frac{T_3^*}{T_1^*} = 1 + n \frac{T_2^*}{T_1^*}.$$

Введені співвідношення $\Theta = \frac{T_2^*}{T_1^*}$ дали можливість отримати у спрощеному вигляді формули для розрахунку:

$$\frac{T_3^*}{T_1^*} = \frac{n\Theta + 1}{n + 1};$$

$$\frac{a_{k3}}{a_{k1}} = \sqrt{\frac{n\Theta + 1}{n + 1}}.$$

Витрати повітря (газу) в будь-якому перетині сопла розраховувались за формулою:

$$G = m\sigma_1 \frac{p^* F q(\lambda)}{\sqrt{T^*}}$$

де m розраховується за емпіричними формулами і для повітря $m = 0,0404 \text{ м}^{-1} \cdot \text{с} \cdot \text{К}^{0,5}$; σ_1 – коефіцієнт відновлення тиску в активному соплі.

Із виразу для визначення масових витрат можна одержати формулу для зв'язку параметрів ежектора в перетинах ежекції 1 та 3:

$$\frac{p_3^*}{p^*} = \sigma_1 \frac{\sqrt{\left(1 + n\theta \frac{c_2}{c_1}\right) (n+1) \frac{c_2}{c_1}}}{F_3/F_1 \cdot q(\lambda_3)} q(\lambda_1).$$

У випадку звукового або надзвукового режимів роботи ежектора приймаємо: $q(\lambda_1) = 1$. Рівняння руху робочого середовища має вигляд:

$$G_3\omega_3 + p_3F_3 = G_1\omega_1 + p_1F_1 + G_2\omega_2 + p_2F_2 - P_{mp},$$

де $(G\omega + pF)$ – повний імпульс у відповідному перерізі; P_{mp} – сумарна сила тертя по бічній поверхні змішувальної камери. Для спрощення виразу часто приймають $P_{mp} = 0$. В іншому випадку силу P_{mp} можна визначити за формулою [307]:

$$P_{mp} = \zeta \frac{L_3}{d_3} \frac{p_3\omega_3^2}{2} F_3$$

де ζ – коефіцієнт опору. Для турбулентного режиму приймаємо, що $\zeta = const$. Загальне значення $\zeta = 0,015 - 0,02$ [303]. Враховуючи значення приведеної швидкості потоку ежекції [308], отримаємо:

$$P_{mp} = \zeta \frac{L_3}{d_3} G_3 \lambda_3 a_{k3}.$$

Рівняння імпульсів приймає наступний вигляд:

$$\left[z(\lambda_3) + \frac{1}{2} \chi \lambda_3 \right] \sqrt{(n+1)(1+n\theta)} = z(\lambda_1) + z(\lambda_2) n \sqrt{\theta},$$

де χ – приведена довжина тертя, обумовлена залежністю:

$$\chi = \zeta \frac{L_3}{d_3} \frac{2k}{k+1}.$$

Так як в ежекторах відношення L_3/d_3 зазвичай не перевищує межу 10 [309], то тертям можна знехтувати і використати формулу:

$$z(\lambda_3) \sqrt{(n+1)(1+n\theta)} = z(\lambda_1) + z(\lambda_2) n \sqrt{\theta}.$$

Виразимо коефіцієнт ежекції через відношення витрат за допомогою залежності [310]:

$$n = \frac{G_2}{G_1} = \frac{\sigma_2 p_n^* q(\lambda_2) F_2 \sqrt{T_1^*}}{\sigma_1 p^* q(\lambda_1) F_1 \sqrt{T_2^*}}$$

Після спрощення отримаємо:

$$P_{mp} = \zeta \frac{L_3}{d_3} G_3 \lambda_3 a_{k3},$$

де σ_2, σ_1 – коефіцієнти відновлення тиску відповідно в активному і пасивному соплі $p_1^* = p^* \sigma_1$ і $p_2^* = p_n^* \sigma_2$.

Аналогічно вище наведеній послідовності розрахунку, отримані рівняння, які зв'язують параметри повітря (газу) в перетині 1 і 3 і коефіцієнту ежекції:

$$\frac{p_3^* q(\lambda_3) F_3 \sqrt{T_1^*}}{p_1^* q(\lambda_1) F_1 \sqrt{T_3^*}} = n + 1.$$

Приведені рівняння дають можливість визначити основні параметри в перетинах 1, 2, 3 за заданими геометричними параметрами і початкових параметрах потоку. Для розрахунку дифузора використовують рівняння нерозривності в формі:

$$\frac{p_4^* F_4 q(\lambda_4)}{\sqrt{T_4^*}} = \frac{p_3^* F_3 q(\lambda_3)}{\sqrt{T_3^*}}.$$

Коефіцієнт відновлення тиску в дифузоре σ_1 визначено за формулою:

$$\sigma_1 = \frac{p_4^*}{p_3^*} = \frac{p_4}{p_3^* q(\lambda_4)}.$$

Якщо задати статичний тиск p_4 на виході із дифузора, то рівняння нерозривності буде мати вигляд:

$$y(\lambda_4) = \frac{F_3 q(\lambda_3)}{F_4 \sigma_1}.$$

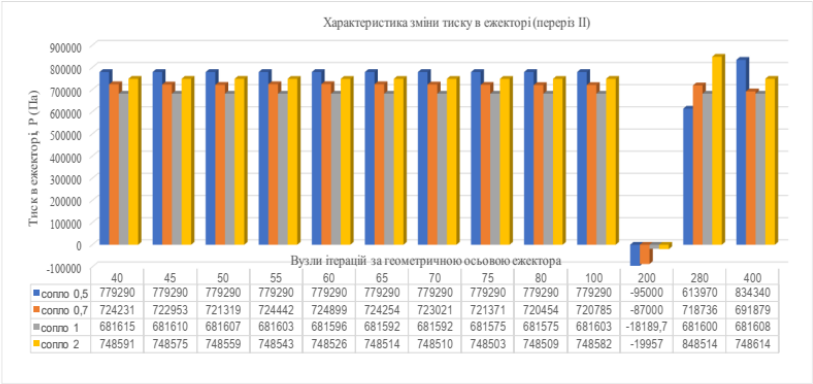
Враховуючи формулу для визначення повного тиску після змішування, матимемо вираз для визначення узагальненого значення тиску:

$$p_3^* = \frac{\alpha p_1^* + p_2^*}{1 + \alpha}.$$

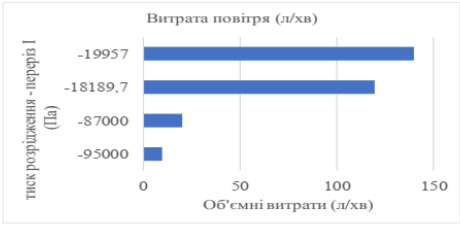
Приймемо величину $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ у межах нормальних значень [311] - (0,15-1,1) і відношення температур $0,3 < \Theta < 3,0$ для проведення імітаційного моделювання ежектора.

Для числових розрахунків імітаційних моделей прийнято такі вхідні

параметри: робоче середовище – повітря ($N_2+O_2+Ar+CO_2$); робочий тиск на вхідному перерізі ежектора – 10 бар, температура навколишнього середовища 293K, тиск оточуючого середовища – 1,013 бар. Результатами моделювання є характеристики зміни тиску і швидкості в перерізі сопла ежектора (рис. 5.40).



а)

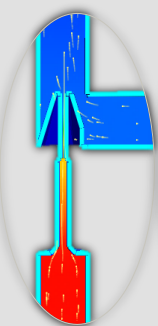
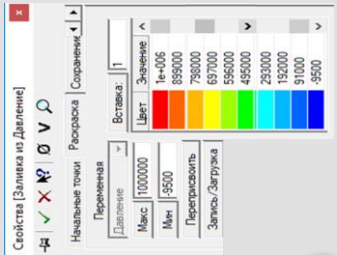
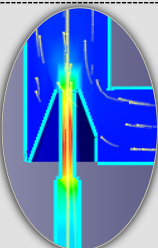
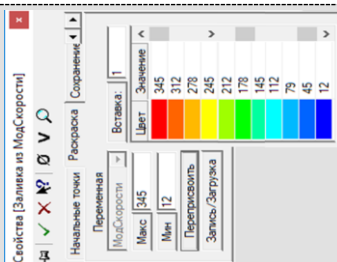
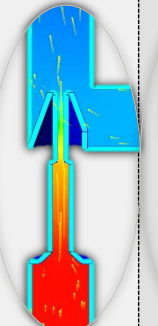
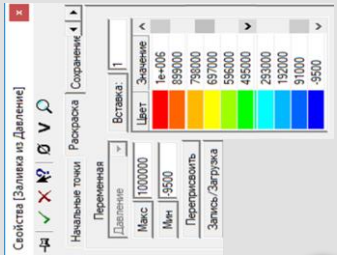
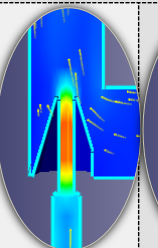
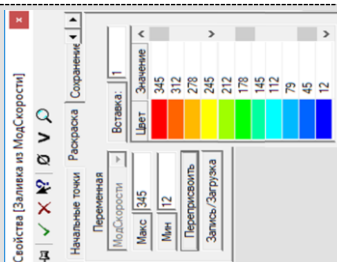
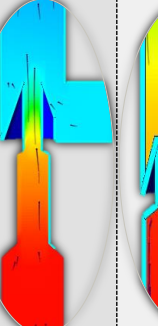
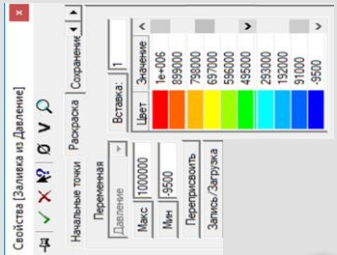
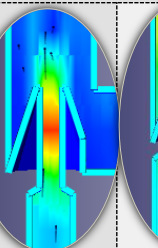
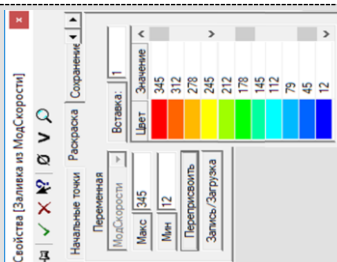
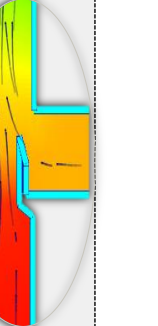
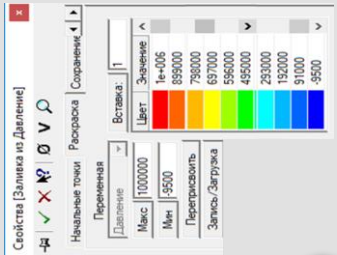
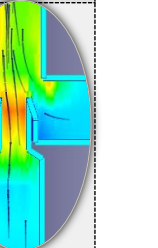
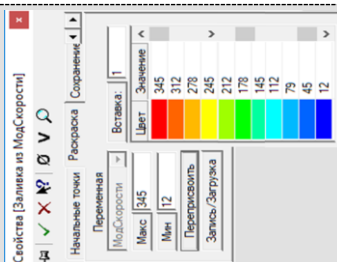


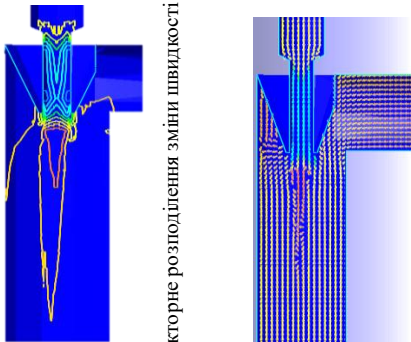
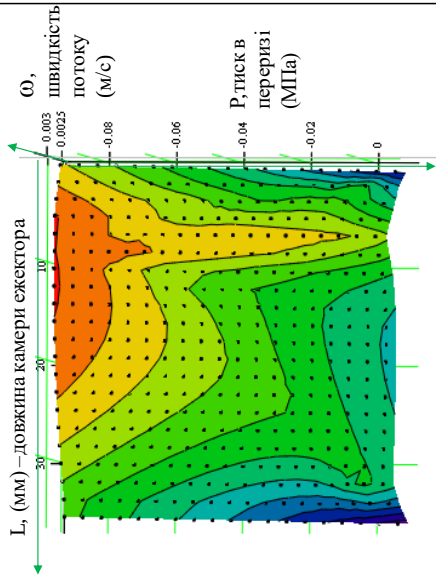
б)

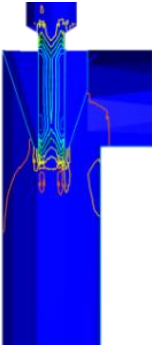
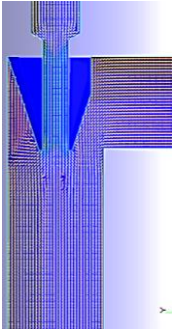
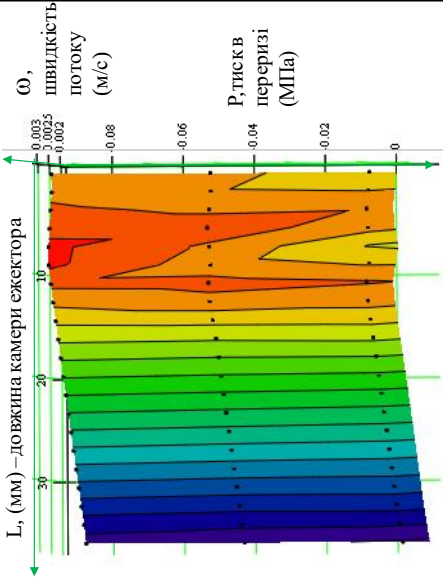
Рисунок 5.40– Узагальнені витратні характеристики і характеристики зміни тиску в системі L-подібного ежектора: а) зміна тиску в перехідному відрізку перерізу I; б) порівняння об’ємних витрат в залежності від розрідження в перерізі сопла ежектора 0,5;0,7;1;2

Для порівняльної характеристики кінематики і динаміки процесу подачі газів через пневмосоплові ФМ, за результатами обчислень побудований графік зміни робочих характеристик ежектора в сопловому перерізі (рис. 5.41) та отримані табличні характеристики для ежекторних систем (табл. 5.16 – табл. 5.17) з доповненим аналізом, проведеним в MathCAD (3D-графіки).

Таблиця 5.16 – Результати імітаційного моделювання L-подібного ежектора в структурі технологічного процесу пакувальної машини

Діаметр проходного сопла L-подібного ежектора	Імітаційна модель зміни тиску в перерізі L-подібного ежектора	Узагальнені характеристики моделі зміни тиску	Імітаційна модель зміни швидкості в перерізі L-подібного ежектора	Узагальнені характеристики моделі зміни швидкості
1				
2				
3				
4				

1	2	3	4	5
2	$\varnothing 0,7 \text{ мм}$	N2	 Векторне розподілення зміни швидкості	 ω, швидкість потоку (м/с) L, (мм) – довжина камери ежектора P, тиск в перерізі (МПа)

1	2	3	4	5
3	$\varnothing 0,7 \text{ мм}$	O2	 Векторне розподілення змін швидкості 	 ω, швидкість потоку (м/с) L, (мм) — довжина камери ежектора P, тис. в перерізі (МПа)

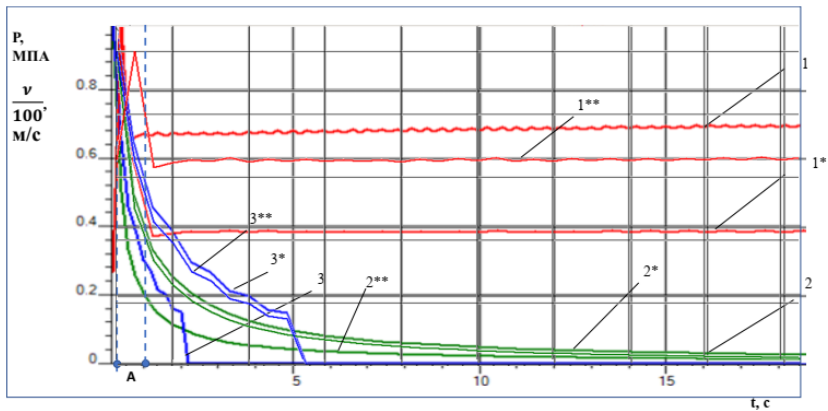


Рисунок 5.41– Зміна робочих характеристик ежектора в сопловому перерізі: 1- швидкість повітря; 1* - швидкість N2; 1** - швидкість O2; 2- тиск повітря; 2* - тиск N2; 2** - тиск O2; 3- потенційна енергія (повітря); 3* - потенційна енергія (N2); 3** - потенційна енергія(O2); А – зона зміни характеристик робочого середовища при проходженні перерізу II

Отримані результати дали можливість оцінити конструкцію, прийнятої для дослідження ежекційної системи, та визначити шляхи її вдосконалення за вихідними даними. Пошук ефективних рішень конструкції ежекторів здійснювався на основі їх синтезу, тобто пошук оптимальних параметрів. Прийнятий метод синтезу забезпечує вибір і оптимізацію параметрів, досліджуваних конструкцій ежекторних систем з точки зору мінімізації потужності по енергоспоживанню, оптимальної зони розпилення на задану поверхню та відповідності технологічним критеріям з урахуванням прийнятих обмежень (рис. 5.42).

Після проектування дослідного зразка пневмосилового ежектора проводиться експериментальне доведення до вихідних даних, тривалість і витрати якого будуть залежати від характеру технологічного процесу пакувальної машини, для якої розробляється цей ежектор.

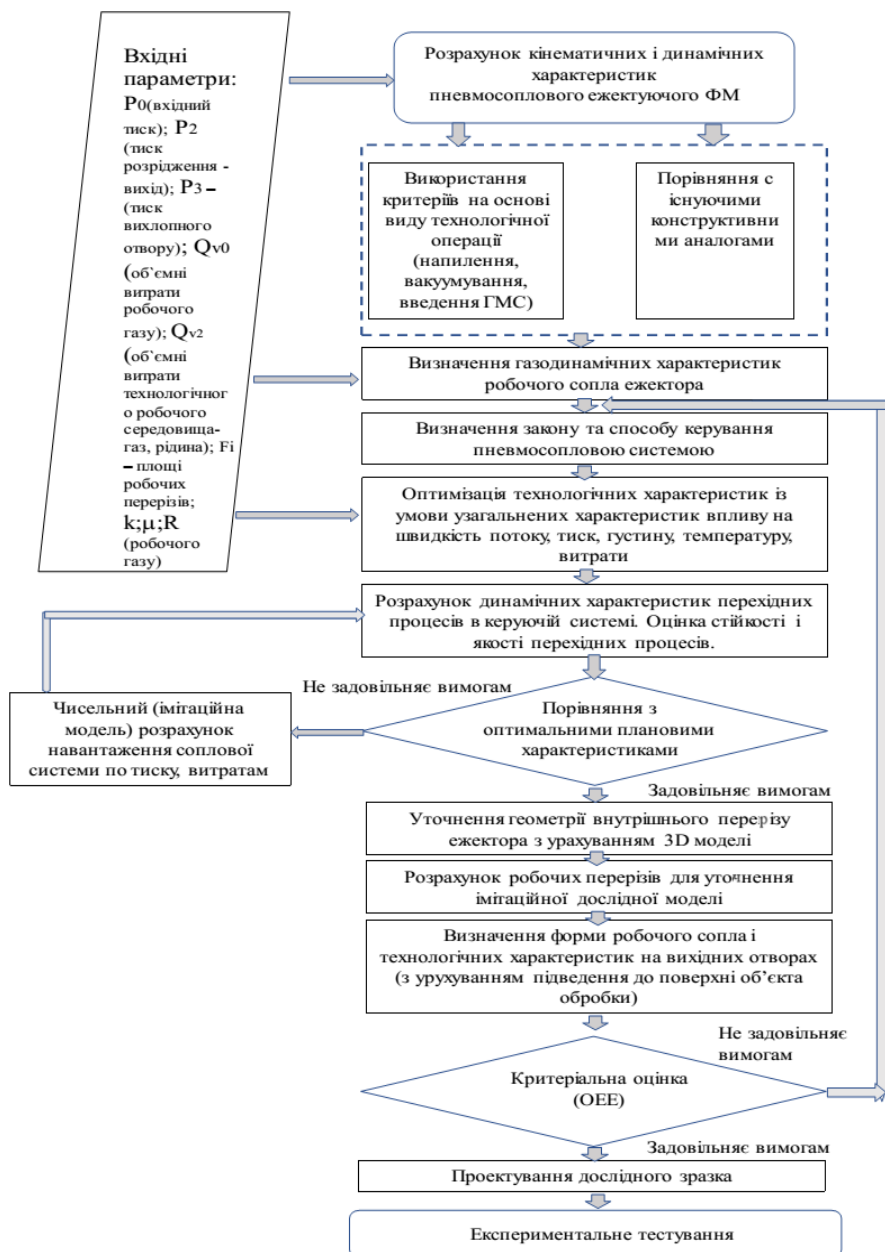


Рисунок 5.42 - Структура алгоритму методу синтеза пневмосоплового ежектуючого ФМ пакувальної машини

Параметри газу (робочого середовища), що рухається в каналі (сопловій системі), можуть бути змінені шляхом зовнішніх впливів (підведення тепла, зміна параметрів перерізу каналу і т.п.). Найчастіше такі фізичні дії використовують для збільшення швидкості течії газу або збільшення тиску. До дій зовнішнього впливу на пневмосоплові ежектуючі системи віднесено: 1. Геометричні - зміна площі поперечного перерізу каналу F . 2. Витратні - зміна секундної витрати M_c . 3. Механічні - підведення або відведення механічної енергії l_m . 4. Теплові - підведення або відведення тепла q_e . 5. Тертя - витрати енергії газу на тертя $l_{тер}$. Зміна (збільшення) впливів по довжині каналу відповідно позначені – dF , dM_c , dl_m , dq_e , $dl_{тер}$. При цьому всі ці зміни, крім $dl_{тер}$, можуть бути як позитивними, так і негативними.

Задача зводиться до встановлення залежності зміни параметрів газу від зміни величини перерахованих факторів дій. Розглянемо вплив втручань на зміну швидкості течії газу. Для моделі розрахунків використовуються такі залежності [308, 312-318]:

- узагальнене рівняння Бернуллі:

$$\frac{dp}{\rho} + wdw + dl + dl_{тер} = 0;$$

- рівняння стану:

$$dp = \rho R dT + RT dp;$$

- рівняння енергії:

$$c_p dT + wdw - dq_e + dl = \frac{k}{k-1} R dT + wdw - dq_e + dl = 0;$$

- рівняння витрат:

$$Q_v = \rho w F, dQ_v = w F dp + \rho F dw + \rho w dF,$$

розділивши його ліву і праву частину на Q_v одержимо:

$$\frac{dQ_v}{Q_v} = \frac{dp}{\rho} + \frac{dw}{w} + \frac{dF}{F}.$$

Швидкість звуку можна визначити:

$$a = \sqrt{kRT}.$$

Введемо заміну для введення у рівняння кінематичних величин в лівій частині (w – швидкість потоку, M – число Маха), а в правій – величини, які характеризують зміни фізичних впливів dF , dM_c , dl_m , dq_e , $dl_{тер}$.

Із рівняння стану маємо:

$$\frac{dp}{\rho} = RdT + RT \frac{d\rho}{\rho}.$$

Із рівняння витрат енергії отримано:

$$RdT = \frac{k}{k-1} dq_e - \frac{k}{k-1} dl - \frac{k}{k-1} wdw,$$

та із виразу для визначення швидкості звуку:

$$RT = \frac{a^2}{k}.$$

Підставимо в рівняння Бернуллі значення $\frac{dp}{\rho}$ одержимо:

$$RdT + RT \frac{d\rho}{\rho} + wdw + dl + dl_{тер} = 0.$$

Проводимо заміни в отриманому рівнянні, маємо:

$$\begin{aligned} & \frac{k}{k-1} dq_e - \frac{k}{k-1} wdw - \frac{k}{k-1} dl + \frac{a^2}{k} \frac{dQ_v}{Q_v} - \frac{a^2}{k} \frac{dw}{w} - \dots \\ & \dots - \frac{a^2}{k} \frac{dF}{F} + wdw + dl + dl_{тер} = 0, \\ & wdw \left(-\frac{k-1}{k} - \frac{a^2}{kw^2} + 1 \right) = \frac{a^2}{k} \frac{dF}{F} + \frac{k-1}{k} dl - dl - dl_{тер} - \dots \\ & \dots - \frac{a^2}{k} \frac{dQ_v}{Q_v} - \frac{k-1}{k} dq_e, \\ & wdw \left(\frac{w^2 - a^2}{kw^2} \right) = \frac{a^2}{k} \frac{dF}{F} - \frac{a^2}{k} \frac{dQ_v}{Q_v} + \left(\frac{k-1}{k} - 1 \right) dl - dl_{тер} - \dots \\ & \dots - \frac{k-1}{k} dq_e, \\ & \frac{wdw}{w^2} \left(\frac{w^2 - a^2}{k} \right) = \frac{a^2}{k} \frac{dF}{F} - \frac{a^2}{k} \frac{dQ_v}{Q_v} - \left(\frac{1}{k} \right) dl - dl_{тер} - \frac{k-1}{k} dq_e, \end{aligned}$$

Домножимо на k та розділимо на a^2 , отримаємо:

$$\frac{dw}{w} \left(\frac{w^2}{a^2} - 1 \right) = \frac{dF}{F} - \frac{dQ_v}{Q_v} - \frac{dl}{a^2} dl_{тер} - \frac{k-1}{a^2} dq_e.$$

Використавши визначення числа Маха: $M = \frac{w}{a}$, отримуємо рівняння для пояснення різних впливів на основні параметри роботи пневмосоплового ежектуючого пристрою в ФМ пакувальної машини.

Так, вплив на швидкість описуємо:

$$\frac{dw}{w}(M^2 - 1) = \frac{dF}{F} - \frac{dQ_v}{Q_v} - \frac{1}{a^2}dl - \frac{k}{a^2}dl_{\text{тер}} - \frac{k-1}{a^2}dq_e.$$

Для тиску:

$$\frac{dp}{p}(1 - M^2) = kM^2\left(\frac{dF}{F} - \frac{dQ_v}{Q_v}\right) - \frac{(k-1)kM^2}{a^2}dq_e - \frac{k}{a^2}dl - \frac{k(1+(k-1)M^2)}{a^2}dl_{\text{тер}}.$$

Для густини:

$$\frac{d\rho}{\rho}(1 - M^2) = M^2\left(\frac{dF}{F} - \frac{dQ_v}{Q_v}\right) - \left(\frac{k-1}{a^2}\right)dq_e - \frac{1}{a^2}dl - \frac{k}{a^2}dl_{\text{тер}},$$

Для температури:

$$\frac{dT}{T}(1 - M^2) = (k-1)\left(M^2\left(\frac{dF}{F} - \frac{dQ_v}{Q_v}\right) - \left(\frac{kM^2-1}{a^2}\right)dq_e - \frac{1}{a^2}dl - \frac{kM^2}{a^2}dl_{\text{тер}}\right).$$

За законом обернення впливів Вуліса Л.А. можна зробити висновок, що для безперервної зміни швидкості газу за рахунок фізичних впливів потрібно, щоб знак цієї дії змінювався на зворотній в момент переходу звукової межі. Тобто, $M > 1$ – стає < 1 , і навпаки. Якщо у технологічній операції діє декілька фізичних впливів, то в момент переходження звукової межі знак їх суми потрібно змінити на зворотній. Щоб розглянути ці впливи, наприклад, на швидкість потоку, ізолювано – приймемо зміни інших рівними нулю. Тоді вплив на витрати складатиме:

$$\frac{dw}{w}(M^2 - 1) = -\frac{dQ_v}{Q_v}.$$

Дослідження структури потоку в зоні змішування струменів [318], показали, що схематично такий вплив можна навести у вигляді сукупності двох перехідних ділянок (рис. 5.43) для моделювання роботи ежектора. На підставі отриманих даних побудована 3D модель робочого сопла, на основі якої створено модель сопла на 3D принтері і робочий зразок пневмосоплової системи (рис. 5.44).

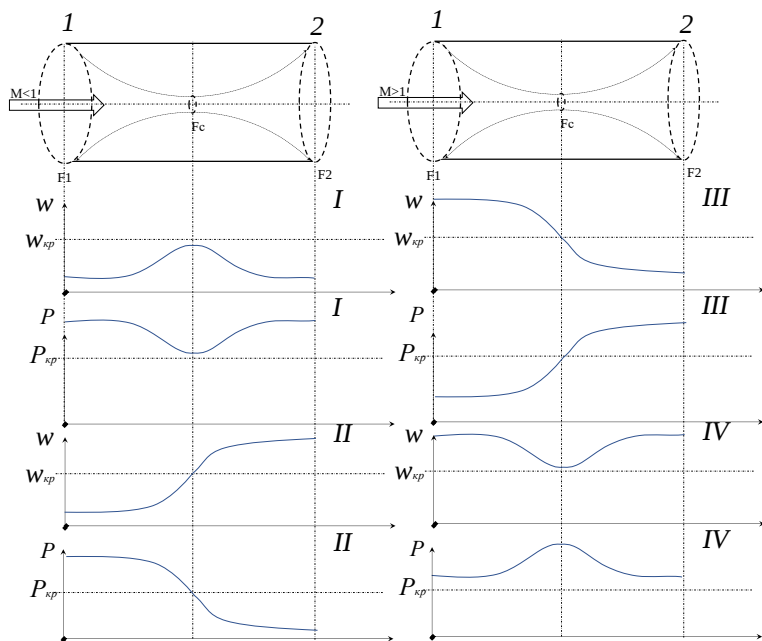


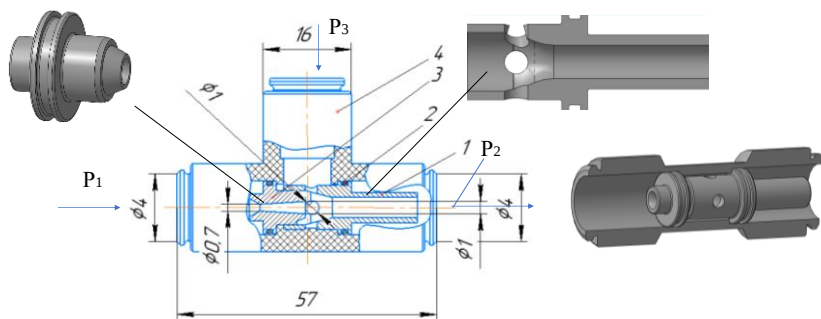
Рисунок 5.43 - Схема і графіки чотирьох режимів руху газу у каналі пневмоексептуючої системи перед підведенням струменя до ФМ пакувальної машини: F_1, F_c, F_2 – зміна площі поперечного перерізу каналу; M – число Маха; $P, P_{кр}$ – зміна тиску газу всередині каналу; $w, w_{кр}$ – зміна швидкості руху газу. Так як k та M^2 завжди додатні, то зміна dp буде обернено пропорційною до зміни dw

За результатами моделювання оновленої конструкції встановлено вплив зміни геометричних характеристик сопла на кінематичні параметри системи (табл. 5.18).

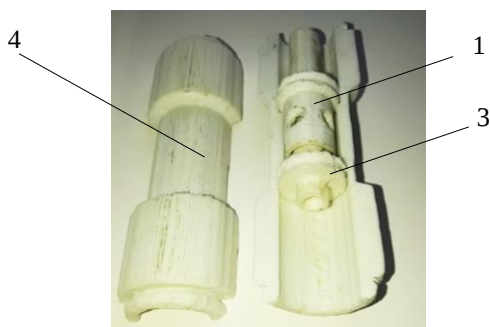
На підставі табл. 5.18 можна оцінити, коли пневмосоплова система підведення газу до продукту або упаковки переходить у надзвуковий деструктивний режим подачі напрямленої струмнини. Тим самим передбачити умови раціональної роботи ФМ пакувальної машини.

Наведена на рис. 5.44 оновлена конструкція пневмосоплової експертуючої системи, дає можливість виконувати операції з підведення газу, розрідження

тиску всередині сформованої упаковки, а також дає можливість зменшити геометричні розміри ФМ пакувальної машини.



а)



б)

Рисунок 5.44 - Загальний вид дослідної конструкції пневмосоплового ФМ пакувальної машини підведення газової суміші: а) креслення ежектующей системи із розробленими 3Dмоделями для дослідження в ПП FlowVision; б) роздрукована попередня модель пневмосоплового пристрою для подальшого виготовлення на виробництві: 1 – канал виведення газового середовища за типом дифузора; 2 – ущільнення робочої зони розрідження; 3 – канал підведення і звуження газового середовища за типом конфузора; 4 – корпус.

Для розроблення модернізованої конструкції пневмосилового ежектора прийнято припущення: $F_1=F_2$; рух газу всередині сопла енергоізолюваний, ізоентропійний та стаціонарний, система працює із очищеним повітрям у нормальних умовах (рис. 5.45).

Таблиця 5.18- Результати впливу зміни геометричних характеристик сопла на кінематичні параметри системи

Режим	Переріз 1	Переріз «звуження»	Переріз 2	Функція каналу	Доповнення
1	2	3	4	5	6
I	$M > 1$ $w < w_{кр}$ $P > P_{кр}$	$M < 1$ $w < w_{кр}$ $P > P_{кр}$	$w < w_{кр}$ $P > P_{кр}$	Трубка Вентурі	У «звуженні» швидкість не досягає критичного значення
II	$M < 1$ $w < w_{кр}$ $P > P_{кр}$	$M = 1$ $w = w_{кр}$ $P = P_{кр}$	$w > w_{кр}$ $P < P_{кр}$	Сопло (конфузор) Лаваля	У «звуженні» швидкість досягає критичного значення та стрімко зростає
III	$M > 1$ $w > w_{кр}$ $P < P_{кр}$	$M = 1$ $w = w_{кр}$ $P = P_{кр}$	$w < w_{кр}$ $P > P_{кр}$	Надзвуковий дифузор	Стрімке зростання тиску
IV	$M > 1$ $w > w_{кр}$ $P < P_{кр}$	$M < 1$ $w < w_{кр}$ $P > P_{кр}$	$w > w_{кр}$ $P < P_{кр}$	Складно реалізувати	Виникає ударна хвиля і потік газу перетворюється на дозвуковий

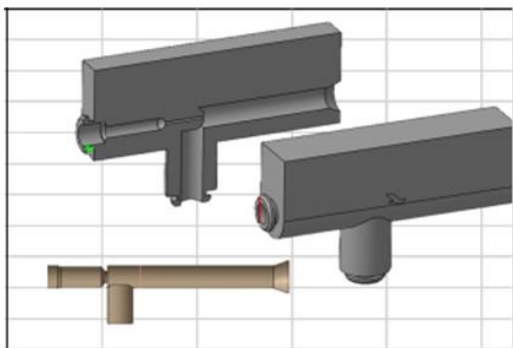


Рисунок 5.45 – Модернізована конструкція пневмосоплового ежектора в CFD-моделі

Висновки

1. На основі аналізу існуючих методів імітаційного моделювання встановлено, що останнім часом окреслилася тенденція розширення кола користувачів САЕ, які поширюються на базі геометричних CAD систем. Однією з найвикористовуваних систем твердотільного моделювання є Solid Works з інтегрованим пакетом інженерних розрахунків COSMOS.

2. Виконано імітаційне моделювання роботи функціонального модуля дозування сипкої продукції під час виготовлення таблеткової продукції. Встановлено вплив конструкції і частоти обертання лопаті на точність формування дози. Моделювання переміщення сипкої продукції виконано із застосуванням технології EDEM's Particle Factor.

3. Дослідження роботи функціональних модулів машин пакування в'язких і в'язко-пластичних харчових продуктів виконано у програмному комплексі Flow Vision. Цей пакетний комплекс дає можливість моделювати напружено-деформований стан продукту під дією робочого органа відповідної геометричної форми у тривимірному просторі.

4. Імітаційне моделювання роботи функціональних модулів машин пакування дрібно-штучних і штучних виробів у тришовний пакет типу флоупак виконано в просторі програми Any Logic. У програмі Any Logic виконано аналітичні розрахунки за допомогою таких підходів моделювання: дискретно-подієвого, системної динаміки та агентного.

РОЗДІЛ 6. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТІВ СИСТЕМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1. Проєкт типового функціонального модуля дозування рідких харчових продуктів

До систем дозувально-фасувальних модулів рідких продуктів у споживчу тару, в умовах малих виробництв, пред'являються специфічні вимоги. Наприклад, висока експлуатаційна надійність, широкий діапазон і висока точність дозування у поєднанні із можливістю оперативного переналаштування обладнання на різні типи рідин і діапазони дозування. Також потрібно врахувати можливість плавного регулювання дози у широкому діапазоні; можливість оперативного промивання або заміни продуктопроводу; можливість монтажу дозатора у конвеєрну лінію; побудову багатоканальних систем дозування. Важливою вимогою є і відсутність міжопераційного краплеутворення; компактність, простота і безпека обслуговування; пожежовибухобезпека і ін.

Завдання автоматизованої реалізації зазначених операцій ускладнюється, якщо потрібно реалізувати систему автоматичного регулювання параметрів технологічного процесу у модулях безклапанного типу у фасувальній частині [319-321].

Для вирішення завдань фасування рідких продуктів у споживчу тару, набули найбільшого поширення дозатори об'ємно-поршневого типу із мірними камерами змінного об'єму та із клапанно-поршневими виконавчими механізмами пропорційно керованими. Також, іноді зустрічаються дорогі вагові дозатори імпортного виробництва. Однак ці та інші відомі дозатори не задовольняють повною мірою зазначеним вище вимогам і мають ряд принципових недоліків, які звужують область їх застосування в умовах малих виробництв. Таким чином, надзвичайно актуальною є задача розроблення надійного, недорогого та компактного обладнання для фасування рідких продуктів у тару в умовах малих виробництв.

Наведений на рис. 6.1 безклапанний електропневматичний дозувальний пристрій ерліфтного типу із додатковою дозувальною ємністю відноситься до дозувальних систем напірного типу. Конструкцією передбачається резервуар-живильник (РР) 1 із датчиком рівня рідини 2 та системою витиснення продукту у дозувальний ресивер (ДЕ) 3. Запропонована схема містить пневматичну систему керування (КП) 4, що здійснює обробку сигналів тисків про РР p_i і ДЕ p_r у програмованому логічному контролерному (ПЛК) модулі. Подальша подача керуючих сигналів здійснюється на виконавчі пневмоклапани дозатора – 5–8.

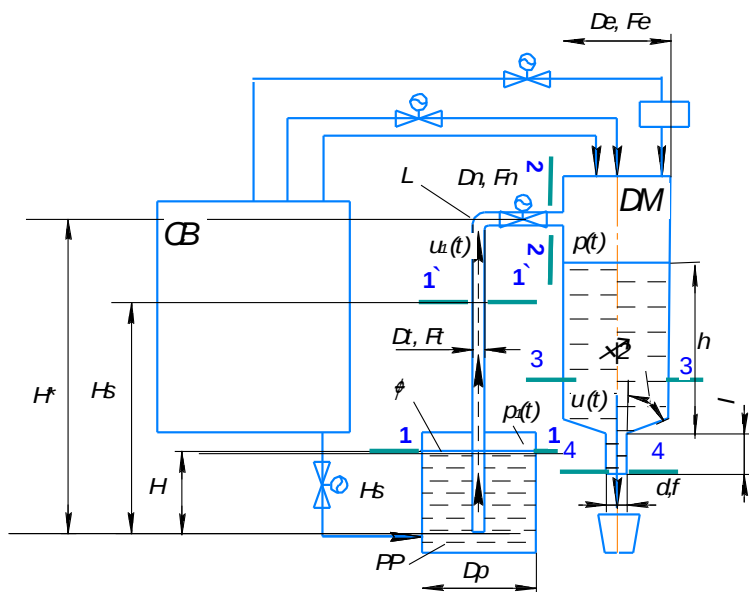


Рисунок 6.1 - Схема безклапанного електропневматичного дозувального модуля ерліфтного типу із системою керування

РР із датчиком рівня ДЕ та виконавчі пневмоклапани ДУ утворюють об'єкт управління ОУ. За основу системи керування тиском витиснення у дозувальному ресивері обрано комбінацію системи керування із зворотнім зв'язком (формат токової петлі 4..20 мА). Враховано можливість регулювання керуючим сигналом, за струмом, на соленоїді розподільника підведення

стисненого повітря до ДУ із діапазоном 0...5 с.

Принцип дії дозатора засновано на програмному керуванні подачею тиску до дозувального ресиверу із РР у встановлену над ним на висоті H^* у ДЕ. Передбачено формування дози продукту крізь зливний патрубок 9 (ДЕ) за рахунок зміни тиску в системі ДУ за допомогою ежектора.

Процес дозування контролюється за величиною тиску p у замкненому газовому середовищі змінного об'єму, що забезпечується під час переміщення продукту.

У початковому стані дозувального модуля (до початку дозування), ДЕ крізь відкритий клапан 7 сполучається із каналом 10 джерела живлення. Одночасно здійснюється продування стисненим повітрям зливного патрубку 9, вхідного патрубку 11 та з'єднувального трубопроводу 12, що забезпечує чистоту продуктопроводу дозатора до початку наступного циклу дозування.

Під час роботи ДУ у режимі дозування здійснюється командно запрограмована зміна тиску яка формується в пристрої керування із ПЛК.

У системі керування застосовані елементи CAMOZZI: драйвери серії 130, які пропорційно керують розподільниками клапанного типу серії AP (2/2), електронні датчики/реле тиску, серії SWCN, стабілізатор тиску бустер 40M2L100A120MC02. ШІМ-сигнал, який формує драйвер, у замкненому контурі регулювання струмом 4...20 мА, забезпечує частоту сигналу до 500 Гц на котушку соленоїду електромагнітного клапану подачі стисненого повітря у систему дозувального ресиверу та продуктопроводу. Напруга живлення у ланцюзі керування становить 24 VDC ($\pm 10\%$), відповідно до обраного значення пропорційним розподільником AP. Витрати стисненого повітря будуть залежати від величини вхідного магістрального тиску P (0,1...0,3 МПа), і за даними [322, 323], складають 80...160 (Нл/хв).

Використання ерліфтного дозування базується на модель, яка буде враховувати основні характеристики для рідинного середовища (витрата, густина, тиск, вакуум).

Контроль за зміною тиску в ДУ програмно контролюється регулятором (РД) тиску p_1 в РР та цифровим вакуумметром. Під час роботи РД, зміна тиску $p_1(t)$ формувалась по заданому експоненціальному, синусоїдальному законам, формованих за допомогою програми подачі сигналу: східчаста, імпульсна, гармонійна.

Прохідні перерізи продуктопроводу, патрубк, вихідної насадки, а також постійна часу ПЗ, обрані за умовою, що витиснення продукту в ДЕ більше її витрат крізь вихідний переріз насадки. Відповідно, з моменту початку переміщення продукту крізь вихідний переріз, його рівень h в ДЕ збільшується. Це обумовлює і зростання тиску p стисненого повітря в ДЕ.

За умови досягнення величини p , яка дорівнює запрограмованому тиску дозатора p_y , процес наповнення ДЕ завершується. РР через клапан 5 сполучено із атмосферою, тому тиск p_1 падає практично до нуля. Одночасно з цим відкривається клапан продувки 7 і надлишковий тиск в ДЕ підвищується до величини тиску живлення. Під дією цього тиску відбувається переміщення продукту із ДЕ по трубопроводу 12, надалі дозатор переходить у початковий стан продувки.

За умови формування вакууму в ДУ спрацьовує регулятор рівня (РУ), який за наявності відхилення початкового значення в РР (параметра H_0) порівняно із заданим значенням формує сигнал керування клапаном 8 для поповнення РР. Блоки РД, ПЗ і РУ є частиною складу УУ.

Цикл дозування складається із стадій заповнення продуктом трубопроводу 12, часткового наповнення ДЕ та подальшого витиснення продукту за умови встановлення режиму продувки УУ. У процесі роботи ДУ фіксованими є величини конструктивних параметрів (прохідних перерізів продуктопроводу, патрубка і вихідного перерізу насадки, висоти H^* модуля ДЕ, довжини трубопроводу підведення стисненого повітря і повного об'єму ДЕ). Тому, постійна часу ПЗ і тиску джерела живлення 10, величина об'єму дози V_d є функцією тиску p_y , передбаченого для дозатора та початкового рівня

заповнення РР – Н0. Функцію отримано за умови незмінного значення Н0, що забезпечує робочу тарувальну характеристику дозувального модуля. Функція характеризує похибку для фіксованих значень p_u під час зміни початкового рівня заповнення РР. За результатами попередньо проведеного експериментального дослідження значення похибки не перевищує $\pm 1\%$, при $H_0 = \text{const}$ та використанні двопозиційного регулювання тиску $p_1(t)$.

Виконані експериментальні та теоретичні дослідження базуються на використанні фундаментальних законів гідродинаміки рідких середовищ та в'язких легко плинних середовищ, теорії вирішення звичайних диференціальних рівнянь.

Під час досліджень враховані статичні і динамічні характеристики керуючої системи пристрою дозування і проведено вибір його конструктивних параметрів, спрямований на поліпшення метрологічних характеристик системи автоматизованого дозування. З метою здійснення експериментів, розроблено принципові схеми універсальних дозувальних пристроїв та алгоритми управління дозуванням, які забезпечують реалізацію різних законів дози продукту. Дана оцінка систематичних похибок запропонованого способу порційного дозування. Для порційних систем автоматизованого дозування, що базуються на принципах ерліфтної системи та робіт [321, 323 - 325], запропонована математична модель опису процесу дозування та схема експериментальної установки, наведена на рис. 6.1. Аналіз та синтез математичних моделей для систем точного дозування мають скоріше допоміжний характер і не виключають потребу в фізичному моделюванні та натурних досліджень.

Для оцінки впливу різних факторів на точність дозування прийняті такі припущення. Порівняння різних реалізацій процесу дозування під час роботи ДУ із постійною величиною тиску p_u , запрограмованою для дозатора, було досліджено за умовами відтворюваності окремих стадій процесу. Стадії процесу досліджено у послідовності алгоритму роботи ДУ.

Стадія заповнення з'єднувального трубопроводу описується системою, яка містить два рівняння щодо змінних $s(t)$ та $H(t)$, де $s(t)$ – поточний рівень рідини у трубопроводі, $H(t)$ – поточний рівень рідини в РР.

Рівняння руху вільної поверхні рідини у з'єднувальному трубопроводі, описане рівнянням Бернуллі для неусталеного руху, складене для перерізу 1–1, який співпадає із положенням рівня рідини в РР, та перерізу 1'–1', який співпадає з рівнем рідини у трубопроводі розташованому на відстані s від вхідної кромки трубопроводу:

$$s(d^2s/dt^2) + \frac{\lambda_T}{2D} s(ds/dt)^2 + \frac{1 + \xi_T}{2} (ds/dt)^2 + gH_s(s) = \frac{p_1(t)}{\rho} + gH(t), \quad (6.1)$$

де D_T – діаметр з'єднувального трубопроводу; $H_s(s)$ – висота перерізу 1'–1' як функція параметру s , яка залежить від конфігурації з'єднувального продуктопроводу.

$$p_1(t) \cong p_{1,3}(t) = P(1 - e^{-t/\tau_0}), \quad (6.2)$$

де $p_1(t)$ – фактичний тиск в РР як функція часу t за умови ідеальності програмованого регулятора тиску РД; $p_{1,3}(t)$ – задане значення параметра регулювання; $P=\text{const}$ – тиск живлення пневмoelementів УУ; τ_0 – постійна часу ПЗ, яка залежить від умов оточуючого середовища; ρ – густина продукту; $g=\text{const}$ – прискорення сили тяжіння; $\xi_T=\text{const}$ – коефіцієнт місцевого опору на вході у продуктопровід, який залежить від конфігурації вхідної кромки трубопроводу; λ_T – коефіцієнт тертя у трубопроводі, залежить від числа Рейнольдса $Re_T = \rho D_T(ds/dt)/\mu$, розраховується за формулою Блазіуса:

$$\lambda_T = \frac{0,316}{(Re_T)^{1/4}} = \frac{0,316}{(\rho D_T(ds/dt)/\mu)^{1/4}}, \quad (6.3)$$

де μ – динамічна в'язкість продукту, яка залежить від температури.

Під час складання рівняння (6.1) прийнято ряд припущень: коефіцієнти α_{1-1} ; $\alpha_{1'-1'}$ враховують нерівномірність розподілення швидкостей у перерізах 1–1; 1'–1', приймаємо рівними 1. У рівнянні (6.1) нехтуємо (незначні значення)

коефіцієнтом швидкісного напору продукту в РР та приймаємо площу перерізів РР і з'єднувального продуктопроводу: $\Omega = \pi D_p^2/4$; $F_T = \pi D_T^2/4$ – площа перерізів РР та з'єднувального трубопроводу.

Рівняння балансу витрат рідини з РР наступне:

$$-\Omega(dH/dt) = F_T(ds/dt). \quad (6.4)$$

Система рівнянь (6.1) і (6.4) вирішується за початковими умовами: $s(0)=s_0=H_0$, $(ds/dt)(0)=(ds/dt)_0=0$; $H(0)=H_0$. Результатом вирішення даної системи є значення функції $s(t)$ за умови визначення часу τ_T заповнення продуктом з'єднувального патрубку та початкова швидкість $u_{1,0}$ підведення продукту в ДЕ. За умови відомого значення $s(t)$ параметри τ_T , $u_{1,0}$ визначаються як:

$$s(\tau_T) = L; u_{1,0} = (ds/dt)|_{t=\tau_T}, \quad (6.5)$$

де L – довжина трубопроводу.

Етап наповнення зливного патрубку ДЕ обумовлює визначення початкових умов наступних стадій процесу дозування – переміщення продукту у вихідному перерізі. Зважаючи на невеликі розміри насадки, зокрема його довжини l та емпіричного значення оптимального співвідношення діаметрів вхідного патрубка D_n для ДЕ та насадки (d) – $D_n/d \geq 1,7$ приймаємо умову перевищення притоку продукту в ДЕ у кожний момент часу над витратами крізь переріз насадки за такими рівностями:

$$\begin{aligned} u_1(0) &= u_{1,0}; H(0) = H_0^* = H_0 - F_T L; p(0) = p_0 \cong 0; \\ h(0) &= h_0 \cong 0; v(0) = v_0 \cong 0; u(0) = u_0 = \sqrt{2gl}; \\ p_1(0) &= p_{1,0} = P(1 - e^{-\tau/\tau_0}), \end{aligned} \quad (6.6)$$

де $u_1(t)$ – швидкість руху в продуктопроводі, $H(t)$ – плинне значення рівня продукту в РР; $p(t)$ – тиск у газовому просторі ДЕ під час наповнення; $h(t)$ – рівень продукту в ДЕ; $v(t)$ – об'єм наповненої частини ДЕ без об'єму зливної насадки; $u(t)$ – швидкість витікання продукту крізь насадку.

Під час опису етапів наповнення окремих елементів ДЕ, сформовані

початкові умови проходження основних стадій процесу витиснення та формування дози продукту.

Для етапу переміщення продукту крізь переріз насадки розроблено аналітичний опис із урахуванням попередньо сформованих умов (6). Рівняння руху продукту у з'єднувальному трубопроводі представлене рівнянням Бернуллі для неусталеного руху, відповідно до перерізів 1–1; 2–2, враховуючи умову рівності діаметрів продуктопроводу та вхідного патрубку ДЕ ($D_T=D_P=D$, $F_T=F_P=F$) матиме вигляд:

$$\frac{p_1(t)}{\rho g} + H = \frac{p(t)}{\rho g} + H^* + \left(1 + \xi_T + \lambda_T \frac{L}{D}\right) \frac{u_1^2}{2g} + \frac{L}{g} \frac{du_1}{dt}, \quad (6.7)$$

$$p_1(t) \cong p_{1,3}(t) = P(1 - e^{-(t+\tau_T)/\tau_0}), \quad (6.8)$$

Тиск в РР є функцією по часу t за умови ідеальності програмних регуляторів тиску РД; λ_T – коефіцієнт тертя в трубопроводі, який залежить від числа Рейнольдса $Re_T = \rho D u_1 / \mu$, який розраховується за формулою Блазіуса:

$$\lambda_T = 0,316 / (Re_T)^{\frac{1}{4}} = 0,316 / (\rho D u_1 / \mu)^{\frac{1}{4}}. \quad (6.9)$$

Аналогічно до рівняння (6.1) у рівнянні (6.7) коефіцієнти α_{1-1} та α_{2-2} , враховують нерівномірність розподілення швидкості у перерізах 1–1 і 2–2. Зазначені коефіцієнти прийняті постійними і дорівнюють 1. Також, знехтуємо складовою рівною $\alpha_{1-1}(F/\square)^2(u_1)^2/2$, що враховує швидкість напору в РР.

Відповідно, для перерізів 3–3 та 4–4 рівняння переміщення продукту теж побудоване на рівнянні Бернуллі:

$$\frac{p(t)}{\rho g} + l + h + \frac{\left(\frac{dh}{dt}\right)^2}{2g} = \left(1 + \xi_n + \lambda_n \frac{l}{d}\right) \frac{u^2}{2g} + \frac{l}{g} \frac{du}{dt}, \quad (6.10)$$

де ξ_n – коефіцієнт опору вхідного отвору насадки, λ_n – коефіцієнт тертя всередині насадки; α_{3-3} та α_{4-4} – коефіцієнти розподілення швидкості в цих перерізах, дорівнюють 1.

Тоді, рівняння балансу витрат у ДЕ:

$$\frac{dv}{dt} = u_1 F - u \cdot f, \quad (6.11)$$

де $v=v(t)$ – плинний об'єм рідини в ДЕ.

Рівняння газового стану в ДЕ запишемо у вигляді:

$$v = V_0 p / (P_a + p_o), \quad (6.12)$$

де P_a – атмосферний тиск, V_0 – об'єм ДЕ, враховуючи об'єм з'єднувальних каналів, крім зливної насадки. Рівняння (6.12) відповідає ізотермічному стисненню газу в системі ДЕ за умови дотримання нерівності: $P_a \gg p_o \cong 0$, p_o – надлишковий тиск повітря в ДЕ d момент часу $t=0$, це період завершення наповнення продуктом перерізу зливної насадки ДЕ.

Рівняння балансу витрат продукту у ДЕ матиме вигляд:

$$-\Omega \left(\frac{dH}{dt} \right) = u_1 F. \quad (6.13)$$

Рівняння зв'язку об'єму та рівня продукту в ДЕ:

$$v = \left(\frac{1}{3} \right) \alpha_1 h^3 + \left(\frac{1}{2} \right) \alpha_2 h^2 + f h \text{ за умови } h \leq h_k, \quad (6.14)$$

відповідно $\alpha_1 = \pi \text{tg}^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right)$, $\alpha_2 = \pi \text{dtg} \left(\frac{\varphi}{2} \right)$,

h_k – висота нижньої конічної частини ДЕ;

$F_e = \pi \frac{D_e^2}{4}$ – площа циліндричного перерізу ДЕ.

Витиснення дози продукту та подальший процес переходу на режим продувки за допомогою ежектора, відбувається відповідно до встановленого алгоритму та досягається доведенням тиску до запрограмованого значення p_y .

Процес супроводжується відкриванням клапанів 5 і 7; при цьому тиск в ДЕ підвищується від значення p_y до величини, рівної тиску живлення P . А тиск p_1 в РР зменшується від p_{1vd} , (момент відсікання дози) до нуля. Під дією тиску P відбувається повне спустошення ДЕ. Після закінчення процесу, тиск p в ДЕ зменшується за рахунок відведення повітря в атмосферу крізь зливний насадок.

Враховуючи невеликий об'єм ДЕ – V_0 та довжину насадки – l , її повне випорожнення відбувається суттєво раніше, ніж у під'єднаному трубопроводі, а також раніше падіння тиску до нуля p_1 в РР.

Випорожнення трубопроводу відбувається під дією виникнення позитивного перепаду тисків між ДЕ і РР.

За умови великих значень гідравлічного опору лінії, скидання повітря із РР та зміна об'єму V_{1dv} припадає на момент відбору дози. Знак перепаду тисків між РР і ДЕ може змінитися на протилежний після завершення випорожнення ДЕ.

Тоді може виникнути ефект повторної подачі продукту в ДЕ та неконтрольованого "доливу" дози після завершення етапу "дозування". Описаний ефект "доливу" дози може багаторазово повторюватися до моменту повного скидання стисненого повітря із РР. Описані вище умови можуть призводити до появи додаткової похибки дозування. Ця похибка обумовлена, головним чином, двома факторами:

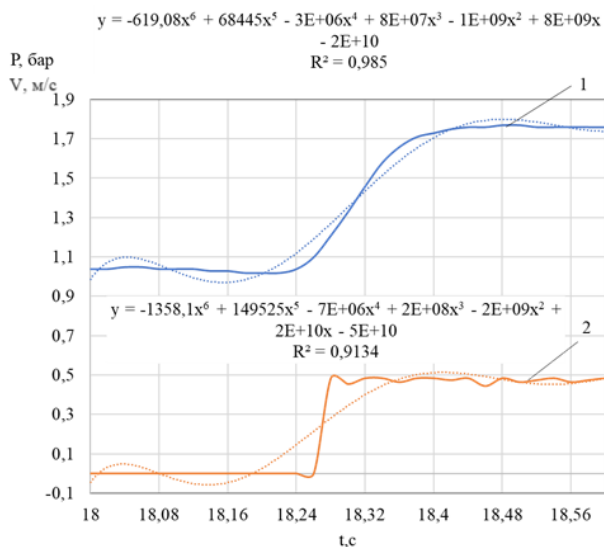
- можливою неоднаковістю об'ємів додаткових доз, викликану різною (в окремих циклах дозування) величиною об'єму V_{1dv} незаповненої частини РР, що дорівнює:

$$V_{1dv} = V_{1,0} - V_d, \quad (6.15)$$

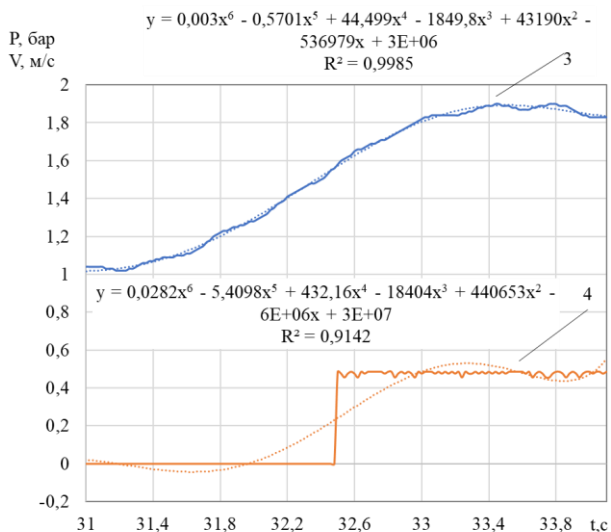
де $V_{1,0}$ – об'єм незаповненої частини РР до моменту початку дозування, що залежить від величини початкового рівня заповнення РР – H_0 , V_d – об'єм дози за один цикл дозування;

- супутніми втратами у з'єднаннях трубопроводу.

На рис. 6.2 наведено результати експериментальних досліджень за алгоритмом зміни тиску у резервуарі живильника дозатора від надлишкового до вакууметричного, відповідно до розробленого плану експерименту дозування питної води.



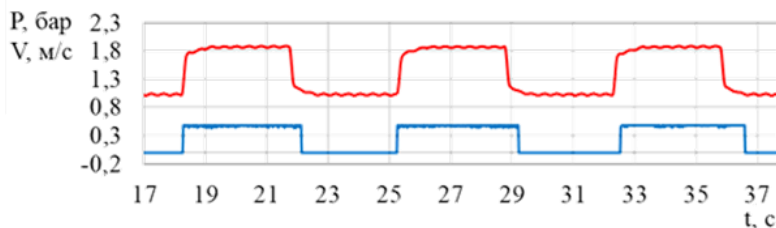
a



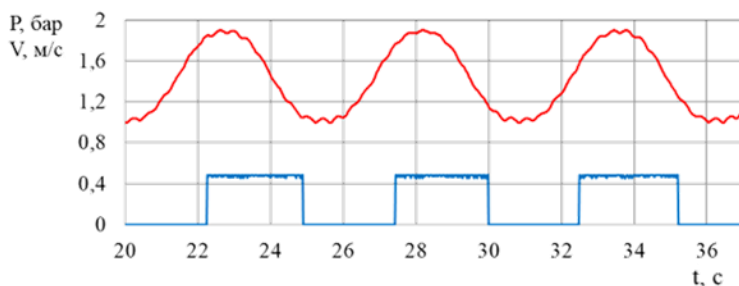
б

Рисунок 6.2 - Характеристика зміни основних параметрів дозування та керування тиском у системі ерліфтного функціонального мехатронного дозувального модуля за умови: а – сходиноквого; б – синусоїдального законів, 1 – зміна тиску, бар; 2 – зміна швидкості потоку в м/с

Стационарний режим обумовлюється швидкістю і тиском повітря які в процесі роботи модуля залишаються постійними, з урахуванням режиму транспортування. Швидкість повітря і тиск на вході – є основними умовами на початку етапу відбору (витиснення) дози продукту. Перший етап (рис. 6.3, а, б) демонструє вихід установки на стаціонарний режим витиснення продукту при подачі стисненого повітря в систему у межах програмно заданого діапазону зміни тиску за діапазоном від 0,99 до 1,81. Діапазон зміни тиску обрано методом перебору, на основі відслідковування зміни швидкості потоку в системі (0,5 м/с) та точності виділеної дози (50 мл).



а



б

Рисунок 6.3 - Характеристика законів керування параметрами роботи функціонального мехатронного модуля ерліфтного дозування із зміною тиску у продуктопроводі за умови: а – зміна тиску та швидкості потоку в вихідному продуктопроводі під час впливу керуючого сигналу за сходянковим законом; б – зміна тиску та швидкості потоку в вихідному продуктопроводі під час впливу керуючого сигналу за синусоїдальним законом

Другий етап досліджень, результати якого наведені на рис. 6.4, пов'язаний з відслідковуванням робочої зони зміни параметрів швидкості руху дозованого продукту у підвідному трубопроводі та точності дозування. Вимірювання здійснювались за допомогою цифрового витратоміру турбінного типу. Розгін обумовлений інтервалом часу 0,1...0,3 с і залежить від встановлених режимів управління подачі стисненого повітря. На рис. 6.3, б чітко видно розподілу лінійної швидкості переміщення дрібно-штучного продукту при русі в каналі продуктопроводу під тиском. Це підтверджує результати моделювання [322], щодо впливу місцевих опорів на підвищення питомих втрат тиску.

По мірі накопичення в подавальному ресивері стисненого повітря, швидкість і тиск стабілізуються, а точність дозування збільшується на 2 % (рис. 6.4, а, б).

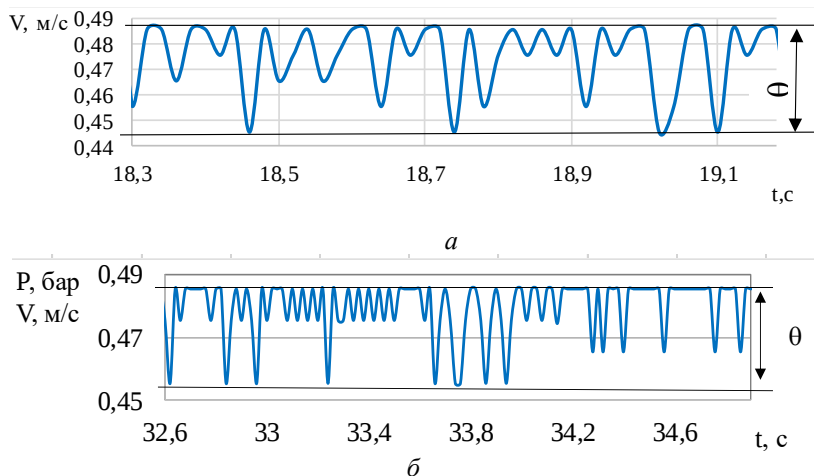


Рисунок 6.4 - Узагальнена характеристика зміни швидкості руху дозованого продукту у підвідному трубопроводі за умови діапазону керуючого сигналу: а - 12,5–17,7 мА, сходячковий закон зміни сигналу із частотою 7 с; б - 12,3–17,7 мА, синусоїдальний закон зміни сигналу із частотою 5,4 с

Наведені на рис. 6.3 результати зміни тиску на вході і виході продуктопроводу, обумовлені внутрішніми коливаннями тиску 20 Гц за 1 цикл

подачі тиску. Такий режим подачі повітря організований драйвером серії 130, поєднаним з мережею електроклапанів подачі тиску в систему (серія AP, Camozzi). У той же час зазначені режими дозування залежать не тільки від тиску [326, 327], а й від виду дозованого продукту.

Наведені на рис. 6.4 результати забезпечені межами необхідного розподілення тиску стисненого повітря за умови дотримання заданої продуктивності дозатора.

Для визначення початкових умов подальшої розробки та дослідження роботи модуля ерліфтного дозування, без клапанів відсікання дози і елементів трубопровідної арматури, враховано тип продукту.

Так, зокрема, похибка точності дозування під час використання сходянкового закону керування зміною тиском в системі дозувального ресивера складає 0,8 % від встановленої дози 50 мл (рис. 6.4). За умови використання сходянкового закону керування, зміна тиску в системі дозувального ресивера складає 0,3 %.

Для аналізу умов забезпечення точності дозування розроблено конструкцію експериментального стенду ДУ (рис. 6.5). Переміщення продукту в з'єднувальному трубопроводі (від РР до ДЕ) та подальше переміщення крізь зливний насадок ДЕ розглянемо як несталий одномірний турбулентний рух ньютонівської рідини. Для оцінки впливу різних факторів на точність дозування прийняті такі припущення.

Система створює частоту сигналу до 500 Гц на котушку соленоїда електромагнітного клапана AP подачі стисненого повітря в систему вертикального каналу продуктопроводу.

Напруга живлення в керуючій мережі становить 24 VDC ($\pm 10\%$) відповідно до обраного пропорційним розподільником.

Витрати стисненого повітря залежать від величини вхідного магістрального тиску P (0,05–0,4 МПа), за експериментальними даними складемо діапазон до 160 (Нл/хв).

Наведена на рис. 6.6 схема системи керування враховує можливість оброблення рідких продуктів.

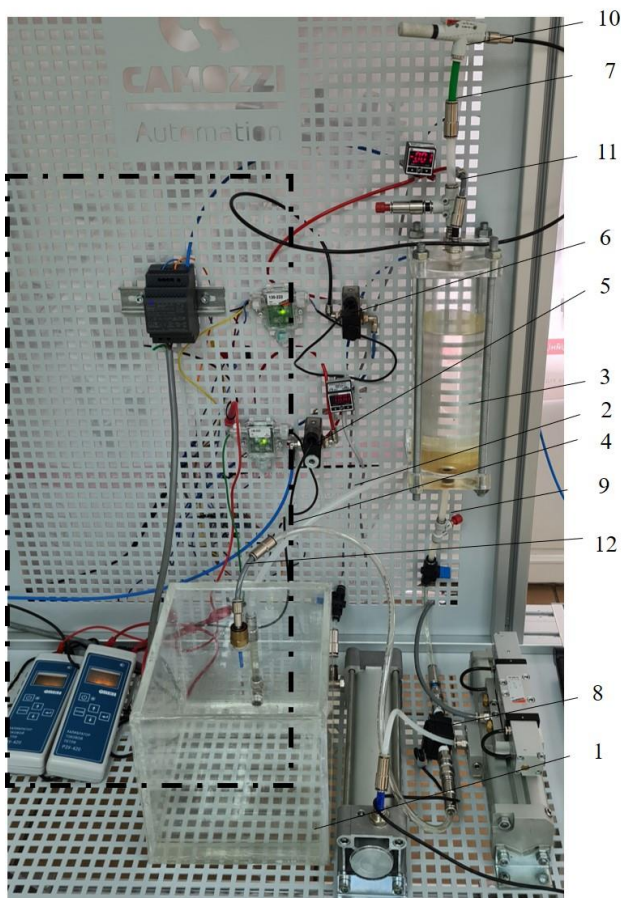


Рисунок 6.5 - Експериментальний стенд дослідження ерліфтної системи дозування рідких продуктів: 1 – витратний резервуар; 2 – датчик рівня; 3 – дозувальна ємність; 4 – система керування (драйвери керування пропорційною подачею імпульсів стисненого повітря; програмний пристрій задання закону зміни сигналу 4...20 мА); 5, 6 – пропорційні електромагнітні розподільники прямої дії 2/2; 7, 8 – виконавчі пневмоклапани дозатора; 9 – зливний патрубок; 10 – канал джерела живлення із ежектором; 11 – вхідний патрубок; 12 – з'єднувальний трубопровід

З метою дослідження функціонального мехатронного модуля дозування, розроблено та запрограмовано системою (рис. 6.6) різні робочі режими. Ерліфтний модуль забезпечує формування та витіснення дози продукту на базі пропорційних елементів із зворотнім зв'язком. Електронний пристрій управління пропорційними клапанами Серії 130 дає можливість керувати будь-яким електромагнітним клапаном при максимальному струмі до 1 А.

Стандартний вхідний сигнал управління (0–10 V DC або 4–20 мА) трансформується в ШІМ сигнал, який дає можливість подати на електромагнітний клапан сигнал для формування дози продукту.

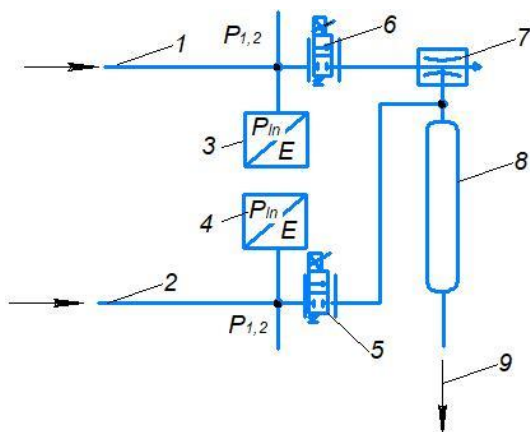


Рисунок 6.6 – Узагальнена схема керування ерліфтним модулем на експериментальному стенді: 1, 2 – трубопроводи підведення стисненого повітря; 3, 4 – ШІМ перетворювач; 5, 6 – електропневматичні пропорційні клапани керування 2/2 НЗ; 7 – ежектор; 8 – ресивер – живильник; 9- продукт

Результати зміни тиску на вході і виході продуктопроводу пояснюються, перш за все, тим, що врахована форма робочого каналу продуктопроводу та діаметральний переріз робочого каналу на підведенні та витісненні продукту із дозувального ресиверу. У міру збільшення часу дозувального процесу, відбувається стабілізація стисненого повітря в продуктопроводі та суттєво

покращується точність дози продукту. Під час дослідження за продукти дозування прийнято: вода негазована питна (густина – 1000 кг/м^3); сік березовий (густина - $1000,7 \text{ кг/м}^3$) молоко пастеризоване 1,5 % жирності (густина - 1025 кг/м^3). Зазначені параметри продуктів одержано за умови 20°C , та атмосферного тиску $1,013 \text{ бар}$.

Отримані результати моделювання дають можливість шляхом проведення фізичного моделювання отримати вихідні параметри для математичних моделей, що описують зміну основних кінематичних параметрів дозування продукту і передбачити падіння та компенсацію напірного тиску в системі дозатора.

Корегування відліку часу в системі керуючого модуля за допомогою драйвера серії 130, надає можливість змінювати крок у діапазоні $0,1 \dots 10 \text{ с}$. Також, прецизійні системи контролю дають можливість підтримувати робочий регламент роботи ерліфтного дозатора із режимами зміни тиску за різними законами і умовами. А саме: $I_{\min}..I_{\max}=4,1 \dots 19,9 \text{ мА}$, частота подачі повітря $0,1 \dots 1 \text{ Гц}$; $I_{\min}..I_{\max}=12,3 \dots 17,7 \text{ мА}$, частота подачі повітря $0,1 \dots 1 \text{ Гц}$; $I_{\min}..I_{\max}=12,5 \dots 17,7 \text{ мА}$.

Розроблений експериментальний стенд також дає можливість досліджувати точність дозування за допомогою цифрового контрольно-вимірювального комплексу та змінювати дозу продукту від 20 мл до 750 мл . Вибір діапазону дози ґрунтувався на забезпеченні пакувальним обладнанням малої та середньої продуктивності підприємств харчової і фармацевтичної промисловості.

Обмеженнями результатів дослідження були введені наступні параметри: керуюче значення струму, щодо стандартної шкали, $I_{\max}..I_{\min}=4,1 \dots 19,9 \text{ мА}$, частота формування імпульсів стисненого повітря в продуктопроводі – $0,1 \dots 7 \text{ с}$. Попередньо, значення керуючого сигналу, сформували максимальний тиск в трубі $0,1 \dots 0,5 \text{ бар}$. Це підтверджується результатами наукових праць [328, 329] і обумовлює оптимальний режим дозування досліджуваного

продукту.

Особливості запропонованого методу і отриманих результатів полягають у тому, що відбувається відтворюваність окремих стадій процесу дозування. За критерій оцінки приймаємо вплив різних чинників на точність дозування, яка може бути досягнута ідеальною роботою програмного регулятора РД та драйвера.

Також на критерій точності впливає припущення щодо несуттєвого впливу ефекту "доливання" дози, під час сталості величин робочих параметрів функціонального мехатронного модуля дозування.

З урахуванням цих чинників можна зробити висновок, що підвищення точності дозування досягається дотриманням точності програмного регулювання тиску $p_1(t)$ в РР дозатора. Підвищення точності дозування можливе також шляхом введення в структуру дозувального контуру продуктопроводу елементів, які забезпечують автоматичну компенсацію впливу змінних.

Запропонований підхід дає можливість отримати аналогічні залежності для інших режимів дозування зазначених продуктів.

6.2. Проєкт типового функціонального модуля мікродозування із застосуванням пневмосоплового ежектора

На рис. 6.7 наведено загальний вид функціонального модуля мікродозування із застосуванням пневмосоплового ежектора.

До складу функціонального модуля входять: 1 – мультипозиційний пневмоциліндр; 2 – блок керування (електропневматичний острів); 3 – мікродозатор, зв'язаний через ежектор із ресивером; 4, 5 – змінні насадки; 6 – МРТ; 7 – споживча упаковка; а) – оброблення пневмосопловою насадкою внутрішньої поверхні упаковки; б) – оброблення закупорювальних засобів; в) – дозування рідких харчових продуктів.

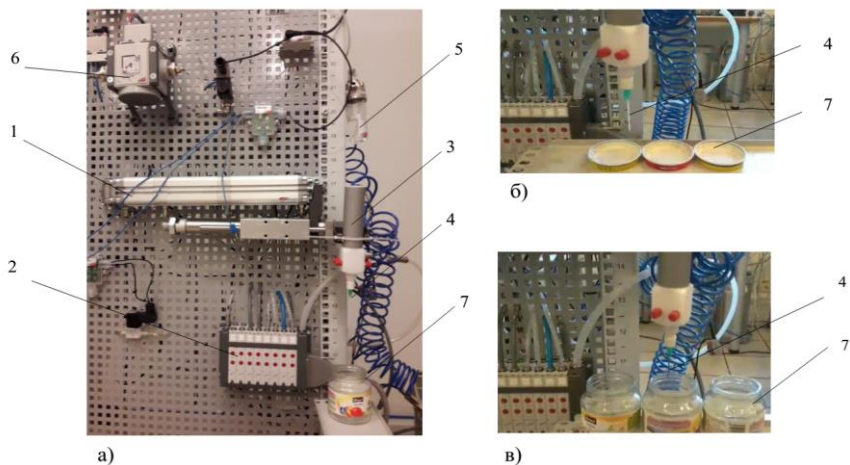


Рисунок 6.7 – Загальний вигляд функціонального модуля мікродозування із застосуванням пневмосоплового ежектора

Структурна схема функціонального модуля мікродозування наведена на рис. 6.8.

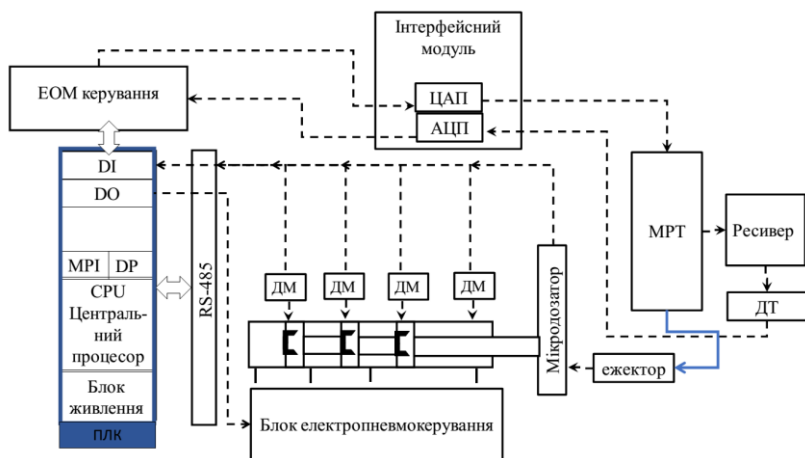


Рисунок 6.8 – Структурна схема функціонального модуля мікродозування із пневмосопловим ежектором: DI – дискретні входи (0...65 Гц); DO – дискретні виходи; МРТ – мехатронний регулятор тиску (аналогові входи / аналогові виходи (0...10В), пропорційні вхідному сигналу (0...9 бар); MPI – інформаційна лінія передачі даних (9,6 Кб/с); ДТ – датчик тиску; ДМ – датчик місцеположення; ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

Команди керування на мікродозуючий модуль формувалися за синусоїдальним та ступеневим законами, за допомогою ПП Fluid Lab-P, Version 1.0. Для отримання інформації про значення тиску в ресивері із продукцією використано SWEN-P-10 (CAMOZZI).

Під час проведення досліджень контролювалася стабільність тиску в ресивері, від якого залежить похибка дозування на виході із мікродозатора. Результати зміни керуючого сигналу наведено на рис. 6.9...6.11.

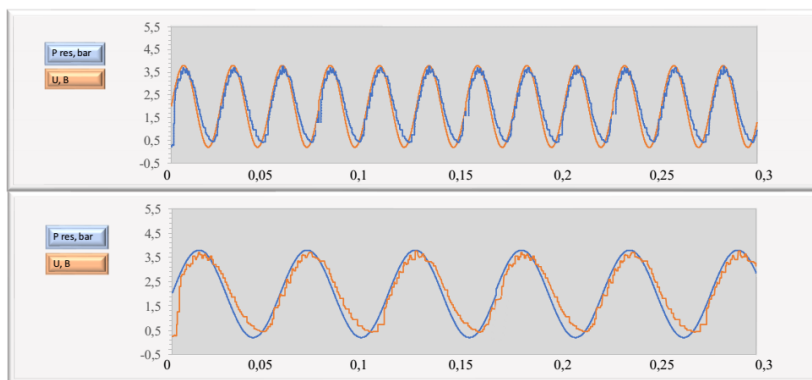


Рисунок 6.9 – Узагальнена характеристика роботи модуля мікродозатора за синусоїдальним законом розпилення продукту при $d_{mp} = 0,004$ м, $P_p = 1,8$ бар, амплітуда коливань тиску 1...2 бара, $n = 18...36$ Гц

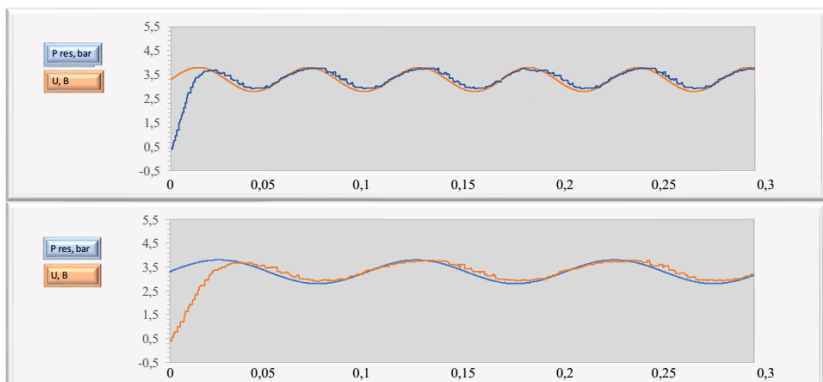


Рисунок 6.10 – Узагальнена характеристика роботи модуля мікродозатора за синусоїдальним законом розпилення продукту при $d_{mp} = 0,004$ м, $P_p = 3,5$ бар, амплітуда коливань тиску 0,5 бара, $n = 10...20$ Гц

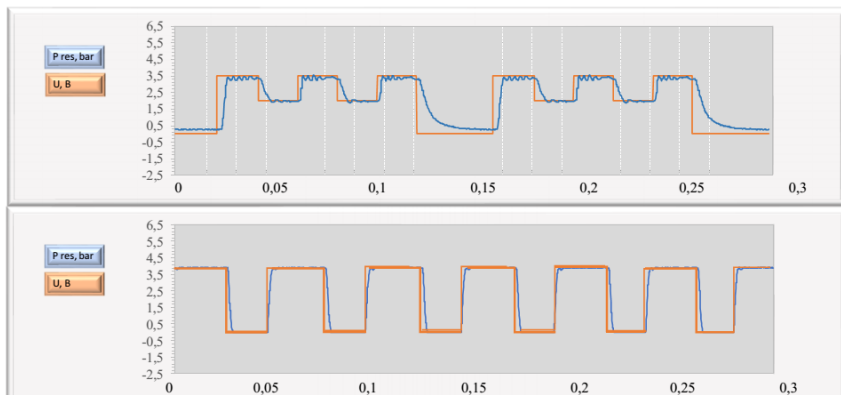


Рисунок 6.11 – Узагальнена характеристика роботи модуля мікродозатора за синусоїдальним законом розпилення продукту при $d_{mp} = 0,004$ м, $P_p = 4,0$ бара, амплітуда коливань тиску 4 бара, $n = 18...21$ Гц

На основі отриманих результатів дослідження отримано значення відхилення дози продукту в межах $1,0...1,2$ % при $P_p = 1,8$ бар, $d_{tr} = 0,004$ м, амплітуда коливань тиску 1,2 бара, частота $n = 18...36$ Гц.

6.3. Проект типового функціонально-мехатронного модуля пневмосоплового оброблення споживчої упаковки

Розроблена та виготовлена експериментальна установка з електропневмоприводом для дослідження гідрогазодинамічних та кінематичних параметрів роботи соплових систем, ежекторів, пневмозмішувальних модулів газових та рідинних робочих середовищ. Принципова схема експериментальної установки наведена на рис. 6.12. Установка складається із двох основних блоків: I - блок дозування і керування; II - блок контролю і змішування. Загальний вигляд експериментальної установки наведено на рис. 6.13.

У лініях пакування харчових продуктів при виконанні допоміжних технологічних операцій широко застосовують пневмосоплові пристрої із

системами ежекторів. Прикладами застосування є операції оброблення поверхонь пакувальних матеріалів і споживчої тари, введення газомодифікованого середовища (ГМС) всередину упаковки, поділення потоку споживчих упаковок на конвеєрі, створення вакууму, очищення клапанів картонної упаковки перед нанесенням клейового розчину тощо. За результатами аналізу конструкцій пневмосоплових пристроїв із системами ежекторів встановлено, що найбільш широко застосовуються конструкції з такими елементами: прямі та L-подібні ежектори, конусні сопла, витратні змішувальні електропневматичні плити керування із системою зворотного зв'язку.

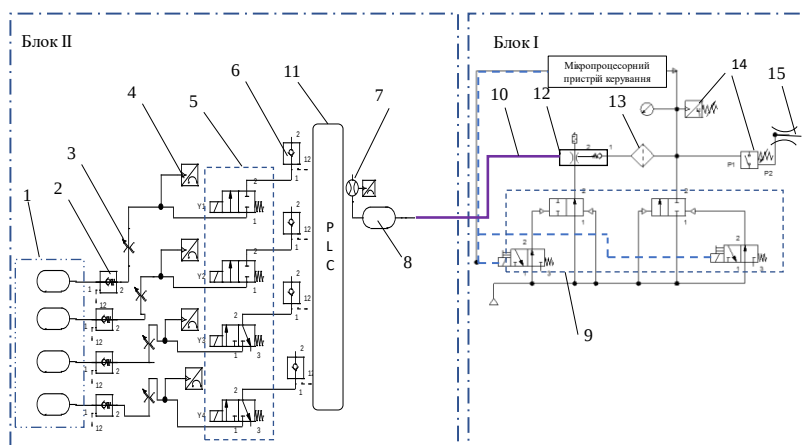
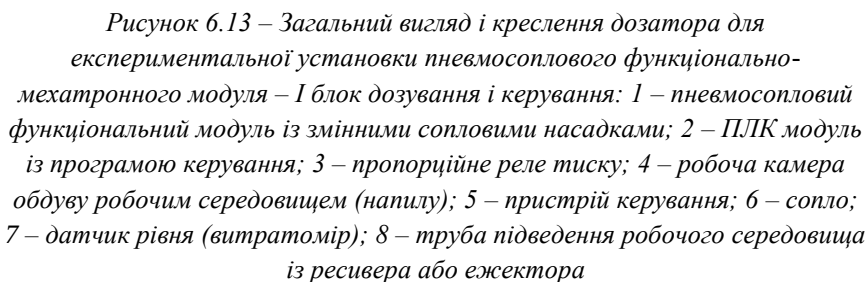


Рисунок 6.12 – Принципова схема експериментальної установки з електропневмоприводом для дослідження гідрогазодинамічних та кінематичних параметрів роботи соплових систем, ежекторів, модулів для пневозмішування газових та рідинних робочих середовищ: 1 – блок ресиверів із робочими середовищами; 2 – запірні клапани; 3 – дроселі регулювання швидкості підведення робочого середовища; 4 – електронні датчики тиску; 5 – блок керуючих розподільників; 6 – зворотні клапани; 7 – витратомір із контролем швидкості подачі середовища; 8 – ресивер змішувальний; 9 – блок керування і контролю дозуючого подавального пристрою; 10 – з'єднувальний трубопровід; 11 – ПЛК; 12 ежектор; 13 – фільтр; 14 – пропорційні регулятори тиску; 15 – сопло



1. Встановлюються ресивери із досліджуваним робочим середовищем: газове середовище - (повітря ($N_2+O_2+Ar+CO_2$), кисень, вуглекислий газ); ньютонівські рідини (вода, водно-спиртова суміш, вітамінізований розчин); в'язкі рідини (клей). Під'єднується витратна плита керування до робочих ресиверів із середовищем розпилювання, відповідно схеми рис.6.14 блок II;

392

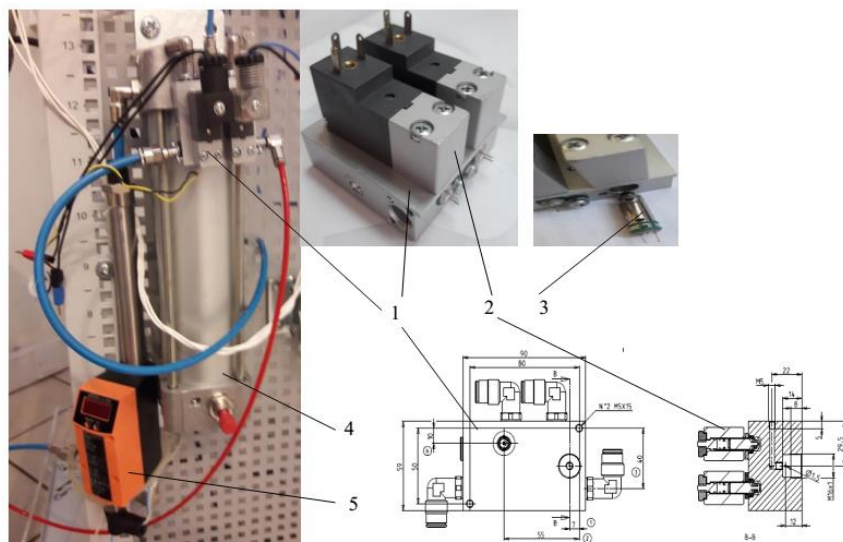


Рисунок 6.14— Загальний вигляд експериментальної установки пневмосоплового функціонального модуля – II блок контролю і змішування газового середовища: 1- витратна плита із керуючими елементами; розподільник 2/2 НЗ (PD000-2A3-F52-S01); розподільник 3/2НЗ(K8000-303-K23); 4 – змішувальний ресивер; 5 – витратомір SD6000

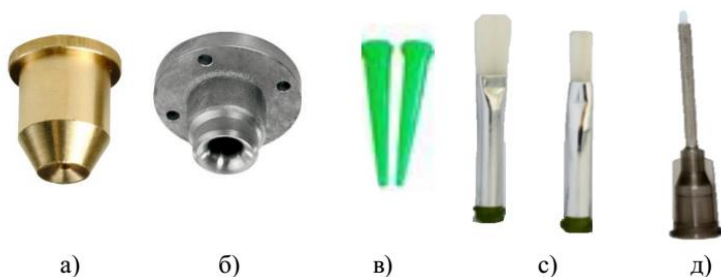


Рисунок 6.15 – Конструкція соплових насадок для дослідного робочого середовища: а - конусна металева насадка для газових середовищ; б) пряма циліндрична насадка для газових середовищ; в – конусна поліпропіленова насадка для ньютонівських середовищ; с – щіткова насадка для нанесення в'язких середовищ на пакувальний матеріал; д – перехідна насадка із стрічкою ПЕТФ для розподілення в'язких середовищ по поверхні пакувального матеріалу

3. Встановлюється пакувальний матеріал, споживча тара, або мірна скляна камера (з'єднана із тензовагами) на позицію обдування (оброблення);
4. Задаються умови проведення технологічної операції (тиск, час обдування, частота імпульсів струменя робочого середовища) через програму контролера, за рахунок зворотного зв'язку із пропорційним регулятором тиску, цифровим реле тиску, витратоміром;
5. За наявності стартової команди, починається нагнітання робочого середовища через соплову систему ежектора за рахунок зміни тиску;
6. Формується один або декілька паралельних струменів робочого середовища, які подаються на поверхню пакувального матеріалу (споживчої тари);
7. Після завершення операції обдування (введення газового середовища в упаковку), змінюються геометричні параметри позиціонування робочого сопла по відношенню до поверхні обдування і робочі умови (вхідні параметри) проведення процесу;
8. За допомогою аналогово цифрового перетворювача обробляються значення кінематичних і динамічних характеристик роботи пневмосоплового функціонального модуля;
9. Результати досліджень обробляються статистичними методами;
10. Методика проведення експериментальних досліджень може частково змінюватись при зміні: відстані обдування поверхні оброблення (матеріалу упаковки, споживчої тари); частоти імпульсного формування струменя обдування; типу ежектора і сопла тощо.

Наведена методика експериментальних досліджень дає можливість визначити вплив зовнішніх факторів на роботу пневмосоплового мехатронного модуля при виконанні технологічних операцій, пов'язаних із обробленням поверхні пакувального матеріалу, споживчої тари, харчового продукту.

6.4. Проєкт типового функціонального модуля живлення і дозування дрібно-штучних продуктів

В машинах для поштучного або групового пакування дрібно-штучних продуктів широко використовують вібраційно-інерційні живильники. На основі морфологічного аналізу і синтезу таких функціональних модулів та імітаційного моделювання руху дрібно-штучних виробів виготовлено новий вібраційно-інерційний живильник (рис. 6.16).

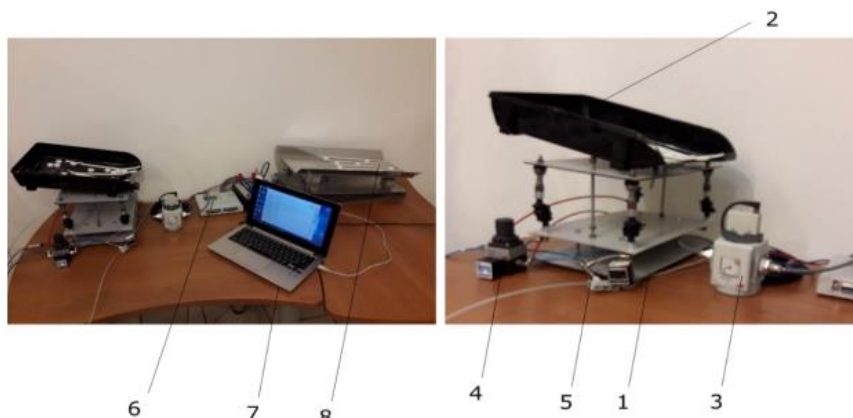


Рисунок 6.16 – Загальний вигляд нового вібраційно-інерційного живильника для дрібно-штучних продуктів

Вібраційно-інерційний живильник складається: 1 – опорна плита; 2 – транспортувальний лоток із змінними напрямними вздовж руху продукту; 3 – пропорційний регулятор тиску; 4 – регулятор тиску із цифровим манометром для забезпечення постійного тиску живлення пневмосистеми; 5 – чотири ежектори, зв’язані із сильфонними пневмоциліндрами і цифровими мановакууметрами; 6 – АЦП; 7 – ПК; 8 – RC 485 – кабель передачі даних.

Для дослідження динамічних параметрів сильфонного пневмоциліндра з інерційним навантаженням розроблено та виготовлено експериментальну установку (рис. 6.17).

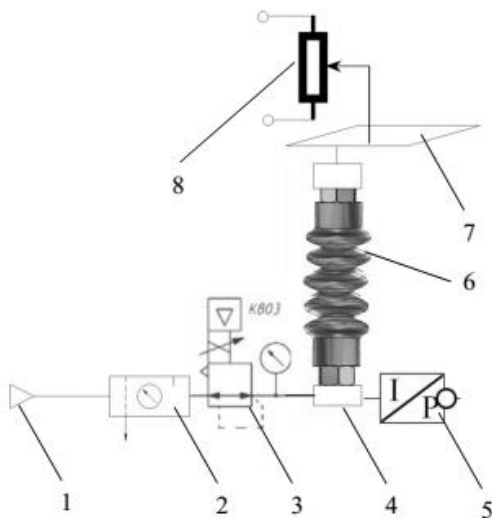


Рисунок 6.17 – Схема експериментальної установки для дослідження сифонного пневмоциліндра

У функціональному модулі передбачено регулювання швидкості переміщення дрібно-штучних виробів або розділення загального потоку за допомогою нерухомих напрямних. При цьому здійснюється керування рухом кожної опори лотка живильника за заданим законом руху (рис. 6.18).

Це забезпечує різні коливання лотка із змінною частотою і амплітудою.

Пілотний зразок модуля живлення і дозування дрібно-штучних виробів дає можливість створювати вимушені коливання лотка живильника у вертикальному, горизонтальному та під заданим кутом до горизонту із змінними амплітудою та частотою коливань. Поряд із цим, запропонована конструкція опори може реалізувати асиметричний закон коливання лотка. Це дає можливість забезпечувати переміщення продукту по лотку навіть при порушенні коливань паралельно осі лотка. Власні коливання, властиві лоткам на пружних елементах, тут відсутні.

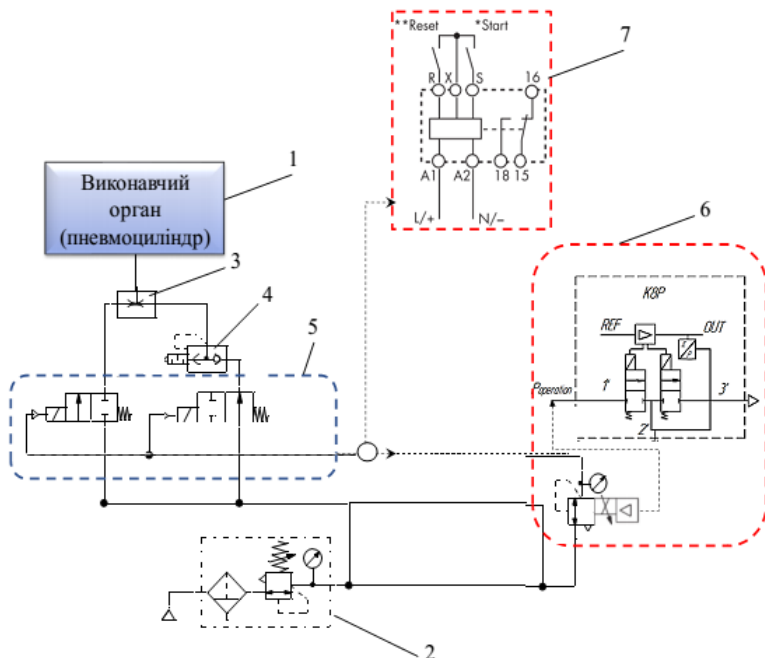


Рисунок 6.18 – Схема керування рухом лотка живильника для дрібноштучних виробів: 1 – пневматичний циліндр, зв’язаний із лотком; 2 – блок підготовки повітря; 3 – ежектор; 4 – клапан швидкого вихлопу; 5 – блок керування силовою частиною виконавчого органа; 6 – блок розподілення керуючих впливів на основі мехатронної керуючої системи; 7 – блок розподілення керуючих впливів на основі електронного цифрового таймера Finder 88.02

Під час дослідження функціонального модуля прийнято такі вихідні параметри: межі зміни значень амплітуди $A = 20 \dots 100$ мм, частота коливань $n = 10 \dots 100$ Гц. Ці параметри прийнято відповідно до технологічних режимів роботи пакувального обладнання.

В основу системи керування покладено роботу ПЦД регулятора, ЦАП із вихідним сигналом $U = 0 \dots 10$ В. Значення ΔP складає 0,022 % від діапазону зміни вихідного тиску, тобто є достатнім з точки зору точності вимірювань тиску при проведенні експериментів.

Команда керування на модуль формування за синусоїдальним законом здійснюється за допомогою ПП Fluid Lab 8, Version 1.0. Для отримання інформації щодо тиску в сильфонному циліндрі використано SWCN-P10 (КАМОЦЦІ) (рис. 6.19).

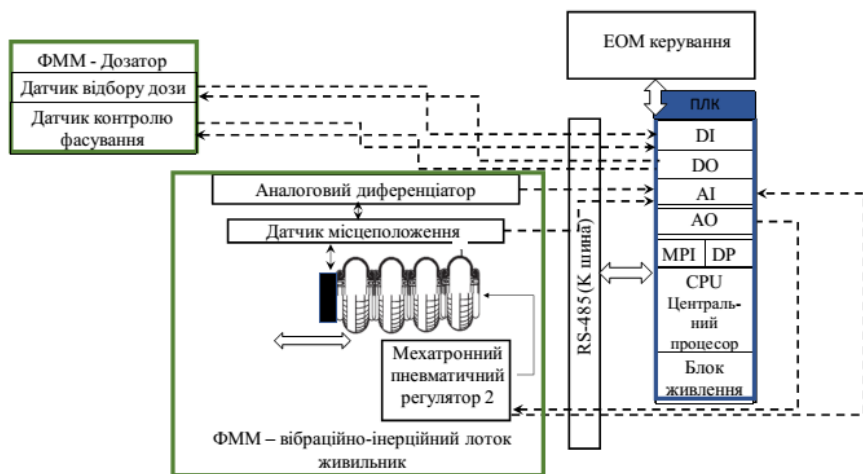


Рисунок 6.19 – Структурна схема експериментального стенда вібраційно-інерційного живильника: DI – дискретні входи (0-65Гц); DO- дискретні виходи; MPT – мехатронний регулятор тиску(аналогові входи/аналогові виходи (0-10 В), пропорційні вхідному сигналу (0-9 бар); MPI-інформаційна лінія передачі даних (9,6 Кб/с); ДТ – датчик тиску; ДМ – датчик місцеположення; ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

Під час дослідження контролювалася стабільність тиску в робочій камері сильфонного циліндра, від якого залежать амплітуда та частота коливання робочої поверхні лотка.

Загальний вигляд експериментального стенда вібраційно-інерційного живильника для дрібно-штучних виробів наведено на рис. 6.20.

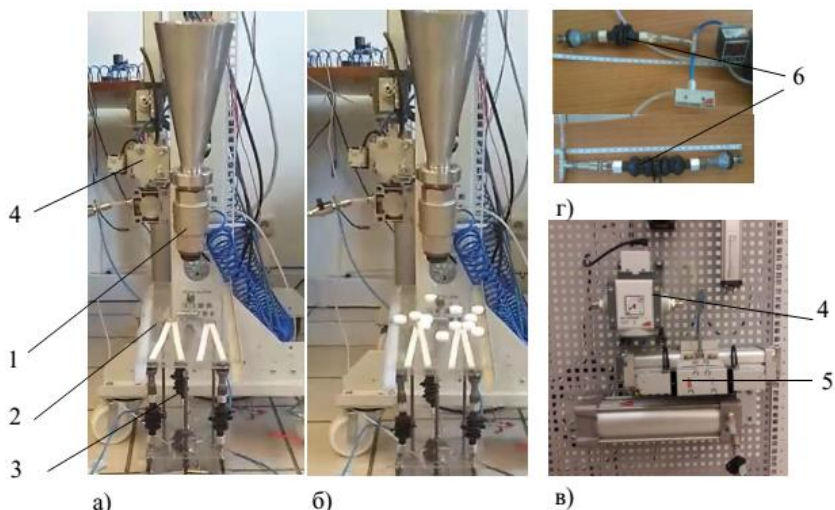


Рисунок 6.20 – Експериментальний стенд вібраційно-інерційного живильника для дрібно-штучних виробів: а) загальний вид експериментального стенду на холостому режимі роботи; б) робочий режим із розподіленням дрібно-штучних продуктів по напрямній; в) блок керування; г) система тестування сифонного циліндра на видовження із контролем по тиску; 1 – бункер для дрібно-штучних продуктів; 2 – робочий лоток; 3 – привод на основі сифонних циліндрів; 4 – МРТ; 5 – модуль підсилювач вхідного тиску (стабілізує тиск на вході в сифонні пневмоциліндри); 6 – сифонні пневмоциліндри

На рис. 6.21 наведено узагальнені та оброблені характеристики роботи вібраційно-інерційних живильників, виконаних із застосуванням сифонних пневмоциліндрів.

Результатами експериментальних досліджень встановлено характер та тривалість перехідних процесів регулювання тиску в робочій камері сифонного циліндра та на виході МРТ.

Встановлена швидкість спрацювання сифонного циліндра – 2,7 м/с при зміні магістрального тиску в межах від 0,6 МПа до 0,8 МПа.

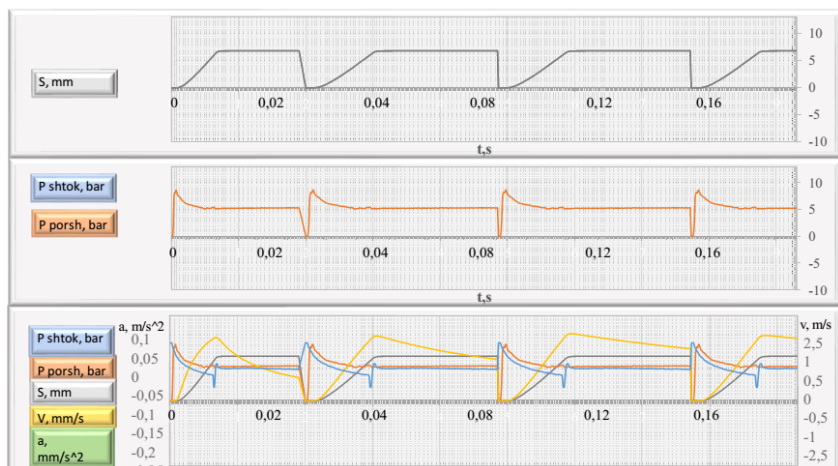


Рисунок 6.21 – Узагальнені результати роботи вібраційно-інерційного живильника дрібно-штучних виробів при: діаметр трубопроводу – 0,004 м, робочий тиск – 6,0 бар, амплітуда коливань – 100 мм, частота коливань змінювалась в межах 20...80 Гц

Отримані характеристики по амплітуді і частоті коливань дали можливість виділити оптимальні робочі режими живильника, зокрема при $A = 100$ мм, частоті коливань $n = 80$ Гц та при магістральному тиску повітря на вході 6 бар (0,6 МПа) загальна продуктивність становить 0,2 кг за секунду.

6.5. Проект типового функціонального модуля переміщення і позиціонування споживчої тари під час фасування дрібно-штучних продуктів

Під час дозування і фасування дрібно-штучної продукції в попередньо виготовлену споживчу тару важливо за відповідний термін часу і у відповідне положення, з допустимою точністю, розташувати тару. Ці параметри мають бути погоджені із ритмом роботи дозувально-фасувального модуля. На рис. 6.22 наведена послідовність роботи двох модулів – дозування-фасування та переміщення тари.

Етапи дозування включають такі переходи: 1 – відкривання верхньої

шиберної заслінки на наповнення мірної рухомої ємності; 2 – закривання верхньої шиберної заслінки із одночасним переміщенням мірної ємності в позицію фасування; 4 – фасування продукту у споживчу тару, яка підводиться і відводиться позиційним електропневмоприводом; 5 – повернення мірної ємності в початкове положення і подача наступної споживчої тари в позицію фасування.

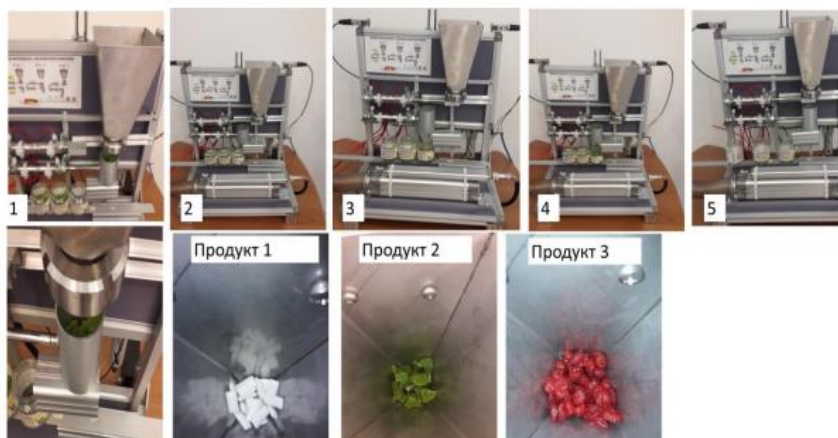


Рисунок 6.22 – Поетапне зображення синхронної роботи модулів дозування-фасування та переміщення споживчої тари

Функціональний модуль лінійного переміщення споживчої тари має в своєму складі мехатронну систему: комп'ютер із програмою керування SIMATIC STEP 7 V5.3, контролер Siemens S7=300, обмін даними PtP, послідовний інтерфейс RS485. Мехатронна система керування реалізована на базі циліндра CAMOZZI 6.1 серії (хід 400 мм з діаметром поршня 32 мм), пневмоострова, лінійного вимірювача, координати переміщення, серії BTL 5 (компанії Balluff), аналогового диференціатора для обчислення швидкості руху поршня.

Структурна схема експериментального стенда лінійного переміщення та позиціонування споживчої тари наведена на рис. 6.23.

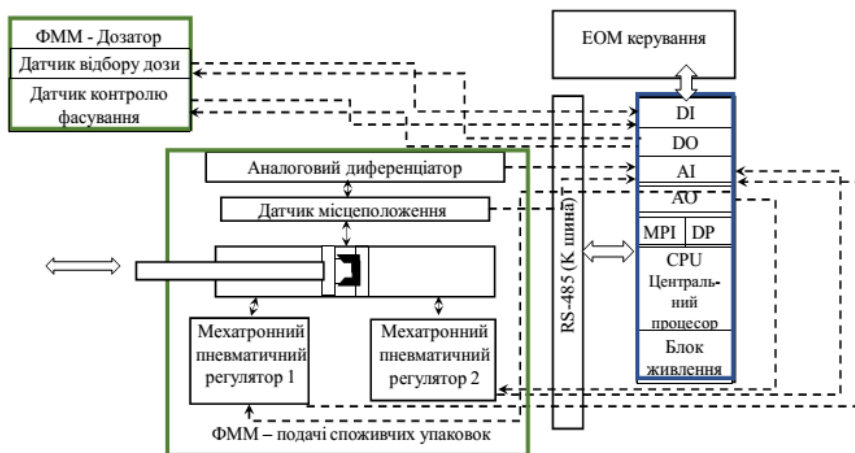


Рисунок 6.23 – Структурна схема стенда для дослідження модуля лінійного переміщення та позиціонування споживчої тари: DI – дискретні входи (0-65Гц); DO- дискретні виходи; AI- аналогові входи (0-10 В, 4-20мА); АО-аналогові виходи; MPI -інформаційна лінія передачі даних (9,6 Кб/от)

На першому етапі дослідження проведено калібрування встановленого на корпусі пневмоциліндра датчика через уточнення сигналів, що подаються на аналогово-цифровий перетворювач із датчика місцеположення та аналогового диференціатора, встановлено перешкоди та підібрані фільтри в програмованому логічному контролері.

Наступним кроком налаштовано контур регулювання швидкості руху вихідної ланки модуля подачі споживчої тари, підібрано складові ПІД регуляторів.

На наступній стадії проведено серію дослідів по формуванню структури керуючої системи приводу, обрано коефіцієнти регуляторів у системі від’ємного зворотнього зв’язку за місцеположенням та швидкістю для структури підпорядкованого контура регулювання.

Останнім етапом є дослідження кінематичних і динамічних параметрів позиційного електропневмопривода із нелінійним законом керування для підвищення динамічної частки точності.

Критерієм налаштування контура керування є мінімальна тривалість переміщення вихідної ланки пневмоциліндра до заданої точки позиціонування та мінімальна тривалість регулювання привода при малих швидкісних режимах подачі споживчої тари на ділянку фасування. Результати дослідів наведено на рис. 6.24 – 6.27.

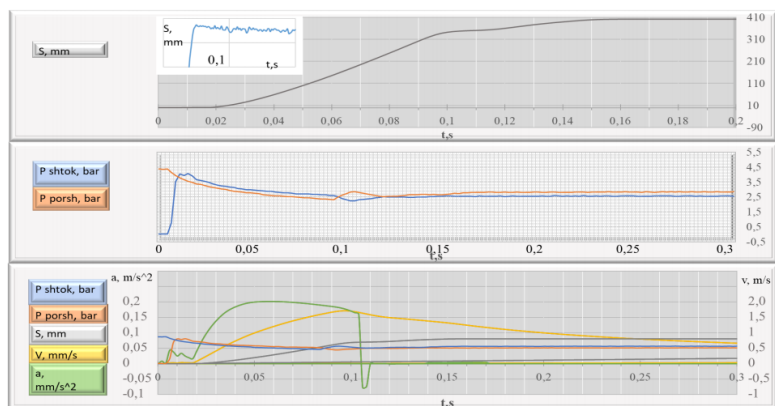


Рисунок 6.24 – Узагальнені кінематичні параметри роботи вихідної ланки модуля переміщення при реалізації закону руху поршня, наближеного до оптимального за швидкодією при $d_{mp} = 0,008$ м, $f_1^e = 5,027 \cdot 10^{-5}$ м², $x = 0,4$ м, $d_u = 0,032$ м, $d_{um} = 0,016$ м, $P_p = 0,5$ МПа

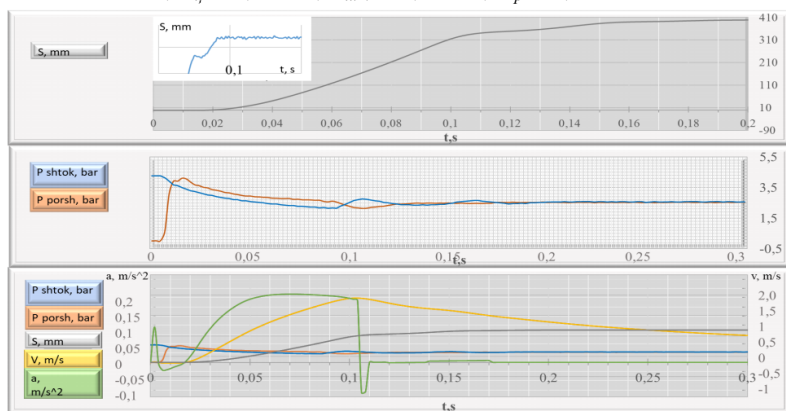


Рисунок 6.25 – Узагальнені кінематичні параметри роботи вихідної ланки модуля переміщення при реалізації закону руху поршня, наближеного до оптимального за швидкодією при $d_{mp} = 0,006$ м, $f_1^e = 2,827 \cdot 10^{-5}$ м², $x = 0,4$ м, $d_u = 0,032$ м, $d_{um} = 0,016$ м, $P_p = 0,5$ МПа

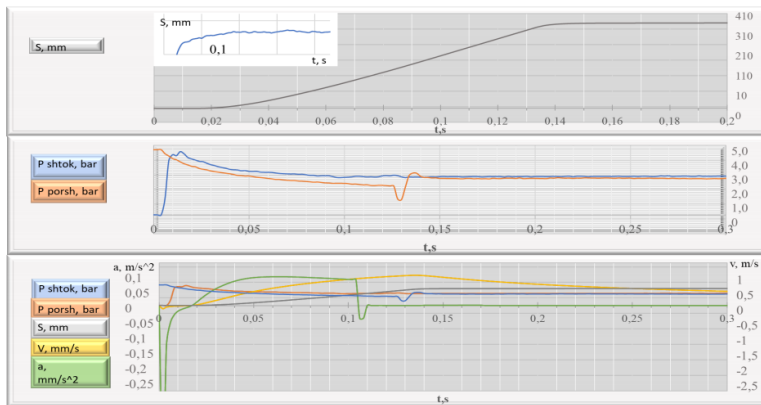


Рисунок 6.26 – Узагальнені кінематичні параметри роботи вихідної ланки модуля переміщення при реалізації закону руху поршня, наближеного до оптимального за швидкодією при $d_{mp} = 0,004$ м, $f_1^e = 1,257 \cdot 10^{-5}$ м², $x = 0,4$ м, $d_u = 0,032$ м, $d_{um} = 0,016$ м, $P_p = 0,5$ МПа

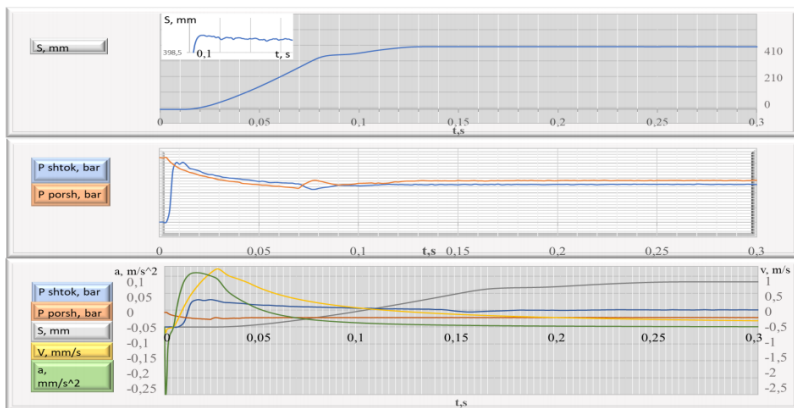


Рисунок 6.27 – Узагальнені кінематичні параметри роботи вихідної ланки модуля переміщення при реалізації закону руху поршня, наближеного до оптимального за швидкодією при $d_{mp} = 0,002$ м, $f_1^e = 0,637 \cdot 10^{-5}$ м², $x = 0,4$ м, $d_u = 0,032$ м, $d_{um} = 0,016$ м, $P_p = 0,5$ МПа

Результатами досліджень встановлено, що у контурі регулювання швидкості при вхідному сигналі та при швидкості 1 м/с спостерігаються коливальні процеси, зокрема максимальне значення швидкості змінюється в

межах від 1,5 м/с до 2,2 м/с, прискорення зростає до 0,28 м/с².

Отримані коливання в системі пневмоприводу свідчать, що при досягненні кінцевої точки зупинки вихідної ланки ($t = 0,1$ с), запрограмованої заданим законом руху споживчої тари, поршень не досягає усталеної швидкості руху в умовах слабкого демпфування на контурі швидкості, наявності сил тертя, а також вплив перешкод від датчика місцеположення і аналогового диференціатора. При введенні корегуючих параметрів зворотнього зв'язку: перепаду тиску та його похідних із зовнішнім мехатронним пневматичним регулятором, отримано покращені характеристики роботи модуля переміщення споживчої тари. Швидкість стабілізується в межах 1,1 м/с, рух поршня, при досягненні кінцевої заданої точки – має суттєво зменшені коливання в межах 0,1 с.

6.6. Проєкт типового функціонального модуля переміщення і натягу пакувального рулонного матеріалу

Грунтуючись на проведеному аналізі функціональних модулів машин пакування харчових продуктів у рулонні пакувальні матеріали встановлено, що одним із складних, з точки зору контролю динамічних і кінематичних параметрів, від яких залежить якість виготовлення упаковки, є модуль розмотування і переміщення рулонного пакувального матеріалу.

Синтезований модуль переміщення і натягу пакувального рулонного матеріалу наведений на рис. 6.28.

Функціональний модуль подачі плівкового матеріалу в своєму складі має електропривід і електромеханічний привід. До складу модуля входять: 1- активний ролик натягування плівки, закріплений на безштоковому пневмоциліндрі; 2 – кроковий електродвигун пристрою розмотування рулону; 3 – пакувальний матеріал; 4 - цифровий драйвер для крокових двигунів із вбудованими системами bluetooth і NFC; 5 – аналогово-цифровий перетворювач; 6 – пропорційний регулятор тиску із цифровим манометром; 7

– програма керування; 8 – пневмоострів керування безштоковим пневмоциліндром; 9 – інформаційний кабель зворотнього зв'язку, 10 – перфорована пластина із лінійкою для контролю за ходом штоків пневмоциліндрів; 11 – ультразвуковий датчик.

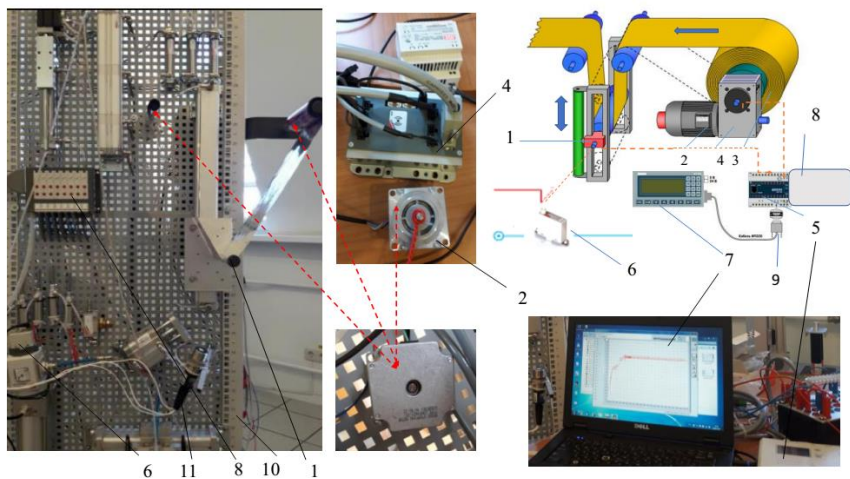


Рисунок 6.28 – Загальний вигляд типового функціонального модуля переміщення і натягу пакувального рулонного матеріалу

Методикою перевірки роботоздатності функціонального модуля подачі рулонного пакувального матеріалу передбачено виконання таких основних дій:

– Рулонний пакувальний матеріал, приймаємо матеріал поліпропілен товщиною 12 мкм та шириною в межах 100 – 300 мм, фіксується на рулонотримачах, які з'єднані із механізмом розмотування і змотування, що працює від покрокових двигунів МТВ з потужностями 100 Вт. Електродвигуни оснащені датчиком зворотнього зв'язку із чутливістю 10.000 імпульсів на один оберт та гальмом. Високі динамічні характеристики цих двигунів дають можливість забезпечувати постійний крутний момент на будь-якій швидкості. Завдяки низькому моменту інерції ці двигуни застосовують у

випадках потреби частоті зміни напрямку руху і великої частоти обертання ротора. На рулонтримачах задається однакова швидкість переміщення плівки (приймаємо 1 м/с). Система драйвера DRCS-A05-8-D-0-A дає можливість керувати частотою обертання ротора за допомогою команд Step/Dir. Частота обертання визначає швидкість переміщення плівки, а кількість кроків – позицію (довжину пакета). Драйвер під'єднаний до ПЛК, який реалізує програму розмотування рулону (програмне забезпечення CAMOZZI QSet). Зворотний зв'язок здійснюється за допомогою інкрементального енкодера. Конфігурація здійснюється по кабелю кабелю USB 2.0 і бездротове конфігурування за допомогою протоколу Bluetooth.

- Попередньо налаштовується контролер при різних величинах натягу плівки.
- Визначається максимальний натяг стрічки пакувального матеріалу до появи її ушкоджень (рис. 6.29).

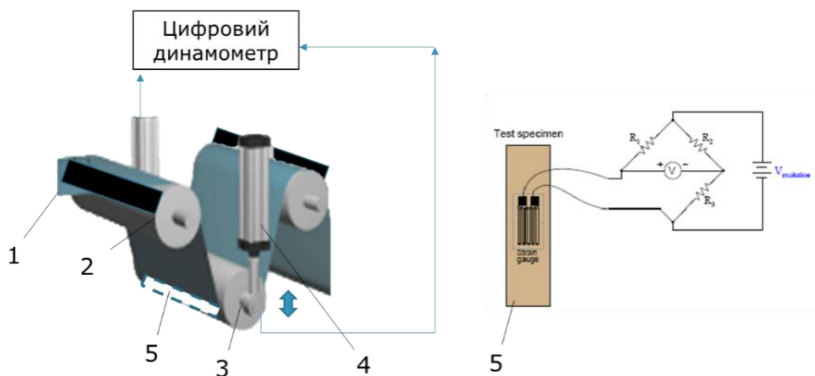


Рисунок 6.29 – Схема експериментальної установки для визначення максимального натягу пакувального матеріалу: 1 – стрічка пакувального матеріалу; 2 – нерухомі фіксуючі ролики для пакувальної стрічки; 3 – рухомий, керований пневмоприводом 4 натяжний ролик із тензорезисторами (вздовж всієї вісі контакту із пакувальним матеріалом) та цифровим динамометром; 5 - тензорезистор (коефіцієнт чутливості 100, 2ФКП-5х200, номінальний опір - $200 \pm 0.35\% \text{ Ом}$)

Для керування переміщенням штоків пневмоциліндрів, з'єднаних із натяжним роликом використовуються АЦП.

Така послідовність дослідження і перевірки роботоздатності функціонального модуля дає можливість визначити величину зусилля на натяжному ролику в пристрої переміщення пакувальної плівки із рулону до ділянки формування споживчої упаковки, задати закон руху робочого органу із можливістю змінювати його в разі потреби та визначити оптимальні умови натягу без суттєвої деформації пакувального матеріалу.

Як дослідний зразок прийнято рулон пакувального матеріалу масою $m = 3$ кг; коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні ролика $f_1 = 0,3$; ширина рулону – 300 мм; діаметр рулону – 75 мм; запланована продуктивність модуля – 70 упаковок за хвилину.

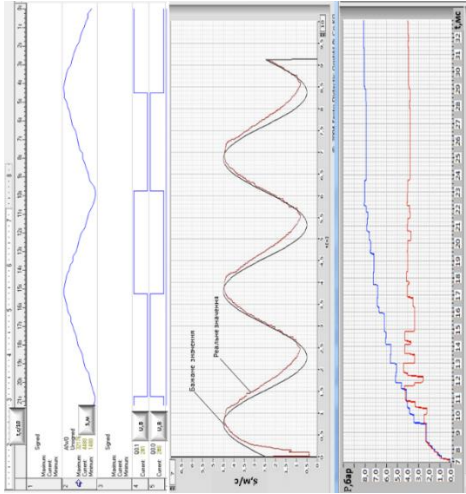
Параметрами дослідження були тривалість T операції переміщення плівки і траєкторія переміщення натяжного ролика (закріплений на каретку пневмоциліндра). Переміщення оцінювалось по координатах x , y та куту повороту φ .

Після статистичного оброблення дослідних даних встановлено, що середнє значення тривалості $T_{\text{ср}}$ переміщення плівки становить 0,65 с. При проведенні аналітичних розрахунків $T = 0,71$ с. Тоді відносне відхилення становить 7,14 %.

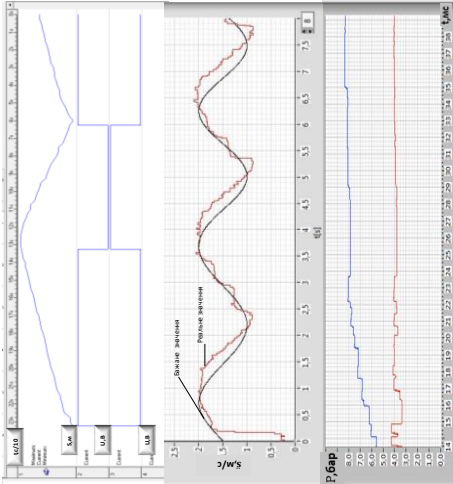
На пілотному зразку функціонального модуля переміщення також було проведено ряд дослідів із змінним навантаженням на ролик. Результати дослідів наведено у вигляді графіків (табл. 6.1).

У ході дослідження змодельовано синусоїдальний і косинусоїдальний закони зміни тиску в пневмоциліндрі, каретка якого жорстко зв'язана із активним роликом. Структурна схема керування силовими параметрами приводів наведена на рис. 6.30.

Таблиця 6.1 – Результати дослідів на пілотному зразку функціонального модуля переміщення пакувальної плівки

№п/п	Технологічна схема процесу пакування	Узагальнені характеристики навантаження ФММ _і
1	Кінематичні та силові параметри операції подачі рулонного плівкового матеріалу за допомогою ФММ на основі безштокового пневмоциліндра (експеримент 1) 	Зведена маса рулону $m = 3 \text{ кг}$; хід до позиції зупинки по координаті $s = 300 \text{ мм}$ (при максимальному ході 400 мм); магістральний тиск повітря $P_m = 0,8 \text{ МПа}$, амплітуда коливань тиску на пропорційному регуляторі $MX-PRO$, $A=2,0$; частота наданого імпульсу $\eta_j = 2,5$. Величина вхідного тиску на вході у пневматичний підсилювач (бустер) у межах до 4 бар. Максимальне прискорення $\ddot{s} = 4,5 \text{ м/с}^2$. Звіт за результатами планованого трифакторного експерименту з дослідження ФММ подачі рулонного плівкового пакувального матеріалу і натягування роликком – Додаток Ж1. Рівняння математичної моделі: <i>Математико-статична модель, яка адекватна процесу має вигляд:</i> $t = 0,685 - 0,001S - 0,003m + 0,015S^2 - 0,007m^2 + \dots - 0,009 f_{пер}^2 + 0,007Sm - 0,002S f_{пер} + 0,008m f_{пер}$ Висновок щодо адекватності математичної моделі: За критерієм Фішера рівняння математичної моделі є адекватним. Модель може бути застосована для вирішення виробничих завдань.

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
Кінематичні та силові параметри операції подачі рулонного плівкового матеріалу за допомогою ФММ на основі безштокового пневмоциліндра		Зведена маса рулону $m = 3$ кг; хід до позиції зупинки по координаті $s = 300$ мм (при максимальному ході 400 мм); магістральний тиск повітря $P_M = 0,8$ МПа, амплітуда коливань тиску на пропорційному регуляторі MX-PRO, $A=0,5$; частота наданого імпульсу $n_j = 1,5$. Тиск на вході у пневматичний підсилювач (бустер)- 4 бара. Максимальне прискорення $\ddot{S} = 2\text{м/с}^2$. Звіт за результатами планованого трифакторного експерименту з дослідження ФММ подачі рулонного плівкового пакувального матеріалу і натягування роликком – Додаток Ж2. Математико-статистична модель, яка адекватна процесу має вигляд: $t = 0,774 - 0,005S - 0,004m - 0,009f_{пер} + 0,021S^2 - 0,021m^2 + 0,013f_{пер}^2 - 0,006Sm - 0,01Sf_{пер} - 0,019mf_{пер}$ Висновок щодо адекватності математичної моделі: За критерієм Фішера рівняння математичної моделі є адекватним. Модель може бути застосована для вирішення виробничих завдань.

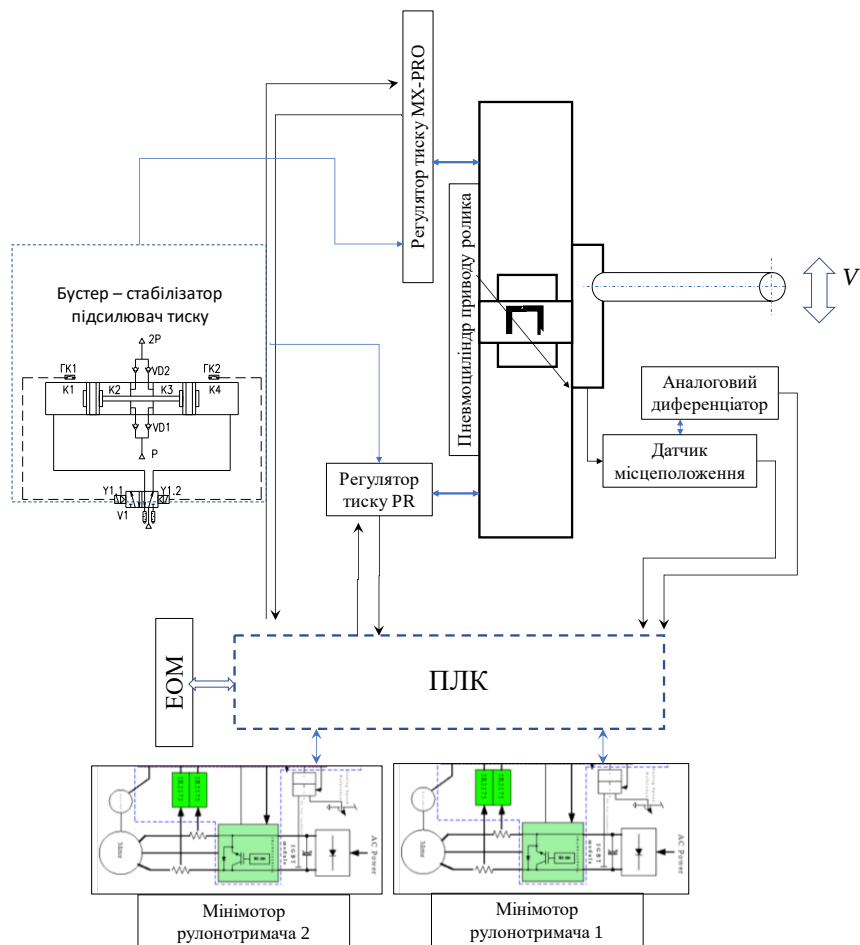


Рисунок 6.30 - Структурна схема керування силовими параметрами приводами в модулі подачі полімерної плівки

Аналіз результатів дослідження показує, що характер зміни координати руху ролика, визначений аналітично, відповідає реальному переміщенню. Відхилення одержаних значень не перевищували допустимі, прийняті за вихідні, в межах 10 – 14 %.

Під час проведення дослідження оцінювалися два режими роботи

функціонального модуля, якими підтверджена можливість широкої зміни параметрів функціонування модуля. Досліджені режими передбачають компенсацію впливу додаткових зовнішніх навантажень і є найбільш сприятливими для реалізації операції рукавоутворення.

У результаті досліджень впливу втрат стисненого повітря на якість роботи системи керування функціонального модуля запропоновано використовувати підсилювач тиску (бустер), який повністю нівелює можливі перепади вхідних значень магістрального тиску і враховує потрібне значення живлення керуючої системи модуля.

Підтверджено, що при застосуванні компоновки модуля на базі безштокового пневмоциліндра та пропорційної системи керування, відхилення від заданого закону руху ролика натягування плівки пакувального матеріалу мають зменшені значення гістерезису – порівняно із класичними системами з коливальним роликом із пневмомеханічним або електромеханічним керуванням.

6.7. Проєкт типового функціонального модуля вертикального та горизонтального переміщення

Проєкт мехатронного модуля вертикального переміщення (в подальшому «модуль лінійного переміщення») має забезпечувати виконання технологічних операцій піднімання та опускання структурних елементів групової або транспортної упаковки у вертикальній площині за умови виконання заданої продуктивності пакувальної машини та його швидкого переналадження.

Відповідно до структурної схеми модуля лінійного переміщення та вимог до будови його він має такі основні функціональні елементи: лінійний електродвигун; контролер електронного керування; систему зворотного зв'язку; блок живлення.

Структурна схема типового функціонального модуля вертикального переміщення наведена на рис.6.31.

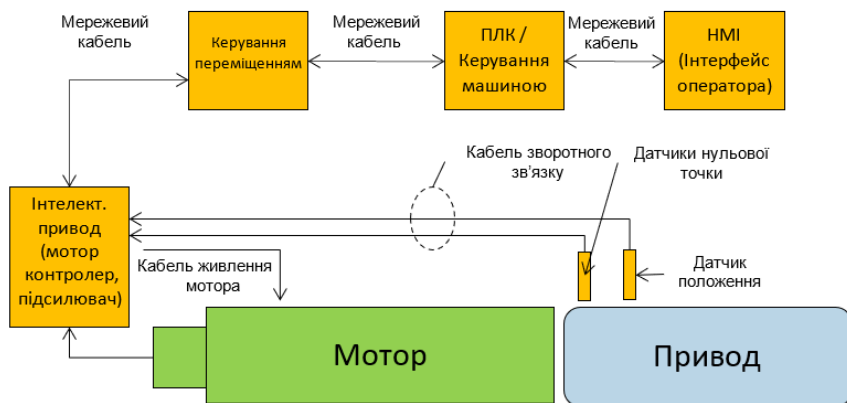


Рисунок 6.31 – Структурна схема типового функціонального модуля вертикального переміщення

У схемі передбачено, що основним елементом приводу є вбудований лінійний електродвигун змінного струму. Керування електроприводом здійснюється контролером. Обмін інформацією між приводом і контролером та системою зворотного зв'язку відбувається за допомогою стандартної шини передачі даних. Програмування контролера здійснюється за допомогою спеціального програмного забезпечення. Контроль технічних та технологічних параметрів під час виконання технологічної операції забезпечується системою зворотного зв'язку, яка складається з безконтактних датчиків переміщення.

Підбір елементів функціонального модуля вертикального переміщення здійснювався на основі його технічних та технологічних характеристик: максимальна вантажопід'ємність – 250 Н; максимальне лінійне переміщення – 300мм; контроль положення структурних елементів групової або транспортної упаковки у вертикальній площині - інкрементний; швидкість передачі даних - 12 Mbps; маса модуля лінійного переміщення не більше - 30 кг.

З метою оптимізації габаритних розмірів електропривода та забезпечення компактності монтажу запропоновано новітню конструкцію лінійного електродвигуна марки HME-16-200 компанії «Festo» (рис. 6.32).

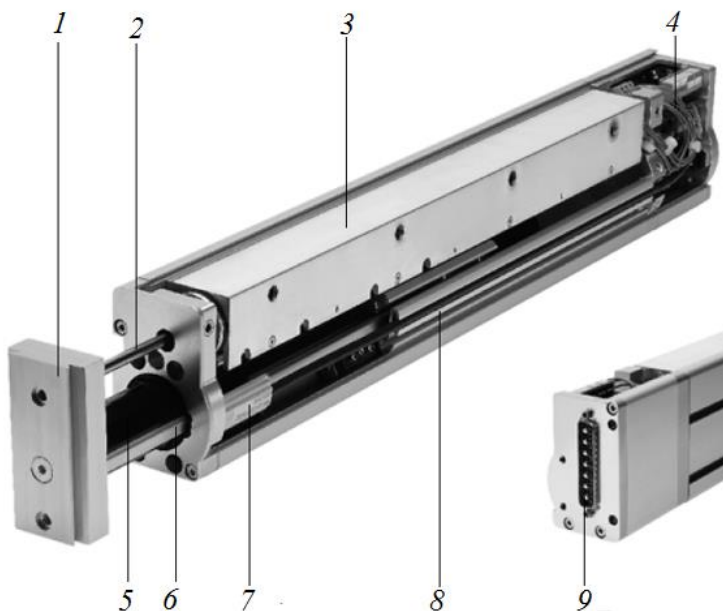


Рисунок 6.32 - Конструкція лінійного електродвигуна HME-16-200, компанії «Festo»: 1 – зіштовхувальна пластина; 2 – механічна система зворотного зв’язку; 3 – статор лінійного двигуна; 4 – електронна система оброблення інформації; 5 – шток електродвигуна; 6 – передня кришка; 7 – датчик положення; 8 – напрямні втулки штоку; 9 – елементи роз’єму для приєднання до контролера

Керування електроприводом здійснюється контролером марки SFC-LAC (рис. 6.33). Програмування контролера відбувається за допомогою спеціального програмного забезпечення «FCT – Festo Configuration Tool», яке дає можливість задавати і реалізовувати 31 точку позиціонування під час переміщення штоку лінійного двигуна.

Контроль параметрів під час виконання технологічної операції забезпечується системою зворотного зв’язку, яка складається з вимірювальної лінійки та безконтактних датчиків переміщення. Обмін інформацією між приводом і контролером та системою зворотного зв’язку відбувається за допомогою шини. Система вимірювання знаходиться у середині корпусу

лінійного двигуна. Датчик зворотного зв'язку закріплено на напрямній. Рух напрямної з датчиком зворотного зв'язку синхронізується за жорсткою схемою з рухом штока привода за допомогою траверси. Робота датчика базується на використанні явища магнітоімпульсного ефекту.



Рисунок 6.33 - Контролер марки SFC-LAC для керування лінійним приводом: 1– монітор для програмування та читання поточної інформації; 2– кнопки керування; 3 – роз'єм для приєднання лінійного електродвигуна

Технічні характеристики елементів типового функціонального модуля вертикального переміщення наведені в табл. 6.2 та його загальний вигляд на рис. 6.34.

Таблиця 6.2 – Технічні характеристики елементів модуля вертикального переміщення

п/п	Найменування елемента	Одиниці вимірювання	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання	Примітки
1	Контролер SFC-LAC	мс	–	–	Швидкість передачі даних 12 Mbps
2	Лінійний двигун НМЕ-16-200	мм	200	–	Робоче навантаження 250 Н
3	Датчик переміщення	мм	0 – 200	± 0.015	Інкrementний
4	Датчик положення SME-8	мм	–	± 0.1	Магнітний, безконтактний



Рисунок 6.34 -
Загальний вигляд
мехатронного модуля
переміщення з лінійним
двигуном для виконання
технологічних операцій
піднімання та
опускання: 1 – лінійний
електродвигун; 2 –
контролер; 3 –
система зворотного
зв'язку

Для пілотного зразка мехатронного модуля зіштовхування структурних елементів групової упаковки та збільшених вантажних одиниць було обрано типовий слідкуючий пневмопривод компанії «Festo» (рис. 6.35), який в сукупності з виконавчим механізмом піднімання та переміщення створює просту структурну схему пакувальної машини.

Привод мехатронного модуля зіштовхування структурних елементів групової упаковки та збільшених вантажних одиниць складається з промислових комплектуючих: лінійного приводу 1 марки DGPII; розподільника з пропорційним керуванням 2 марки МРУЕ з функцією регулювання витрат повітря; контролера нижнього рівня 3 марки SPC11; блоку живлення 4 на 24В.

Під час виконання технологічних операцій зіштовхування структурних елементів групової упаковки або збільшених вантажних одиниць передбачається використання змінних несучих поверхонь. За результатами аналізу конструкцій такого типу пристроїв встановлено, що найбільш використовуваними є поверхні з прогумованих, металевих та полімерних матеріалів.

Мехатронний модуль зіштовхування структурних елементів має три режими роботи: зіштовхування структурних елементів з несучого конвеєра на нерухому площину; зіштовхування структурних елементів зі стрічки конвеєра на металеву або полімерну поверхню; зіштовхування структурних елементів із нерухомої площини на магістральний конвеєр. Зіштовхування відбувається з полімерної або металеві поверхні на гумову стрічку конвеєра.



Рисунок 6.35 - Загальний вигляд мехатронного модуля зіштовхування структурних елементів групової упаковки або збільшених вантажних одиниць: 1 – лінійний двигун; 2 – контролер; 3 – система зворотного зв'язку; 4 – блок живлення; 5 – комп'ютер; 6 – змінні поверхні переміщення; 7 – структурний елемент групової упаковки

Інтерфейс користувача дає можливість програмувати контролер шляхом зміни координат позиціювання робочого органу та швидкості його переміщення, керувати пневмоприводом та слідкувати в реальному часі за характеристиками роботи. Основні технічні характеристики елементів модуля наведені в табл. 6.3.

Результати експериментальних досліджень функціонального модуля вертикального переміщення структурних елементів групової упаковки наведені на рис. 6.36.

Таблиця 6.3 – Технічні характеристики елементів горизонтального переміщення (пристрою зіштовхування)

n/n	Найменування елемента	Одиниці вимірювання	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання	Примітки
1	Контролер SPC11	мс	–	–	Швидкість передачі даних 1 Mbps
2	Пневматичний безштоковий циліндр DGPIL	мм	300	–	Робоче навантаження 483Н
3	Розподільник МРУЕ	%	–	± 0.4	max гістерезис
4	Вбудований в циліндр датчик переміщення	мм	0 – 300	± 0.01	Цифровий, магніто-стрикційний
5	АЦП	мс	4	–	16 - розрядний
6	Датчик тиску SDE1	бар	0 – 10	± 0.2	Від вимірювального діапазону

Встановлено, що система керування працює безвідмовно у випадку, коли амплітуда першої гармоніки більша за амплітуду всіх інших, тобто у випадку, коли рушійна сила більша, ніж сила інерції. У результаті накладання зовнішніх коливань на внутрішні автоколивання призводить до того, що вони не затухають. Нагальним рішенням даної проблеми може бути застосування нових конструкцій пристроїв зіштовхування, які за структурою і характеристикою є мехатронні модулі із власними електронними системами слідування та керування, які можуть локалізувати такі коливання.

Порівняльні результати зміни кінематичних параметрів зведеної маси пристрою зіштовхування наведені на рис. 6.37 та 6.38.

Результатами досліджень встановлено, що основним фактором виходу системи керування лінійним електродвигуном із сталого режиму роботи є пружні коливання пристрою горизонтального переміщення. А тому обмежити вплив коливань на точність позиціонування можливо за рахунок введення або виключення додаткових пружних елементів.

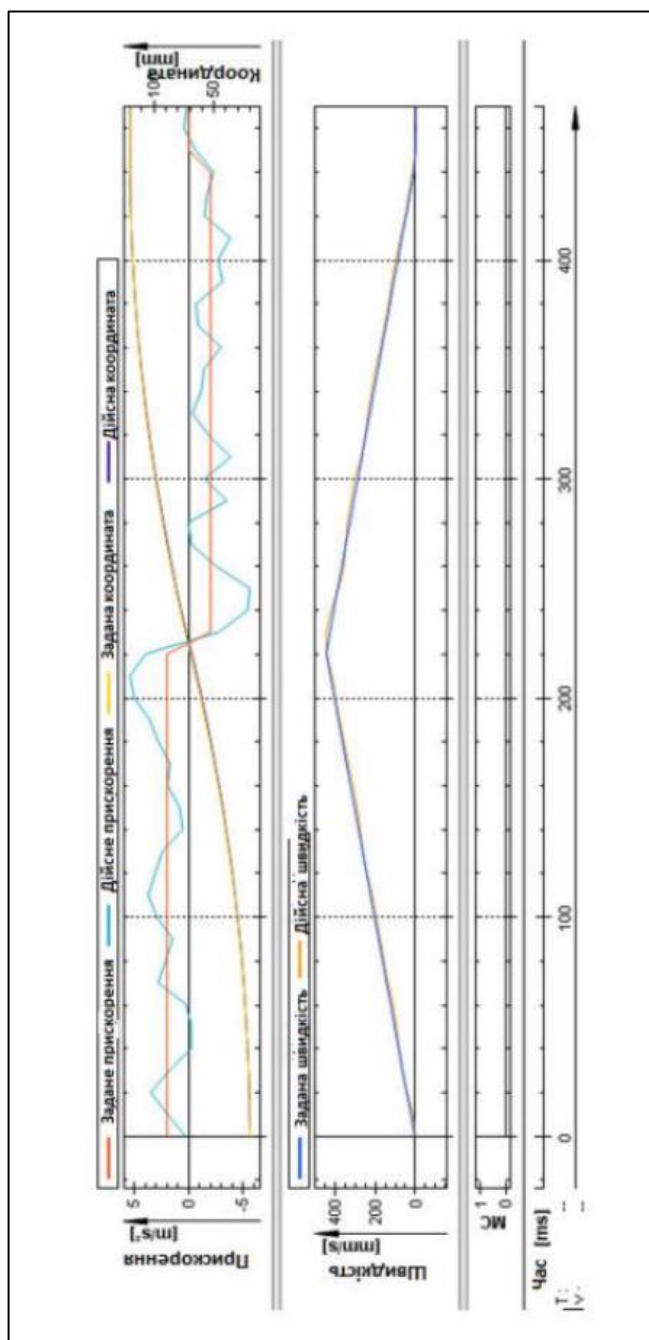


Рисунок 6.36 – Зміна кінематичних параметрів зведеної маси модуля з лінійним електромагнітним приводом під час виконання операції піднімання упаковки при початкових умовах: зведена маса $m = 4$ кг; хід до позиції зупинки по координаті $s = 200$ мм (при максимальному ході 300 мм); максимальне задане прискорення $a = 2,5$ м/с²

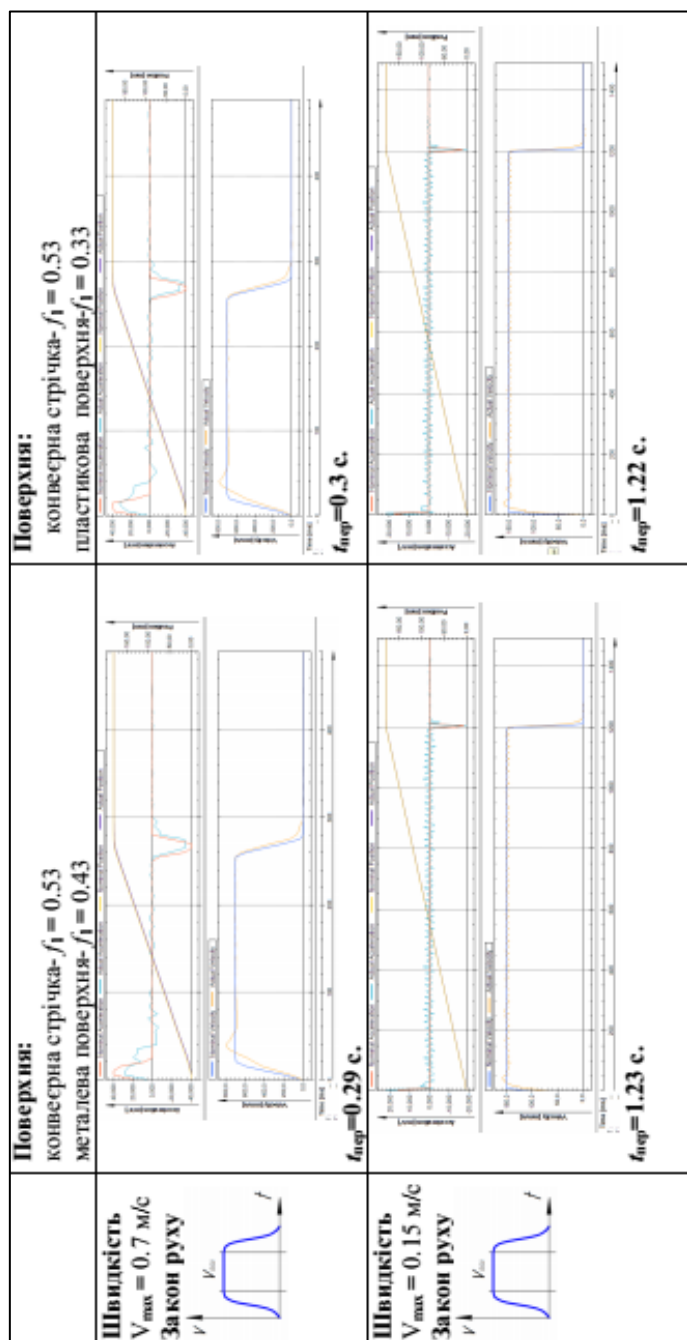


Рисунок 6.37 - Кінематичні параметри зведеної маси модуля з лінійним електродвигуном під час виконання операцій зіштовхування при початкових умовах: зведена маса $m = 2,8 \text{ кг}$; хід до позиції зупинки по координаті $s = 200 \text{ мм}$ (при максимальному ході 300 мм)

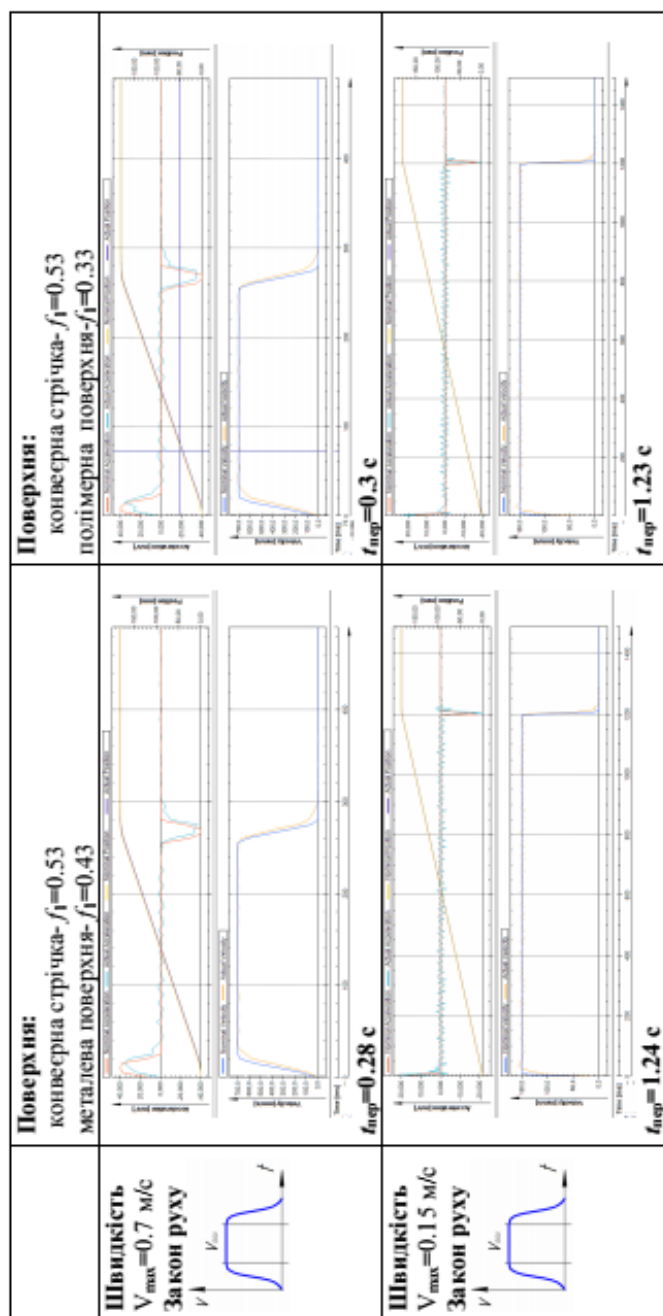


Рисунок 6.38 – Кінематичні параметри зведеної маси модуля з лінійним електродвигуном під час виконання операції зіштовхування при початкових умовах: зведена маса $m = 1,2$ кг; хід до позиції зупинки по координаті $s = 200$ мм (при максимальному ході 300 мм)

6.8. Проект типового функціонального мехатронного модуля захоплювання із комбінованими елементами

Проект мехатронного модуля захоплювання із комбінованими елементами утримання, в подальшому «модуль захоплювання», призначений для надійного утримання пакованих харчових продуктів за допомогою вакуумних та механічних робочих елементів.

Відповідно до структури модуля із комбінованими захоплювальними елементами та вимог до будови його конструкції модуль має такі основні функціональні елементи: вакуумний присмоктувач; механічний захоплювальний елемент; пневморозподільники; ежектор.

Структурна схема типового функціонального модуля захоплювання із комбінованими робочими елементами наведена на рис. 6.39. Структурною схемою передбачається, що основними робочими елементами комбінованого захоплювального пристрою є поєднання двох елементів: вакуумного присмоктувача та механічного притискача у вигляді рейково-важільного механізму з губками. Передбачено також, що вакуум для функціонального модуля із комбінованими захоплювальними елементами створює ежектор, який з'єднаний з присмоктувачем через систему пневматичних трубопроводів. Глибина розрідження вимірюється за допомогою електронного датчика тиску. Контроль тиску для механічного захоплювального пристрою здійснюється за допомогою електронного датчика надлишкового тиску.

Підбір елементів для конструкції типового функціонального модуля захоплювання із комбінованими робочими елементами здійснювався на основі визначених технічних та технологічних характеристик: вантажопідйомність - 50 Н; статичне зусилля механічних робочих елементів - 39 Н ;контроль положення структурних елементів групової або транспортної упаковки в захоплювальному пристрої - оптичний; швидкість передачі даних- 12 Mbps; робочий тиск повітря 0,2–0,8 МПа; маса модуля захоплювання до -2 кг.

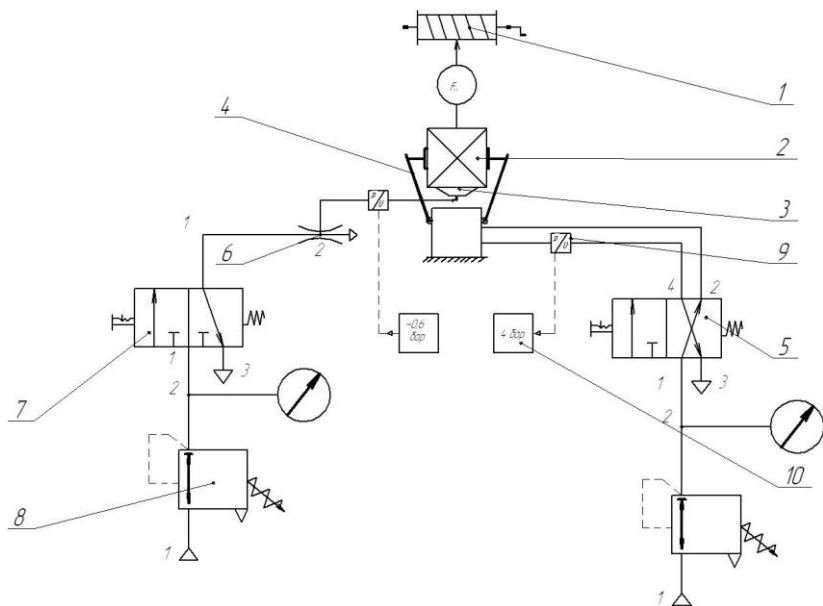


Рисунок 6.39 - Принципова схема мехатронного модуля захоплювання із комбінованими робочими елементами: 1 – черв'ячний редуктор, 2 – упаковка із картону; 3 – вакуумний присмоктувач; 4 – механічний захоплювальний елемент; 5 – пневморозподільник марки 4/2; 6 – ежектор; 7 – пневморозподільник марки 3/2; 8 – регулятор тиску; 9 – електронні датчики вакууму і тиску; 10 – інформаційне табло тиску і вакууму

Циклограмою роботи модуля передбачено, що захоплювання упаковки відбувається одночасно двома робочими елементами: вакуумним присмоктувачем та механічними губками.

З метою оптимізації габаритних розмірів захоплювального пристрою та забезпечення надійного утримання упаковок запропоновано виконати механічний захоплювальний елемент, в будові якого є рейково-важільний механізм. На основі аналізу технічних характеристик існуючих промислових зразків механічних захоплювальних елементів було вибрано промисловий захоплювач HGR-25-A компанії «Festo», який забезпечує постійне зусилля губок на всій траєкторії руху пакувальних одиниць та під час розкриття та закриття елементів. Технічна модифікація промислових захоплювачів

складається з чотирьох модифікацій з діаметром поршня 16, 25, 32, 40 мм, які розраховані на робочий тиск 0,2–0,8 МПа. Кут розкриття кулачків у всіх пристроях становить 180°. Час відкриття/закриття кулачків, при тиску 0,6 МПа, знаходиться в межах від 0,01 до 0,04 с. Момент сил на губках, при тиску 0,6 МПа, становить від 0,25 Нм для діаметра поршня 16 мм до 3,0 Нм для поршня з діаметром 40 мм. Розкриття та закриття кулачків здійснюється після подачі повітря в порожнини механізму захоплювання.

У табл. 6.4 наведено значення допустимих навантажень на губки промислового механізму захоплювання для різних його модифікацій при тиску повітря в системі живлення 0,6 МПа.

Таблиця 6.4 - Допустимі навантаження на губки захоплювального пристрою

Допустимі навантаження та моменти сил	HGR-16-A	HGR-25-A	HGR-32-A	HGR-40-A
F статичне, Н	25	39	55	83
M _x , статичний по осі x, Нм	0,3	0,6	1	1,3
M _y , статичний по осі y, Нм	1,5	3	4,7	9,9
M _z , статичний по осі z, Нм	1	2	3,2	6,2

Для надійного захоплювання та утримування упаковки на губки закріплено фрикційні накладки. За результатами аналізу встановлено, що найбільш використовуваними матеріалами в промислових пристроях такого типу є гумові та поліетиленттерефталатові фрикційні накладки. Конструкції губок, які використовуються в мехатронному модулі із комбінованими захоплювальними елементами, наведено на рис. 6.40.

Елементом захоплювання у вакуумному пристрої є плоскі та сільфонні присмоктувачі (рис. 6.41).

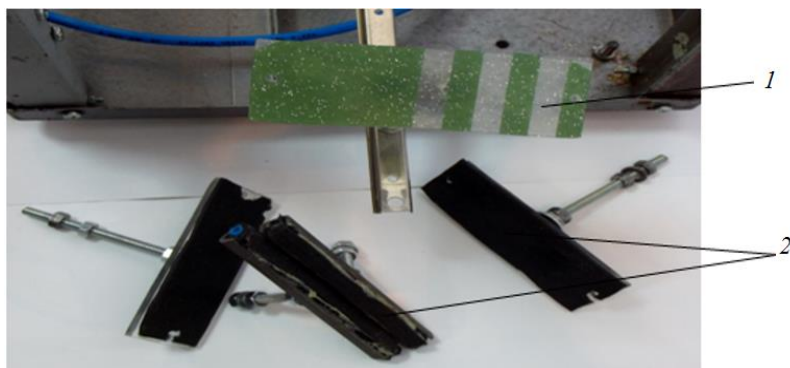


Рисунок 6.40 - Конструкція губок із різними матеріалами фрикційних накладок: 1– з поліетилентерефталатовими накладками; 2 – з гумовими накладками



Рисунок 6.41 - Плоскі та сільфонні вакуумні присмоктувачі

Для системи керування захоплювальними елементами мехатронного модуля підібрано розподільники марки 5/2 та 3/2.

У структурній схемі модуля запропоновано перерозподілення зусилля між захоплювальними елементами шляхом зменшення величини вакууму або надлишкового тиску за рахунок використання електронного регулятора тиску. Технічні та технологічні параметри роботи мехатронного модуля із комбінованими захоплювальними елементами в режимі реального часу відображає система зворотного зв'язку у вигляді електронних датчиків. Обмін інформацією між захоплювальними елементами, контролером та системою зворотного зв'язку передається за допомогою шини даних. Перетворення електричних сигналів в цифрові відбувається за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) (рис.6.42).

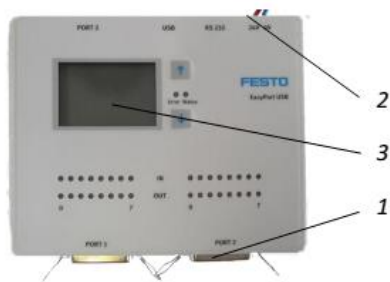


Рисунок 6.42 – Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП): 1– канали входів; 2 – канал виходу для зв'язку з комп'ютером; 3 – система візуального налаштування параметрів робіт

Передбачається, що перетворений цифровий сигнал передається на контролер до програми керування, яка виконує функцію реєстрації параметрів та можливого їх корегування під час виконання операцій захоплювання та утримання.

Основні технічні характеристики елементів мехатронного модуля із комбінованими захоплювальними елементами наведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Технічні характеристики елементів модуля захоплювання

n/n	Найменування елемента	Одиниці вимірювання	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання	Примітки
1	Електронний датчик тиску SDE – 1 - 10	бар	0 - 10	$\pm 2\%$ від вимірюваного діапазону	—
2	Електронний датчик вакууму	бар	-1 - 0	$\pm 2\%$ від вимірюваного діапазону	—
3	АЦП	мс	4	—	16 розрядний

Конструкція пілотного зразка мехатронного модуля із механічними та комбінованими захоплювальними елементами наведена на рис. 6.43 і складається з корпусу 2, комбінованого захоплювального пристрою, який є поєднанням двох захоплювальних елементів: вакуумний присмоктувач 5 та механічний притискач у вигляді рейково-важільного механізму з губками 6. Вакуум створює ежектор 10, який з'єднується з присмоктувачем 5 через систему трубопроводів 12. Глибина вакууму вимірюється за допомогою

електронного датчика вакууму 8. Контроль тиску для механічного захоплювального пристрою відбувається за допомогою електронного датчика надлишкового тиску 9.

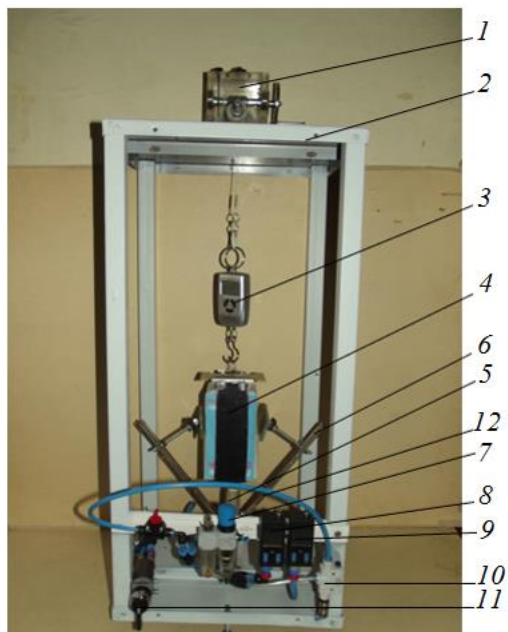


Рисунок 6.43 – Мехатронний модуль із комбінованими захоплювальними елементами: 1 – черв'ячний редуктор; 2 – корпус модуля; 3 – електронний динамометр; 4 – утримувач упаковки; 5 – вакуумний присмоктувач; 6 – губки механічного захоплювального елемента; 7 – регулятор тиску; 8 – електронний датчик для визначення величини вакууму; 9 – датчик для визначення надлишкового тиску; 10 – ежектор; 11 – система керування захоплювальними елементами; 12 – трубопроводи

Система керування мехатронним модулем складається із розподільників марки 5/2 та 3/2, які забезпечують керування захоплювальними елементами. Перерозподілення зусилля між захоплювальними елементами забезпечує електронний регулятор тиску 7 шляхом зменшення величини вакууму або надлишкового тиску. Конструкція пілотного модуля передбачає прикладання зусилля утримання упаковки, яке плавно змінюється за допомогою спеціального механізму з черв'ячним редуктором 1. Величина зусилля утримання вимірюється електронним динамометром 3. Інформація від електронних датчиків у режимі реального часу надходить на АЦП і після перетворення в цифровий вигляд – на комп'ютер до програми керування, яка виконує функцію реєстрації параметрів та можливого їх корегування під час виконання операцій захоплювання та утримання.

Захоплювання упаковки відбувається одночасно двома захоплювальними елементами: вакуумним присмоктувачем та механічними губками. Конструкцію механічного захоплювального елемента наведено на рис. 6.44.

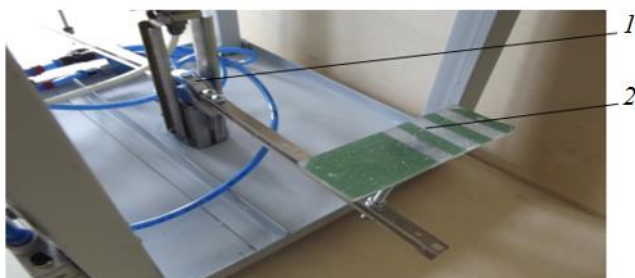


Рисунок 6.44 - Механічний захоплювальний елемент: 1– промисловий захоплювач HGR-25-A; 2– губки з фрикційними накладками

Контроль тиску повітря в механічному і вакуумному захоплювальних елементах здійснюють за допомогою електронних датчиків надлишкового тиску 1 та вакууму 2 (рис. 6.45).



Рисунок 6.45 – Система електронних датчиків для контролю тисків: 1– надлишкового; 2– вакууму

Експериментальні значення величини зусилля утримання вантажу для комбінованого пристрою захоплювання при зміні характеристик стисненого повітря та розрідження для кожного із захоплювальних елементів наведено в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Експериментальні значення величини зусилля відриву для комбінованого захоплювального пристрою при зміні характеристик стисненого повітря та вакууму для кожного із захоплювальних елементів

Марка картону	Зусилля відриву F , Н при $P = 4$ бар $P_{\text{вак}} = -0,6$ бар	Зусилля відриву F , Н при $P = 4$ бар $P_{\text{вак}} = -0,9$ бар	Зусилля відриву F , Н при $P = 5$ бар $P_{\text{вак}} = -0,6$ бар	Зусилля відриву F , Н при $P_{\text{вак}} = -0,9$ бар	Зусилля відриву F , Н при $P = 6$ бар $P_{\text{вак}} = -0,6$ бар	Зусилля відриву F , Н при $P = 6$ бар $P_{\text{вак}} = -0,9$ бар
	$f = 0,3$	$f = 0,3$	$f = 0,3$	$f = 0,3$	$f = 0,3$	$f = 0,3$
Картон коробковий ДСТУ EN 643:2008	38	41	$f = 0,4$	$f = 0,3$	$f = 0,4$	$f = 0,4$
	39	42	49	53	58	65
	40	41	52	55	57	66
	39	42	50	54	57	67
	40	40	52	55	58	67
Хром-ерзац коробковий, ДСТУ EN 643:2008	39,2	41,2	50,8	53,8	57,2	66,2
	33	40	42	46	50	55
	34	39	39	47	51	57
	35	38	42	45	53	56
	34	40	41	47	52	55
Σ/n	32	41	40	46	51	57
	33,6	39,6	40,8	46,2	51,4	56,0

Коефіцієнти тертя

$f = 0,3$	$f = 0,4$	$f = 0,3$	$f = 0,4$	$f = 0,3$	$f = 0,4$	$f = 0,3$	$f = 0,4$
38	41	49	53	58	65	44	45
39	42	52	55	57	66	43	44
40	41	50	54	57	67	42	46
39	42	52	55	58	67	43	45
40	40	52	55	58	67	44	46
39,2	41,2	50,8	53,8	57,2	66,2	43,2	45,2
33	40	42	46	50	55	36	47
34	39	39	47	51	57	37	46
35	38	42	45	53	56	38	45
34	40	41	47	52	55	35	47
32	41	40	46	51	57	37	46
33,6	39,6	40,8	46,2	51,4	56,0	36,6	46,2

Аналіз результатів досліджень показав, що одночасне збільшення величини розрідження та тиску повітря на елементах комбінованого пристрою, від мінімального технологічного значення ($P'_{\text{пр}} = 4$ бар; $P'_{\text{вак}} = -0,6$ бар) до максимального значення ($P'_{\text{пр}} = 6$ бар; $P'_{\text{вак}} = -0,9$ бар) збільшує зусилля утримання в середньому на 30%.

Встановлено також, що амортизація коливань вантажу у конструкції мехатронного модуля можлива шляхом перерозподілення зусилля між вакуумними та механічними захоплювальними елементами.

Висновки

1. За вихідними даними розроблено та виготовлено пілотні зразки типових функціональних модулів в різних функціональних груп пакувальних машин.
2. Вибір компонентів функціональних модулів базувався на новітніх, але доступних приводах, датчиках, мікропроцесорах тощо.
3. Параметри елементів керування мехатронними модулями дають можливість реалізувати практично будь-які технічні характеристики, що відповідають реальним виробничим процесам.
4. Результати експериментальних досліджень підтвердили гіпотези та припущення, прийняті на стадії математичного моделювання робочих режимів функціональних модулів та встановити, що за рахунок зменшення дії негативних факторів можна суттєво підвищити коефіцієнт технічного використання модуля та в повній мірі реалізувати етапи його життєвого циклу.
5. Принципові конструктивні схеми пілотних зразків типових функціональних модулів можна рекомендувати як основу під час проектування новітніх зразків пакувального обладнання.

7. РЕКОМЕНДАЦІЙ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН-АВТОМАТІВ, ОСНОВОЮ ЯКОЇ Є ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД

Створення прогресивних зразків пакувальних машин-автоматів є дуже складною науково-технічною проблемою, яка базується на початкових умовах і включає розвиток технологій проєктування, машинобудування та пакування.

Початкові умови можуть базуватися на:

- опису об'єкта розробки – пакувальної машини;
- визначенні мети і задач прийняття рішень;
- опису технологічного і конструкторського забезпечення.

Опис пакувальної машини задається у вигляді вихідних даних стану C_0 через набір параметрів, що характеризують її технічні характеристики. Функцією перетворення деталей із їх характеристиками в технічну систему можна навести таким чином:

$$\varphi_0: \begin{Bmatrix} C_{n1} \\ C_{n2} \\ \vdots \\ C_{nR} \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} C_{k1} \\ C_{k2} \\ \vdots \\ C_{kT} \end{Bmatrix},$$

де φ_0 – функція технологічного перетворення властивостей деталей;

C_{nR} – властивості n – деталей;

C_{kT} – властивості пакувальної машини;

R – загальна кількість властивостей деталей;

T – загальна кількість властивостей технічної системи.

Технологічні перетворення деталей із своїми властивостями досягаються направленою сукупністю дій: матеріальної $S_0(t_k)$, енергетичної $E_0(t_k)$ та інформаційної $I_0(t_k)$.

Таку дію можна навести у вигляді:

$$N(t_k) = S_0(t_k) \cup E_0(t_k) \cup I_0(t_k).$$

Опис технологічного і конструкторського забезпечення можна виконати на базі формалізованих підходів і в деяких випадках паралельно розглядаються додаткові завдання.

Врахування таких початкових умов проєктування дає можливість на якісно новій основі створювати складні багатоваріантні технології машинобудування.

Головною умовою проєктування технологій машинобудування має бути ітераційний характер виконання всіх стадій, етапів, рівнів та інших елементів процесу проєктування.

Проєктування може виконуватись за різними схемами, в яких враховано етапи життєвого циклу технології та ускладнення пакувальної машини (рис.7.1).

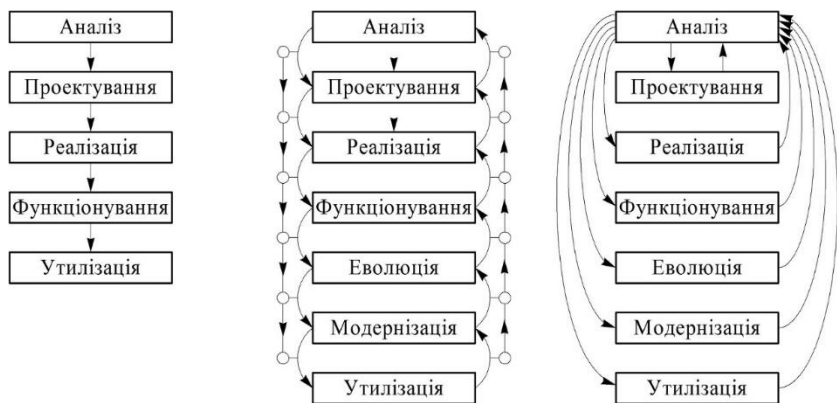


Рисунок 7.1 – Етапи життєвого циклу технології створення пакувальних машин-автоматів: а – традиційний цикл; б – ітеративне проєктування; в – ітеративне проєктування через аналіз

Під час вивчення процесу проєктування та виготовлення пакувальних машин потрібно знати особливості її експлуатації. При аналізі цих особливостей потрібно визначитись із такими характеристиками пакувальної машини:

- функціональне призначення;
- спосіб дії пакувальної машини;
- структура пакувальної машини;
- стан технічної системи.

Функціональне призначення пакувальної машини – це виконання цільової функції.

Під час експлуатації пакувальної машини виникає велика кількість різних особливостей роботи її елементів. До таких особливостей можна віднести:

- нерівномірне розподілення деформації по конструкції виробу;
- нерівномірна дія контактних деформацій;
- наявність у виробі місцевих концентраторів напруження;
- можливість втрати сталості деформованих виробів;
- наявність повторно-змінних деформацій;
- наявність ударних навантажень;
- нерівномірне зношування поверхонь виробів;
- корозійні, хімічні, фізичні, теплові та інші процеси;
- особливості, що виникають під час вирішення задач ергономіки, естетики тощо.

Ці особливості роботи виробів здебільшого змінні в просторі та часі.

Властивості пакувальних машин можна класифікувати за різними критеріями та категоріями. Найважливішими категоріями властивостей є зовнішні (споживчі) й внутрішні (конструктивні) властивості. При цьому зовнішні властивості залежать від внутрішніх конструктивних ознак і конструктивних властивостей.

Для оцінювання якості пакувальної машини застосовують одиничні і комплексні показники властивостей.

Найчастіше в машинобудуванні застосовують одиничні показники, які поділяють на експлуатаційні і виробничо-технічні. До експлуатаційних властивостей відносять показники призначення, надійності, ергономіки та естетики.

До виробничо-технічних властивостей відносять трудомісткість, металомісткість, енергомісткість, блочність, показники конструктивної стандартизації і уніфікації.

Комплексні показники якості характеризують пакувальні машини по сукупності її кількох простих властивостей або одній складній властивості. Їх визначають методом середнього зваженого.

Для забезпечення заданих властивостей технічної системи потрібно реалізувати різні види забезпечення. До основних видів забезпечення на різних етапах життєвого циклу пакувальної машини можна віднести:

- забезпечення необхідних властивостей матеріалів;
- структурне забезпечення;
- конструкторське забезпечення;
- технологічне забезпечення;
- експлуатаційне забезпечення.

Особливості забезпечення необхідних і якісно нових властивостей мають реалізуватися на таких рівнях:

- на рівні всієї пакувальної машини;
- на рівні окремих деталей та складальних одиниць;
- на рівні окремих зон деталей та складальних одиниць;
- на рівні макро- та мікрозон тощо.

Кожна пакувальна машина має відповідну структуру, яка складається із окремих функціональних модулів і взаємозв'язку між ними. При цьому реалізація всіх видів забезпечення має виконуватись для всіх складових машини. За рахунок виконання всіх забезпечень можна виконати вимоги до експлуатаційних особливостей пакувальної машини.

Під час експлуатації виникають різноманітні функціональні особливості, які діють на мікрорівні, макрорівні і на рівні окремих ділянок виробу. При цьому ці дії не є сталими величинами в просторі та в часі. А тому відповідно до експлуатаційних функцій машини потрібно реалізовувати технологічну дію для забезпечення заданих властивостей деталей і машини загалом.

Ефективне врахування всіх вимог до виробів можливе при застосуванні функціонально-орієнтованих технологій проєктування та виготовлення.

Функціонально-орієнтована технологія – це спеціальна наукомістка технологія, яка ґрунтується на функціонально-орієнтованому процесі і забезпеченні. За такої технології властивості виробів формуються і реалізуються на основі ієрархічної структури глибини технологій. Глибина технологій – це процес поділу виробу на функціональні елементи за ієрархічними рівнями та забезпеченням властивостей виробом на цих рівнях.

Функціонально-орієнтована технологія дає можливість повністю адаптувати виріб під час проектування і виготовлення до особливостей його експлуатації. При цьому задані властивості виробу реалізуються за рахунок забезпечення властивостей окремих елементів виробу.

Основними ознаками функціонально-орієнтованих технологій є:

- Забезпечення реалізації заданих властивостей виробу на різних рівнях глибини технології.
- Технологічна дія засобів оброблення виробів реалізується на всіх технологічних рівнях.
- Виконується відповідна орієнтація технологій оброблення для досягнення заданих властивостей виробу.
- Загальна ідеологія створення функціонально-орієнтованих технологій ґрунтується на таких положеннях:
 - Функціонально-орієнтовані технології мають будуватися з урахуванням того, що вони є спеціальними, прецизійними і наукомісткими технологіями.
 - Алгоритм реалізації функціонально-орієнтованих технологій має виконуватись у відповідності до такої послідовності:
 - встановлення особливостей дії експлуатаційних функцій на окремі ділянки виробу;
 - визначення параметрів ділянок виробів, у яких діють різні експлуатаційні функції;
 - визначення потрібних технологічних дій, які будуть відповідати

результатам дії експлуатаційних функцій;

- орієнтація технологічної дії на ділянки виробу на основі нових принципів;

- реалізація технологічної дії відповідно і адекватно дії експлуатаційних функцій;

- забезпечення заданої сукупності властивостей різних ділянок виробів залежно від особливостей дії в них експлуатаційних функцій.

1. Для забезпечення заданої і якісно нової сукупності властивостей виробів потрібна реалізація таких видів забезпечення:

- забезпечення по властивостям матеріалу;
- структурне забезпечення;
- конструкторське забезпечення;
- технологічне забезпечення;
- експлуатаційне забезпечення.

2. Функціонально-орієнтовані технології мають реалізуватися на всіх етапах комплексного технологічного процесу виготовлення пакувальної машини та її окремих деталей й вузлів.

3. Функціонально-орієнтовані властивості пакувальної машини мають забезпечуватися на всіх етапах його життєвого циклу.

4. Функціонально-орієнтовані технології мають забезпечувати якісно нову сукупність властивостей і міру корисності виробу, а також спеціальні нетрадиційні властивості.

На рис. 7.2 наведено схему реалізації функціонально-орієнтованих технологій по етапах комплексного технологічного процесу виготовлення пакувальних машин [330].

Врахування особливостей функціонально-орієнтованих технологій потрібно вести на всіх етапах життєвого циклу виробу. У всіх випадках потрібно враховувати всі експлуатаційні особливості деталей в машині і машини загалом.

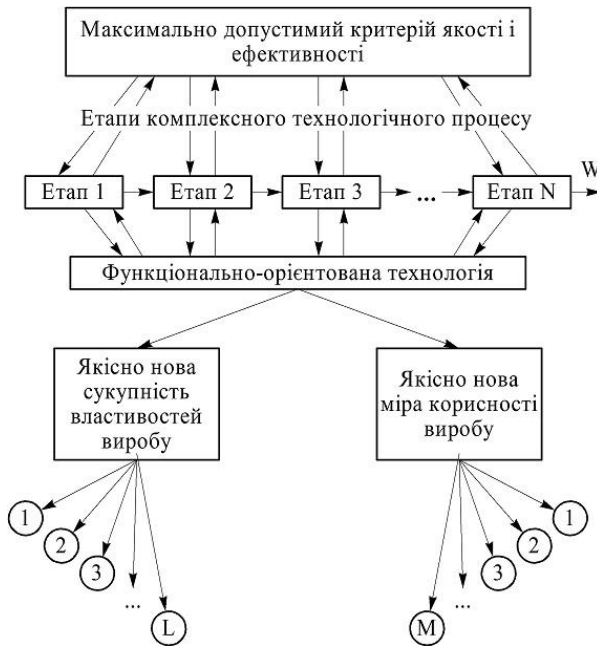


Рисунок 7.2 – Схема реалізації функціонально-орієнтованої технології по етапах комплексного технологічного процесу виготовлення пакувальної машини

Головним при створенні функціонально-орієнтованих технологій є те, що вони забезпечують для виробу такі експлуатаційні особливості:

- повну адаптацію властивостей виробу на етапі виготовлення до особливостей його експлуатації із умови виконання максимальних параметрів якості і ефективності виготовлення і експлуатації;
- забезпечення максимального потенціалу експлуатаційних можливостей виробу залежно від його техніко-економічних показників;
- забезпечення максимально-допустимих техніко-економічних показників виробу із врахуванням всіх етапів його життєвого циклу;
- забезпечення можливості зміни властивостей виробу під час його експлуатації в часі та просторі;
- забезпечення можливості управляти властивостями виробу на всіх

- технологічних рівнях залежно від особливостей його експлуатації;
- забезпечення можливості підвищення властивостей або зменшення габаритних розмірів виробу та їх елементів.

Таким чином можна рекомендувати застосування алгоритму вибору оптимальної структури та параметрів технологічних за концепцією функціонально-орієнтованого проектування тільки для тих деталей пакувальної машини, які мають функціонально-важливі поверхні, що підлягають під час експлуатації підвищеним механічним, температурним, хімічним, триботехнічним навантаженням або їх поєднанням. Саме такі деталі найчастіше забезпечують експлуатаційну якість виробу загалом. Для виробів, що не відповідають цим умовам функціонування, доцільно використовувати алгоритм, що реалізує традиційну концепцію об'єктно-орієнтованого технологічного проектування. Проте, найбільш оптимальною методологією є комбінування альтернативних концепцій проектування. Це дає можливість суттєво оптимізувати за критерієм складності процес підготовки виробництва, максимально використавши PLM технологію.

Особливістю впровадження функціонально-орієнтованих технологій для ефективної реалізації методології PLM в машинобудуванні є використання системи CAF (Computer Aided Forming). В основу цієї системи покладений аналіз імітаційної моделі роботи функціональних модулів та пакувальної машини загалом.

Висновки

1. Встановлено, що головною умовою функціонально-орієнтованого проектування пакувальних машин є ітераційний характер виконання всіх стадій, етапів, рівнів та інших елементів процесу проектування.
2. Виконання ефективного проектування та виготовлення пакувальних машин потребує досконалого вивчення існуючих характерних пакувальних машин різних функціональних груп із можливим застосуванням морфологічного аналізу та синтезу структури машин.

3. Особливістю впровадження функціонально-орієнтованих технологій є використання САЕ систем, в основу яких покладений аналіз імітаційних моделей роботи функціональних модулів та пакувальних машин загалом.

4. Сформований алгоритм реалізації функціонально-орієнтованого проєктування пакувальних машин із врахуванням їх життєвих циклів потребує експериментальної перевірки та уточнення емпіричних значень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин/ О.М.Гавва, Л.О.Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук та ін. Київ: Сталь, 2015. 547 с.
2. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи створення машин. Харків: НТМТ, 2017. 448 с.
3. Андрусевич А.А., Невлюдов И. Ш. Основы теории и практика мониторинга жизненного цикла радиоэлектронных средств на этапах проектирования, производства и эксплуатации. Харьков: Коллегиум, 2011. 296 с.
4. Ступницький В.В. Ефективність впровадження CALS-технологій на машинобудівних підприємствах України. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Електроніка». Львів, 2006. С.80 -84.
5. Stypnytsky V.V. Principles of functional-oriented technology manufacturing products engineering production. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. 2013. № 760. С. 26-34.
6. Джеймс П. Вумек, Деніел Т. Джонс. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. Альпина Бизнес Букс, 2008. 471 с.
7. Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). USA: PM1 Standards Committee, 2004. 216 p.
8. Майнака Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Мир, 1981. 328с.
9. Кривопляс-Володіна Л.О. Багатокритеріальний синтез мехатронних функціональних модулів машин пакування харчових продуктів: дис. д-ра техн. наук: 05.18.12. "Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв"/ Кривопляс-Володіна Людмила Олександрівна: НУХТ. К., 2019.
10. И. П. Норенков Автоматизированное проектирование: учеб. пособ. для вузов. М.: Высш. шк., 2000. 188 с.
11. Rosen K. Discrete Mathematics and Its Applications. McGraw-Hill, 2002. 886 p.
12. Базовые функции преобразователей частоты: за что платим? Конструктор машиностроитель. 2009. № 1. С 8-10. (матеріал підготовлений компанією АДЛ).
13. Мезенцев, К.Н. Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1 : учеб.

Пособие. Часть 1, 2. М.: МАДИ. 2011

14. Пашков Е.В., Осинский Ю.А. Технично-економические предпосылки создания механотронных систем на базе пневмоприводов Вестник СевГТУ. 2005. Вып. 63. С. 97 – 107.

15. Schiessle E. Mechatronik. Würzburg: Vogel. 1. Aufl. 2002.

16. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В. Оптимізація синтезу пакувальних машин за критерієм ефективності. Наукові праці НУХТ. 2018. Том 24, № 5. С.115 – 123.

17. Yoram Koren. The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems. Copyright, 2010. 424 p.

18. Гужва В. М. Інформаційні системи і технології на підприємствах: навч. посібник. К.: КНЕУ, 2001. 400 с.

19. Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування. Луцьк: вид. Луцького НТУ, 2012. 576 с.

20. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Якимчук М.В. Методологічні підходи до проектування пакувального обладнання із врахуванням його життєвих циклів. Пакувальна індустрія (Sustainability&industry): матеріали XIV науково-практичної конференції. Додаток до часопису «Упаковка», 2020.

21. Михайлов А.Н. Разработка технологий на основе функционально-ориентированного подхода. Донецк. ДонНТУ, 2008. 450 с.

22. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В. Багатокритеріальний структурно-параметричний синтез функціональних модулів потоково-технологічних пакувальних систем. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 7-8 листопада 2017 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2017 р., с.16

23. Пальчевський Б. О. Автоматизований синтез технологічних машин. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Луцьк, 2009. Випуск 26. С. 266 – 270.

24. Ю.М. Кузнецов Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Част.1. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання. Кіровоград. 2003. 422 с.

25. Гусарев В. С. Синтез структурных П-схем машин автоматического действия. Научные записки Одесского политехнического института. 1961. Т 35.

26. Дворянkin А.М., Половинин А.И., Методы синтеза технических решений / А.Н. Соболев. М.: Наука, 1977. 104 с.

27. Дружинін Є. А., Толкунова Ю.М. Аналіз моделей та методів рішення задачі структурно-параметричного синтезу складної технічної системи.

Система озброєння і військова техніка. 2011. №2 (26). С. 122–127.

28. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій. К.: Вища школа, 1995. 519 с.

29. Шувалова Л.А. Методы абстрактного синтеза структуры и последовательности выполнения операций фасовочно-упаковочных машин. Вісник Технологічного університету Поділля. 2005. №4. С. 55 – 58.

30. Одзакі С. Основы проектирования: перевод с англ. М.:ВЦП, 1977. 25 с.

31. Автоматизация процессов машиностроения / Я. Буда, и др. М.: Высшая школа, 1991. 480 с.

32. Дворянkin А. М., А. И. Половинин, А. Н. Соболев Методы синтеза технических решений. М.: Наука, 1977. 104 с.

33. Пальчевський Б. О. Принципи побудови і сучасні тенденції розвитку методів проектування технологічного обладнання (на прикладі пакувального виробництва). Технологічні комплекси. Науковий журнал. Луцьк, 2010. Випуск 1. С. 3 – 9.

34. Гавва О.М., Захаревич В.Б., Кохан О.О. Інноваційні технології у створенні нового покоління пакувальних машин. Пакувальна індустрія: матеріали VII науково-практичної конференції, Алушта. 2013. С. 26 – 39.

35. Гавва О.М., Кохан О.О., Халайджі В.В. Машини-автомати чи автоматизовані потокові лінії пакування. Упаковка. Київ, 2015. №1. С. 54 – 58.

36. Якимчук М. В. Науково-технічні засади створення обладнання для групового пакування харчових продуктів на основі мехатронних модулів: дис. докт. техн. наук: 05.18.12 / Якимчук Микола Володимирович Київ, 2016. 447 с.

37. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів /Якимчук М.В., та ін. К: Видавництво «Сталь», 2017. 515 с.

38. Колодин И.М., Волошина Л.В. Модульный принцип создания новой техники в машино- и приборостроении. К.: УкрНИИТИ. 1982. 51 с.

39. Трофимов Е.Ф., Епархин О.М., Вершинина Н.И. CALS-технологии: стандартизация электронного представления и обмена технической и коммерческой информацией: монография. Ярославль: ЯГТУ, 2008. - 197 с.

40. Методы оптимизации в инженерных задачах /Белоусов А.И. и др. М.: Изд-во МГУ, 1991. 160 с.

41. Vermeiren L, Devlieghere F, Van Beest M, de Kruijf N, Debevere J (1999) Developments in the active packaging of foods. Trends Food Sci Tech 10:77–86

42. Viet Nam Hoang. Design of Single-Sided Linear Induction Motor: Bachelor of Electrical Engineering Project. School of Information Technology and electrical Engineering, University of Queensland. Queensland, 2016.

43. Носко П.Л. Оптимальное проектирование машиностроительных конструкций. Луганск: Изд-во ВУГУ, 1999. 392 с.
44. Сілін Р.І., Стадник Я.Ф., Третьюко В.В. Збірник задач з основ автоматики і автоматизації виробничих процесів. Хмельницький: ХНУ, 2005. 211 с.
45. Asar M., Macra J., Penney E. Mechatronics: the basis for new industrial development: Boston: Computational Mechanics Publ., 1994. 844 p.
46. A-Crisp™ boxes, boards, sleeves and liners for crisping in a microwave. Sirane 2016. <http://www.sirane.com/food-packaging-products/microwave-susceptors-crisp-itrange/sira-cook-crisp-it-boards.html>.
47. Артоболевский И.И., Крейнин Г.В., Павлов Б.И. К созданию системы автоматизированного поиска параметров машин. Машиноведение. 1977. № 5. С. 24 – 29.
48. Аоки М. Введение в методы оптимизации. Основы и приложения нелинейного программирования. Пер. с англ. М.: Наука, 1977. 344 с.
49. Постановка и решение задач оптимального проектирования машин. Артоболевский И.И. и др. Машиноведение. 1977. № 5. С. 15–23.
50. Бербюк В.Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем. К.: Наук. думка, 1989. 192 с.
51. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
52. Генкин М.Д., Статников Р.Б. Основные проблемы оптимального проектирования машин. Вестник АН СССР. 1987. С. 29–39.
53. Голов А.В. Моделирование движения многофазной жидкости в программном комплексе FlowVision. URL: https://mipt.ru/education/chair/computational_mathematics/upload/45a/2013_Appl_Math_MSc_731_Golov-arphj5jlf2t.pdf.
54. Зайченко Ю.П. Исследование операций. К.: Вища шк., 1975. 320 с.
55. Лесин В.В., Лисовец Ю.П. Основы методов оптимизации. М.: Изд-во МАИ, 1995. 344 с.
56. Масло М.А. Деякі аспекти вибору раціональних параметрів робочих органів пакувальних машин Упаковка. 2008. № 6, С. 38-39.
57. Пальчевський Б.О. Оптимізаційний синтез автоматизованої технологічної лінії / Тези доп. 6-го Міжнар. симп. укр. інженерів-механіків у Львові. Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. С. 75.
58. Моделирования процесів пакування / А.І. Соколенко та ін. Вінниця: Нова книга, 2004. 271 с.
59. Михайлов А.Н. Поточно-пространственные технологические модули. Механизация и автоматизация производства, 1990, №1. С. 5 – 8.

60. Елисеев С.В., Упырь Р.Ю. Мехатронные подходы в задачах вибрационной защиты машин и оборудования. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. № 4 (20). С. 8 – 16.

61. Банди Б. Основы линейного программирования. М.: Радио и связь, 1989. 176 с.

62. Демьянов А.А. Методика адаптивного проектирования механических систем. Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2001. №2. С. 13-16.

63. Довідкова система Anylogic “Presentation and Animation: Working with Shapes, Groups, Colors” [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.xjtek.com/files/book/Presentation_and_animation-working_with_shapes_groups_colors.pdf. – відкрито 20.02.2018р.

64. Житомирский Б.Е., Рубанович Ю.А., Филатов А.А. Использование метода многокритериальной оптимизации при проектировании трансмиссий главных приводов прокатных станов. Машиноведение. 1984. № 1. С. 33–39.

65. Жуковский В.И., Молостров В.С. Многокритериальное принятие решений в условия неопределенности. М.: Наука, 1988. 128 с.

66. Илюхин Ю.В. Синергетический (мехатронный) подход к проектированию систем управления технологических роботов. Мехатроника, № 2, 2000. С.7-12.

67. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

68. Кіндрацький Б. Концептуальні засади створення і конструкція універсального позиційного пневмопривідного модуля лінійного переміщення. Машинознавство. 1997. №3. С. 20 –29.

69. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 376 с.

70. Кузнецов Ю.Н., Козубов В.И. Математическое программирование: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1980. 300 с.

71. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем [Текст]: учеб. пособие 2-е изд. Мн.: ДизайнПРО, 2004. 640с.

72. Чуприна А.В., Якимчук М.В., Гавва О.М. Визначення раціональних параметрів механізму профілювання м'якої транспортної тари з сипкою продукцією. Хімічна промисловість України. 2001. №5. С. 49 – 52.

73. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С.Понтрягин и др. М.: Наука, 1969. 384 с.

74. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посібник. Львів: Світ, 2007. 392с.

75. Смелягин А.И. Синтез и исследование машин и механизмов с

электромагнитным приводом. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1991. 352 с.

76. Справочник специалиста пищевых производств. Книга 2. Теплофизические процессы. Энергосбережение / Соколенко А.И. и др. К.: АртЭк, 2003. 432 с.

77. Математическое моделирование [Текст] / под ред. Дж. Эндрюса, Р. Мак-Лоуна, пер. с англ. 2006. с.416.

78. Ловейкин В.С. Оптимизация режима движения манипуляционных систем роботов по комплексному критерию. Вестник машиностроения. 1988. №3. С. 8–11.

79. Ловейкін В. Синтез оптимальних режимів руху механізмів і машин у перехідних процесах. Машинознавство. 2001. № 8 (50). С. 17–20.

80. Мартинов Г.М., Сосонкин В.Л. Концепция числового программного управления мехатронными системами: проблема реального времени. Мехатроника, 2000. № 3, С.37–41.

81. Мехатроника / Исин Т. и др. Пер. с японского С.Л. Масленников. М.: Мир, 1988. 318 с.

82. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.:Наука,1975. 526с.

83. Одинокова Е.В. Синтез кулачково-рычажных механизмов полиграфических машин на персональном компьютере. Сб. научн. тр. Омского гос. техн. ун-та «Прикладные задачи механики». Кн. 2. Омск: ОмГТУ. 1997. С. 47–49.

84. Пасіка В.Р. Чисельний синтез кривошипно-повзунних механізмів за накладеними кінематичними вимогами. Вісник Технологічного університету Поділля. 2002. №6. Ч.1. С. 12–14.

85. Пупков К.А., Егунов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 744 с.

86. Самарский, А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры [Текст]. М: Наука, 1999. 320 с.

87. Силин Р.И. Автоматизация загрузки оборудования в машиностроении: Учебное пособие Хмельницкий: ТУП, 2010, 225с.

88. Харченко А.Н., Илюхин Ю.В. Разработка и исследование электропневматических следящих приводов на основе мехатронного силового агрегата / ВЕСТНИК Воронежского государственного технического

университета ISSN 1729-6501, 2008 г. № 11, том 4. С.80–84.

89. Bishop. Robert H. The Mechatronics handbook Austin: The University of Texas at Austin, 2002. 1229 p.

90. Guo, J., Shen, H.G. Modeling solar-driven ejector refrigeration system offering air conditioning for office buildings. *Energy Build.* 41 (2). P. 175–181.

91. Tajima M Strategic value of RFID in supply chain management. 2017. *J Purch Supply Manag* 13:261–273 Takashi H, inventor 1990 Japanese patent 2113849 Tempix 2014 The Tempix temperature indicator: <http://tempix.com/>. Accessed 14 September 2018.

92. Вода, напитки, продукты питания / Соколенко А.И. и др. К.: Люксар. 2006. 368 с.

93. Справочник механика пищевой промышленности / Соколенко А.И. и др. К.: АртЭк, 2004. 304 с.

94. Sirane A-Crisp™ boxes, boards, sleeves and liners for crisping in a microwave. 2016. <http://www.sirane.com/food-packaging-products/microwave-susceptors-crisp-itrange/sira-cook-crisp-it-boards.html>. Accessed 10 September 2018.

95. Шаповал О.М., Пальчевський Б.О. Програмне забезпечення автоматизованого пошуку оптимального компонування пакувального автомату. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів. 2010. № 44. С. 90–95.

96. Пальчевський Б. Моделювання й оптимізація модульної технологічної системи. *Машинознавство*, 2001. №9. С. 26–30.

97. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): навч. посібн. Львів: Світ, 2001. 232 с.

98. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / Горбатов А.В. и др. М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1982. 296 с.

99. Подураев Ю.В., Кулешов В.С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем. *Мехатроника*. 2000. №1. С.5-10.

100. Киндрацкий Б.И. Параметрический синтез гидравлического амортизатора для торможения движущихся масс в промышленных роботах с пневматическим приводом. *Известия вузов. Машиностроение*. 1989. №12. С. 87–91.

101. Ловейкін В. Оптимізація режимів руху машин і механізмів. *Машинознавство*. 1999. № 7 (25). С. 24–31.

102. Михайлов А.Н. Основы теории поточно-пространственных технологических систем. *Вестник машиностроения*, 1991. №4. С. 58 – 60.

103. (Nozzle) Parametric Investigation of Boost Jet Pump Performance.

Available from: https://www.researchgate.net/publication/236961883_Parametric_Investigation_of_Boost_Jet_Pump_Performance [accessed Aug 25 2018].

104. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь, 1984. 288 с.

105. Грунина Г.С., Деменков Н.П., Евланов А.А. Решение многокритериальных задач оптимизации в условиях качественной неопределенности. Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 1998. № 1 (29). С. 45–53.

106. Губарев А.П. Структурно-модульный синтез цикловых систем гидро-та пневмоприводу: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.02.03. К., 2004. 35 с.

107. Дехтяренко В.А., Святицкий Д.А. Методы многокритериальной оптимизации сложных систем при проектировании. К.: Изд-во АН УССР, 1976. 41 с.

108. Карелин В. Синтез оптимальных шарнирных механизмов. Известия вузов. Машиностроение, 1978. № 4. С. 66–71.

109. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1986. 544 с.

110. Кіндрачук М., Нігора В. Графові моделі оптимізації параметричних рядів модулів гідроочисних машин. Машинознавство, 2000. № 11. С. 29–31.

111. Крейнин Г.В. Пневматические приводы промышленных роботов. Станки и инструмент, 1978. № 7, С.24–27.

112. Крейнин Г.В., Кривц И.Л. Электропневматический позиционный привод с широтно-импульсным управлением. В кн. Пневматика и гидравлика. Приводы и СУ. Вып.11. М.: Маш., 1984. С.73-80.

113. Кузнецов В.О. Автоматизований синтез кривошипно-коромислових шарнірних чотириланників. Вісник Технологічного університету Поділля. 2002. №6. Ч.1. С. 23–26.

114. Носко П.Л. Поиск рациональных конструктивных параметров картерных деталей. Вестник ХГПУ. 1999. Вып. 50. С. 164–172.

115. Кривопляс-Володіна Л.О., Валиулін Г.Р., Легун А.В. Вплив точності виготовлення поршневого дозатора на точність дозування в'язких продуктів. Упаковка, 2009, №3. С. 46-50.

116. Гавва О.М. Безпалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання в 3 кн. 2 кн. Київ: ІАЦ «Упаковка», 2007. 136с.

117. Енерговитрати і кінематика переміщення вантажів / Соколенко А.І., та ін. Упаковка. 2006. № 2. С.27 – 29.

118. Благодарський В.А. Машины-автоматы для упаковки пищевых продуктов. К.: Техника, 1985. 229 с.

119. Гевко Б.М., Рогатинський Р.М. Оптимізація конструктивних параметрів винтових конвейєрів. *Ізвестия вузов. Машиностроєння*. 1987. №5. С. 109–114.
120. Sivertsvik M. Lessons from other commodities: Fish and meat. In: Wilson CL (ed) *Intelligent and active packaging for fruits and vegetables*. CRC press, Boca Raton, London, 2007. pp. 151–16.
121. Банди Б. Методи оптимізації. Вводний курс. М.: Радио і зв'язь, 1988. 128с.
122. Технологічне обладнання для виробництва з борошна. Част. 1. Хлібопекарське виробництво: навч. посібник / Сухенко Ю. Г. Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: НУБіП України, 2015. 338 с.
123. Positional control of pneumatic manipulators for construction tasks / Rachkov M. and etc. de Almedia. *Automation in Construction*, Elsevier Science, 2016. №11(6). P. 655 – 665.
124. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы. М.: Наука, 1986. 295 с.
125. Камладзе О.Т., Ким Н.В., Ломонцев В.Г., Чашин В.А. К вопросу выбора математических моделей поршневого пневматического привода. *Пневматика и гидравлика*. М.: Машиностроение, 1982. Вып. 9. С. 52–56.
126. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 110 с.
127. Чуприна А.В. Розроблення основних положень модульної системи проектування обладнання для укрупнення вантажних одиниць. *Харчова промисловість*. 2002. № 2. С. 79 – 84.
128. Карнаухов Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы. Ростов н/Д: Феникс, 2006. 320 с.
129. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок та конструювання: навч. пос. Львів: видавництво «Бескид Біт», 2008. 356 с.
130. Khennich, M., Galanis, N., Sorin, M., 2016. Effects of design conditions and irreversibilities on the dimensions of ejectors in refrigeration systems. *Appl. Energy* 179, p.1020–1031.
131. Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М., Васильченко А.В. Интегрированные решения мехатроники в эрлифтных системах дозирования. IV-а Міжнародна спеціалізована науково-практична конференція. К. НУХТ, 2015. С. 121- 125.
132. Герасимов Е.Н., Почтман Ю.М., Скалозуб В.В. Многокритериальная

оптимизация конструкций. Киев; Донецк: Вища шк., 1985. 134 с.

133. Вакуумне пакування соків у скляну тару [Текст] / В. Лебедович та ін. Харч. і перероб. пром-сть. 2003. № 1. С. 7-9.

134. Pownuk A. Optimization of mechanical structures using interval analysis. CAMES. 2016. 7. P. 699–705.

135. Steven, T. K. Signals and systems with Matlab applications. California: Orchard Publications, 2017. 598 p.

136. Довідкова система Anylogic “Presentation and Animation: Working with Shapes, Groups, Colors” [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.anylogic.com/upload/books/new-big-book/12-presentation-and-animation.pdf>.

137. Деренівська А.В., Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М. Методика моделювання внутрішніх транспортних і перевантажувальних модулів машин для пакування продукції в картонну пачку. Збірник праць за підсумками IV Міжнародної науково-практичної конференції вчених, аспірантів і студентів. Київ: НУБіП України, 2014 р. с. 121-122.

138. Дроздецкий Н.А., Королев В.А., Майоров И.Д. Точность остановки пневматического исполнительного механизма робота при торможении методом противовключения. Пневматика и гидравлика. М.: Машиностроение, 1975. Вып. 6. С. 25–30.

139. Кривопляс-Володіна Л.О., Лук'яненко М.С., Гавва О.М. Двигатель в упаковочной технике . Упаковка. 2016. №1. С.31 – 34.

140. Інтегровані рішення функціональних мехатронних модулів в задачах синтезу пакувальних машин/ Кривопляс-Володіна Л.О. та ін. Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції 19-22.06.2018, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». С.39-41.

141. Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Кохан О.О. Критерії ефективності та синтез структури пакувальних машин / IV-а Міжнародна спеціалізована науково-практична конференція, 2015 р. К. НУХТ, 2015. С. 118-120.

142. Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Волчко А.І. Методологія синтезу компоновочних рішень. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – Київ, 2013. № 3. С. 178-182.

143. Пристрій для здійснення періодичного повороту вала стола фасувальної машини-автомата на задані кут та час висотою: Пат. 10937; заявл. 10.08.2015, Бюл. №15.

144. Приклади імітаційних моделей [Електронний ресурс] // приклади

імітаційних моделей, побудованих в середовищі AnyLogic. Режим доступу: www.runthemodel.com

145. Черкашенко М.В., Лимонов Ю.М. Структурный синтез гидравлических и позиционных приводов промышленных роботов и машин-автоматов. Вестник машиностроения. 1986. № 2. С. 7–9.

146. Gavva, A., L.Kryvoplias-Volodina. The criterion analysis of technological schemes and structures of vehicles forming transport packets from packing of goods. Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. 2017. №12. P. 5 – 9.

147. Singh R.P. Scientific principles of shelf life evaluation. In: ManD, Jones A (ed) Shelf life evaluation of food. 2nd edn. Aspen Publishers, Gaithersburg, 2016 Md, pp. 3–22.

148. Sarac A., Absi N, Dauzère-Pérès S. A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. Int J of Prod Econ128 (1), 2010. P.77–95.

149. Шредер В.Л., Иованович К.С. Картон. Тара и упаковка. К.: ИАЦ «Упаковка», 1999. 189 с.

150. Кривоपляс-Володіна, Л.О., Володін О.С., Гнатів Т.Т. Синтез мехатронної системи функціонального модуля пакувальної машини з пропорційним регулятором тиску. Матеріали XXII міжнародної науково-технічної конференції "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці", 23-26 травня 2017р. С. 111-114.

151. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.

152. Yam KL., Takhistov PT., Miltz J. Intelligent packaging: concepts and applications. J Food Sci 70, 2015. P.1–10.

153. Обґрунтування конструктивної схеми приводу вібраційно-інерційного лотка для транс-портування штучних продуктів / Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М., Гнатів Т.Т. Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності: VI Міжнародна спеціалізована науково-практична конференція, 2017 р. К.: НУХТ, 2017.С. 100-102.

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

155. Smith JP., Hoshino J., Abe Y. Interactive packaging involving sachet technology. In: Rooney ML (ed) Active food packaging. Blackie Academic and Professional, London, UK, 1995. Pp. 143–173.

156. Сухенко Ю.Г., Сарана В. В., Сухенко В. Ю. Технологічне обладнання та лінії молокопереробних підприємств : навчальний посібник для підготовки студентів у вищих навчальних закладах. Національний університет біоресурсів і природокористування України. К. : ЦП "Компринт", 2013. 659 с.
157. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: підручник. Житомир: ЖІТІ, 2001. 612 с.
158. Левитский Н.И., Герц Е.В., Цуханова Е.А. Синтез пневматических и гидравлических механизмов. Механика машин. Вып. 51. М.: Машиностроение, 1976. С. 95–102.
159. Кривопляс-Володіна Л.О., Токарчук С.В. Функціональні мехатронні модулі в структурі пакувального обладнання. «Modern scientific challenges and trends» Sciencecentrum.PL Warsaw: Sp. z o. o. "iScience", 2018. Issue 5. P.88-95.
160. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчёт пневмоприводов. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
161. Кіндрацький Б.І. Пневмопривідні системи у робототехніці. Розрахунок і конструювання. Зб.наук.праць за матер. Міжнар. симпоз. укр. інженерів-механіків у Львові. Львів: Львівська політехніка, 1995. С. 55.
162. VacPac (2017) SmartPouch®Susceptor technology for superior cooking. <http://www.vacpacinc.com/smartpouch.html>. Accessed 15 September 2018/.
163. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS: 3-е изд. Пер. с англ. СПб.: Издательская группа BNV, 2004.
164. Khattab, N.M., Barakat, M.H. Modeling the design and performance characteristics of solar steam-jet cooling for comfort air conditioning. Sol. Energy 73 (4). 2002. P.257–267.
165. Кіндрацький Б.І. Оптимальний параметричний синтез пневмопривідних систем промислових роботів // Тези доп. 1-го Міжнар. симпоз. укр. інженерів-механіків у Львові. Львів, 1993. С. 187–188.
166. Герц Е.В., Парой А.А. К воспроизведению заданного закона движения рабочего органа пневмопривода. Механика машин. Вып. 39 – 40. М.: Наука. 1973. С. 114–120.
167. Khalil A., Fatouh M., Elgendy E. Ejector design and theoretical study of ejector refrigeration cycle. Int. J. Refrig. 34 (7). 2011. P.1684–1698.
168. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О. Дослідження кінематики операції переміщення упаковки у формі паралелепіпеда за допомогою шнекового конвеєра в пакувальних машинах-автоматах. Харчова промисловість. № 13. 2012. С. 180-184.
169. Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Токарчук С.В. Дослідження електропривода з лінійним двигуном для пакетоформувальних машин.

Харчова наука і технології. Volume 11. Issue 2. 2017. С. 111 – 118.

170. Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М., Кохан О.О. Аналіз динамічних процесів в системі активних лотків- живильників блістерних машин. Харчова промисловість. № 15. 2014. С. 136- 140.

171. Математическое моделирование моментов и сил трения при плоскопараллельном движении штучного груза по шероховатой поверхности / А.П. Кривопляс и др. Пищевая промышленность. 1980. № 26. С. 80 – 83.

172. Кривопляс А.П., Буров А.А., Любимов В.М. Исследование удара тары с пищевыми продуктами в перегрузочных устройствах конвейеров. Пищевая промышленность. 1978. № 24. С. 98 – 102.

173. Sivertsvik M, Jeksrud WK, Vagane A, Rosnes JT. Solubility and absorption rate of carbon dioxide into non respiring foods. Development and validation of experimental apparatus using a monometric method J Food Eng 61. 2004. P.449–458.

174. Водічев В.А. Аналіз критеріїв оптимізації технологічного процесу металообробки. Труды Одесского политехн. ин-та. 2003. Вып. 1(19). С. 153–156.

175. Воронин А.Н., Мосорин П.Д., Ясинский А.Г. Многокритериальные задачи оптимизации с дискретными аргументами. АВТОМАТИКА-2000: Праці в 7-ми томах. Т.1. Львів: Державний НДІ інформаційної структури, 2000. С. 75– 78.

176. Сольнцев Р.И., Кононюк А.Е., Кулаков Ф.М. Автоматизация проектирования гибких производственных систем. Л.: Машино-строение, 1990. 415 с.

177. Егоров О. Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей: учебник. М. : Изд-во «СТАНКИН», 2009. 368 с.

178. Лимонов Ю.М., Келлерман Ю.И., Бельферман В.М. Многофункциональные пневмоприводы в машиностроении и повышение точности их расчета. Вестник машиностроения. 1984. № 9. С. 18–20.

179. Nokleby S.B., Podhorodeski R.P. Optimization-Based Synthesis of Grashof Geared Five-Bar Mechanisms. Journal of Mechanical Design. June 2016. Vol. 123. Issue 2. Pp. 199–204.

180. Wiedman P. Experimentelle Untersuchungen zur “idealen Abbremsung” pneumatischer Dämpfungszyylinder. Ölhydraulik und pneumatik. 26, №4. 1982. P. 306–309.

181. Wessling C., Nielsen T., Leufven A., Jagersstad M. Mobility of α -tocopherol and BHT in LDPE in contact with fatty food stimulants. Food Addit Contam 15. 1998. P. 709–715.

182. Киндрацкий Б.И. Математическое моделирование динамики пневмопривода промышленного робота с инерционной нагрузкой. Математическое и машинное моделирование в системах проектирования и управления: тез. докл. Всесоюзн. конф. Чернигов, 1990. С. 274–277.

183. Деренівська А.В., Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М. Ущільнення сипкої продукції в картонній пачці в пакувальних машинах-автоматах. Новітні технології пакування: зб. наук. праць за матер. XI Науково-практичної конференції молодих вчених. 2015. Додаток до журналу «Упаковка». С.25-27

184. Vanderroost M, Ragaert P, Devlieghere F, Meulenaer BD (2017) Intelligent foodpackaging: The nextgeneration. Trends Food Sci Technol 39:47–62

185. Wang, Quing-Guo. PID Control for Multivariable Processes / QingGuo Wang, Zhen Ye, Wen-Jian Cai, Chang-Chieh Hang. – Springer, 2016. – 262

186. Gavva O.M, Kryvoplias-Volodina L.O., Derenivska A.V. Ways to reduce dosing error of granular products in linear weight dosing machines. Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. 2013. №2. С. 232-236.

187. Обґрунтування конструктивної схеми приводу вібраційно-інерційного лотка для транспортування штучних продуктів / О.М. Гавва та ін. Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності: зб.наук.праць за матер. VI Міжнар. спеціал. наук.-практ. конф., 2017 р. К.: НУХТ, 2017. С. 100-102.

188. Киндрацкий Б.И. Динамика пневмопривода промышленного робота с позиционным управлением. Нелинейные колебания механических систем: тез. докл. Всесоюзн. конф. Горький, 1990. С.150.

189. Киндрацкий Б.И. Пневматические приводы. Машиностроитель. 1991. №5. С. 32–33.

190. Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М. Забезпечення заданої інтенсивності переміщення сипкої продукції із бункера в лінійних вагових дозаторах. Вібрації в техніці та технологіях. 2012 р. № 4. С. 103-109.

191. Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М. Інтегровані рішення компонувань пакувальних машин-автоматів у технологічних системах. Новітні технології пакування: зб. наук.праць за матер. XVI наук.-практ. конфер. молодих вчених. Київ, 2017. Додаток до журналу «Упаковка». С. 51-53

192. Патент на винахід № 109545 / Лінія для виготовлення пет-пляшок / Волчко А.І., Кривопляс-Володіна Л.О., Волчко А.А., Бюл. №17 від 10.09.2015.

193. Патент на винахід № 112815 / Пневмоциліндр поворотний / Любимов В.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Бюл. №20 від 25.10.2016

194. Патент на винахід № 123312 /Пневмоциліндр двосторонньої дії з

поворотним штоком/ Валиулін Г.Р., Костюк С.В., Кривопляс-Володіна Л.О.; заявник Національний університет харчових технологій. – № u201708115; заявл. 04.08.2017; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 8, 2018 р.

195. Патент на винахід № 117424 /Універсальний пневмоциліндр з поворотним штоком/Валиулін Г.Р., Кривопляс-Володіна Л.О., Кушнір О.В. ; заявник Національний університет харчових технологій. – № a201705023; заявл. 24.05.2017; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14, 2018 р.

196. Подиновский В.В. Коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений. Порядковые или ординальные коэффициенты важности. Автоматика и телемеханика. 1978. № 10. С. 130–141.

197. Термінологічний довідник пакувальника/ Сторіжко Й.І. та ін. К.: ІАЦ “Упаковка”, 1999. 80 с.

198. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1982. 200 с.

199. Чашин В.А. Выбор основных параметров поршневого пневматического привода. Пневматика и гидравлика. М.: Машиностроение, 1987. Вып. 13. С. 271–277.

200. Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Intensification of orientation for packing-case loads in machines that form packages. Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. 2014. № 3. P. 111-116.

201. Kryvoplias-Volodina L., Lubimov V., Legun A. Research of dynamic process in the pneumatic cylinder system of double action at the stable movement. Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. 2014. №4. С. 138-141.

202. Mark Segal, Kurt Akelet. The OpenGL Graphics System: A specification (Version4.0(Compatibility Profile) - March 11, 2010). URL: <https://khronos.org/registry/OpenGL/specs/gl/glspec40.compatibility.pdf>.

203. Maghsoodi A, Afshari E., Ahmadikia H. (2016) Applied Thermal Engineering, 2016. p. 410–418.

204. Mikulionok I.O., Gavva O.M., Kryvoplias-Volodina L.O. Modeling of melting process in a single screw extruder for polymer processing. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Series «Applied physics». 2018. № 2/5 (92). С. 4-11.

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

206. Reddy Y.V., Wood R.T., Cleetus Y.J. The DARPA Initiative in Concurrent

- Engineering. Concurrent Engineering Research in Review. 1991/1992. V.1. P.2 – 10.
207. Ruiz-Garcia L., Lunadei L. The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. *Comput Electron Agr* 79. 2016. P. 42–50.
208. Smith JP, Ramaswamy HS, Simpson BK (1990) Developments in food packaging technology. Part II. Storage aspects. *Trends Food Sci Tech* 1:111–118.
209. Sun D-W, Emes IW. Performance characteristics of HCFC-123ejector refrigeration cycles. *Int. J. Energy Res.* 1996;20:871–885.
210. Üçgül, İ. Thermo-Economic Analysis of Ejector Cooling System. *Yekarum e-Dergi*, 2020. P.1-9.
211. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. Издание 2-е, стереотипное, Киев, "Техніка", 1977. 768 с.
212. Элементы теории графов и их технические приложения: Учебно-методическое пособие. Часть 2.Пронькин Ю.С., Егоров Ю.А. Тверь 2008. 30с.
213. Jonathan L. Gross, Jay Yellen. *Handbook of Graph Theory*. CRC Press, 2004. 1177 p.
214. Edward Keith Lloyd, Norman Biggs, Robin James Wilson. *Graph Theory* 1736-1936. Oxford University Press, 1986.
215. Дубов А.В. Определение информационной модели объекта диагностики, заданного сигнальными графами функциональных элементов, УБС, 2011. В.34, 292–301.
216. Кривопляс А.П. Пакетоформирующие машины/ Кривопляс А.П., Кукибный А.А., Беспалько А.П и др. М.: Машиностроение, 1982. 239с.
217. Чуприна А.В. Наукове обґрунтування розробки функціональних модулів пакетоформувальних машин для продовольчих вантажів. Дис. канд.техн. наук –К.-НУХТ: 2004.-183с.
218. Шипинский В.Г. Упаковка и средства пакетирования – Мн.: УП Технопринт», 2004. 416с.
219. Kryvoplias-Volodina L., Gavva O., Yakymchuk N., Derenivska N. Valiulin H., Nnativ T. Practical aspects of modeling the modesof pneumatic transportation of small-piece foodproducts *Eastern European Journal of Enterprise Technologies* (ISSN 17293774) Vol 5. No11 (107). 2020. P.6-15.
220. Гавва О.М. Наукові основи розрахунку параметрів потоково-транспортних систем харчових виробництв. Дис.док.техн.наук. К., УДУХТ, 1996. 534с.
221. Пальчевський Б.О. Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва: Навчальний посібник. Львів: Світ, 1994. 208 с.
222. Панішев А. В. Вступ до теорії складності дискретних задач/ А. В. Панішев. Житомир: ЖДТУ, 2004. 326 с.

223. Стоцько З.А. Моделювання технологічних систем: Навч. посібник. К.: НМКВО, 992. 132 с.
224. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. К.: Видавнича група BVH, 2007. 352 с.
225. Пальчевський Б.О. Автоматизований синтез технологічних машин. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки», Луцьк, вип.26, 2009. 266-270.
226. Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування : моногр. / Б. О. Пальчевський. Луцьк: Луцький НТУ, 2012. 572 с.
227. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. 346 с.
228. Non-traditional manufacturing processes. II Slatineanu L., Xagit G., Dodun O. and other. Chisinau: TENNICA INFO, 2004. 300 p.
229. Шаповал О.М. Підвищення ефективності проектування машин для пакування сипких речовин [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02; Луц. нац. техн. ун-т. Луцьк, 2012. 182 с.
230. Розробка прикладної системи комп'юторного функціонально-модульного проектування пакувальних машин: звіт НДР/ Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Велецький Б.П та ін. / Луцький НТУ. - № 0110U002222; Інд.№ 0212U001287. Луцьк, 2011. 236 с.
231. Пальчевський Б.О., Шаповал О.М. Програмне забезпечення автоматизованого пошуку оптимального компоновання пакувального автомату. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів, 2010. № 44. С.90-95.
232. Пальчевський Б.О., Шаповал О.М. Автоматизація розв'язку багатокритеріальної задачі структурної оптимізації пакувального автомату. Технологічні комплекси. Науковий журнал. Випуск 1. Луцьк, 2010. С.33-39.
233. Шаповал О.М., Пальчевський Б.О. Застосування методу віток і меж для оптимізації структури технологічних машин. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Випуск 26. Луцьк, 2009. С.219-224.
234. Процедури оптимізаційного синтезу пакувальних машин /Б. Пальчевський, О. Шаповал // “Engineering mechanics & transport 2011”: матеріали 2-ої Міжнародної наукової конференції молодих вчених. Львів, 2011. С. 36-37
235. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В. Багатокритеріальний структурно-параметричний синтез функціональних модулів потоково-технологічних пакувальних систем. Наукові праці НУХТ. 2017. Том 23, № 5, Ч. 1. с. 98-108.

236. Залога В.А. Функциональный подход к проектированию машиностроительного изделия / В.А. Залога, К.А. Дядюра // Збірник наукових праць НТУ «ХПІ» Високі технології в машинобудуванні. Харків, 2010. Вип. 2 (16). С. 22-30.

237. Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Деренівська А.В. Оптимізація синтезу пакувальних машин за критерієм ефективності. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: програма та тези матеріалів VII-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 6-7 листопада 2018 р., м. Київ. С.32-33.

238. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями М.: Дрофа, 2006. 175 с.

239. Noronha, F.A.F., Franca, F.A., and Alhanati, F.J.S., 1997, "Improved Two-Phase Model for Hydraulic Jet Pumps," Proceedings - SPE Production Operations Symposium, Society of Petroleum Engineers (SPE), Oklahoma City, OK, USA, 9-11 March, pp. 333-340.

240. Sirane (2016) A-Crisp™ boxes, boards, sleeves and liners for crisping in a microwave. <http://www.sirane.com/food-packaging-products/microwave-susceptors-crisp-itrange/sira-cook-crisp-it-boards.html>. Accessed 10.09.2018.

241. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості / За редакцією проф. Соколенка А. І. / Підручник - К.: КондорВидавництво, 2015. 396 с. ISBN 978-617-7278-06-0

242. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): Навчальний посібник. Львів: Світ, 2007. 392с.

243. Пальчевский Б. А. Научное исследование: объект, направление, метод. Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1979. 180с.

244. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В. Синтез просторових потоково-транспортних систем ліній пакування харчових продуктів. Наукові праці ОНАХТ. 2016. Том 80, вип. 1. С.131-138.

245. Singh RP (2016) Scientific principles of shelf life evaluation. In: ManD, Jones A (ed) Shelf life evaluation of food. 2nd edn. Aspen Publishers, Gaithersburg, Md, pp 3–22.

246. Sivertsvik M, Jeksrud WK, Vagane A, Rosnes JT Solubility and absorption rate of carbon dioxide into non respiring foods. Development and validation of experimental apparatus using a monometric method J Food Eng, 2004. P.449–458.

247. Sivertsvik M. Lessons from other commodities: Fish and meat. In: Wilson CL (ed) Intelligent and active packaging for fruits and vegetables. CRC press, Boca Raton, London, 2007. Pp. 151–161.

248. Smith JP, Ramaswamy HS, Simpson BK (1990) Developments in food packaging technology. Part II. Storage aspects. *Trends Food Sci Tech* 1:111–118
249. Smith JP, Hoshino J, Abe Y (1995) Interactive packaging involving sachet technology. In: Rooney ML (ed) *Active food packaging*. Blackie Academic and Professional, London, UK, pp. 143–173
250. Steven, T. K. *Signals and systems with Matlab applications* / T.K. Steven. – California: Orchard Publications, 2017. 598 p.
251. Sun D-W, Emes IW. Performance characteristics of HCFC-123 ejector refrigeration cycles. *Int. J. Energy Res.* 1996;20:871–885
252. Sun D-W. Variable geometry ejectors and their applications in ejector refrigeration systems. *Energy* 1996;21:919–929.
253. Sun D-W. Experimental investigation of the performance characteristics of a steam jet refrigeration system. *Energy Sources* 1997;19:349–367.
254. Suppakul P, Miltz J, Sonneveld K, Bigger SW (2013) Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *J Food Sci* 68:408–420
255. Tajima M (2017) Strategic value of RFID in supply chain management. *J Purch Supply Manag* 13:261–273 Takashi H, inventor (1990) Japanese patent 2113849 Tempix (2014) The Tempix temperature indicator: <http://tempix.com/>. Accessed 14 September 2018.
256. Todorovic V, Neag M, Lazarevic M (2014) On the Usage of RFID Tags for tracking and monitoring of shipped perishable goods. *Procedia Engineering* 69:1345–1349.
257. Tu Jian, Choi Kyung K., Park Young H. Design potential method for robust system parameter design // *AIAA Journal*. 2001. 39, №4. pp. 667—677.
258. VacPac (2017) SmartPouch® Susceptor technology for superior cooking. <http://www.vacpacinc.com/smartpouch.html>. Accessed 15 September 2018
259. Vanderroost M, Ragaert P, Devlieghere F, Meulenaer BD (2017) Intelligent food packaging: The next generation. *Trends Food Sci Technol* 39:47–62
260. Vermeiren L, Devlieghere F, Van Beest M, de Kruijf N, Debevere J (1999) Developments in the active packaging of foods. *Trends Food Sci Tech* 10:77–86
261. Viet Nam Hoang. Design of Single-Sided Linear Induction Motor: Bachelor of Electrical Engineering Project. School of Information Technology and electrical Engineering, University of Queensland. Queensland, 2016.
262. Wang, Qing-Guo. PID Control for Multivariable Processes / QingGuo Wang, Zhen Ye, Wen-Jian Cai, Chang-Chieh Hang. Springer, 2016. P.262
263. Watanawanavet S (2008) CFD optimization study of high-efficiency jet ejectors Ph.D. thesis Texas A&M University

264. Ways to reduce dosing error of granular products in linear weight dosing machines// Gavva O.M, Kryvoplias-Volodina L.O., Derenivska A.V. Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. Пловдив, 2013. №2. с. 232-236.

265. Wiedman P. Experimentelle Untersuchungen zur “idealen Abbremsung” pneumatischer Dämpfungszyylinder // ölhydraulik und pneumatik. 1982. 26, №4. P. 306—309.

266. Wessling C, Nielsen T, Leufven A, Jagersstad M (1998) Mobility of α -tocopherol and BHT in LDPE in contact with fatty food stimulants. Food Addit Contam 15:709–715

267. Yan H-S, Chen W-R. Optimized Kinematic Properties for Stevenson-Type Presses With Variable Input Speed Approach // Journal of Mechanical Design. June 2002. Vol. 124. Issue 2. pp. 354-357.

268. Yam KL, Takhistov PT, Miltz J (2015) Intelligent packaging: concepts and applications. J Food Sci 70:1–10

269. Yoshida CMP, Maciel VBV, Mendonça MED (2014) Chitosan bio based and intelligent films: Monitoring pH variations. Food Sci TechnolLEB p. 83–89

270. Younes M., Potiron A. Shape optimization of mechanical structure by an adjoint variables method and genetic algorithm // CAMES. 2017. 8. pp. 45—78.

271. Yukimaru S, Shogo N, Sahao K, Shigemitsu K (1987) Studies of the configuration and performance of annular type ejectors. Transactions ASME, J Fluids Eng 109: 205-212.

272. Zagory D. Ethylene-removing packaging. In: Rooney ML (ed) Active food packaging. Blackie Academic and Professional, London, UK, 2015. Pp. 38–54.

273. Zielinski A.P., Sanecki H., Karas M. Effectiveness of the Trefftz method in different engineering optimization procedures. CAMES. 2017. 8. P. 479—493.

274. Zhu Y., Cai W., Wenb C., Li Y. Numerical investigation of geometry parameters for design of high performance ejectors. Appl Thermal Eng, 2015. P.: 898-905.

275. Zhu Y., Cai W., Wen C., Li Y. Shock circle model for ejector performance evaluation. Energy Conversion and Management, 2007. P.: 2533-2541.

276. Зелінський А.М. Основи математичного моделювання. К.: НМКВО, 1992. 220 с.

277. Семененко, М.Г. Математическое моделирование в MathCad / М.Г. Семенко. М.:Альтекс-А, 2003. 208 с.

278. Сілін Р.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие. –Хмельницкий: ХНУ, 2004-270 с.

279. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного

керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г.,Гранат С.Є., Ковальов В.О. К.: Аграрна освіта, 2010. 557 с.

280. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевиц, Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф. Кривий Ріг: КК НАУ, 2018. 332 с.

281. Баничук Н.В. Введение в оптимизацию конструкций. М.: Наука, 1986. 302 с.

282. Kryvoplias-Volodina L., Gavva O., Yakymchuk N., Derenivska N. Valiulin H., Hnativ T. Practical aspects of modeling the modes of pneumatic transportation of small-piece food products Eastern European Journal of Enterprise Technologies (ISSN 17293774) Vol 5. No11 (107). 2020. P.6-15.

283. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ДТУ, 2010. 399 с

284. Полак Э. Численные методы оптимизации. Единый подход. М.: Мир, 1974. 376 с.

285. Цегелик Г.Г. Лінійне програмування. Львів: Світ, 1995. 215 с.

286. Бербюк В.Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем. К.: Наук. думка, 1989. 192 с.

287. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972. 768с.

288. Gavva O., Kryvoplias-Volodina L., Blazhenko S., Tokarchuk S., Derenivska A. (2021). Synthesis of precision dosing system for liquid products based on electropneumatic complexes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(2 (114), 125–135.

289. Khennich, M., Galanis, N., Sorin, M., 2016. Effects of design conditions and irreversibilities on the dimensions of ejectors in refrigeration systems. Appl. Energy 179, p.1020–1031.

290. Li C, Li Y, Wang L (2012) Configuration dependence and optimization of the entrainment performance for gas-gas and gas-liquid ejectors. Appl Ther Eng 48: 237-248

291. Моделювання та оптимізація систем: підручник /Дубовой В. М., Кветний Р. Н. та ін. Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. 804 с.

292. Зайцев С.В., Тимофеев М.Ю. Оптимизация технических систем: учеб. Пособие. М.: МАДИ, 2019. 124 с.

293. Островский Г.М., Зиятдинов Н.Н., Лаптева Т.В. Оптимизация технических систем : учебное пособие. М. : КНОРУС, 2012. 424 с.

294. Ладієва Л.Р. Оптимізація технологічних процесів. К.: ІВЦ

„Видавництво «Політехніка»”, 2004. 192 с.

295. Palchevskiy B. Information Aspects of Optimisation Synthesis of Functional-Modular Structure of Technological Equipment // Monografie: Optimization of Production Process.-Lublin: Politechnika Lubelska, 2013, p.75-89.

296. Гліненко Л. К, Сухонос О. Г.; Основи моделювання технічних систем: навч. посібник . Львів: Бескид Біт, 2003. 176с.

297. Дякон В.М., Ковальов Л.Є. Моделі і методи теорії прийняття рішень: Підручник. К. АНФ ГРУП, 2013. 604 с.

298. Моделювання та оптимізація систем: підручник/ Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О. І., Усов А. В. Вінниця: ПП «ТД«Едельвейс», 2017. 804 с.

299. Неруш, В. Б. Імітаційне моделювання систем та процесів [Електронний ресурс]: конспект лекцій / В. Б. Неруш, В. В. Курдеча ; НТУУ «КПІ». Електронні текстові дані. Київ : НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с.

300. Сполович, М. Ю. Моделювання процесу дозування таблеткових мас та обґрунтування конструкції механізму живлення роторної таблеткової машини : кваліфікаційна робота ... магістра : 133 Галузеве машинобудування / Максим Юрійович Сполович ; наук. керівник О.О. Чепелюк. – Київ, 2022. – 112 с.

301. FlowVision. Версія 2.5. Руководство пользователя. М.: ТЕСИС, 2008. 285 с. URL:<https://www.twirpx.com/file/388088/>

302. Цегелик Г.Г. Чисельні методи /Цегелик Г.Г. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2004.

303. Михайлов О.М. Основи проектування й автоматизації виробничих процесів на базі технологій безперервної дії. Навч. посібник для машинобуд. спец, вузів. Донецьк: ДонНТУ, 2006. 421 с.

304. Жалдак М.І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник. Черкаси: Брама-Україна, 2005.

305. Математичний опис процесу протитечійного транспортування твердої фази при неперервному віброекстрагуванні / В. Л. Завьялов, Т. Г. Мисюра, В. С. Бодров та ін. // № 3 (63) Вібрації в техніці та технологіях. 2011. С. 102-107.

306. Замятина О.М. Моделирование систем : учеб. Пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009.

307. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб, Изд-во «Профессия», 2004. 752 с.

308. Шевченко О.Ю. Наукові основи і апаратне оформлення процесів довгострокового зберігання харчових продуктів. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д.т.н. К. : НУХТ. 2006. 49 с.

309. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Токарчук С.В. Функціонально орієнтоване проектування машин пакування харчових продуктів у контексті технологій замкненого циклу. Наукові праці Національного університету харчових технологій. Т. 28, № 6. Київ: НУХТ, 2022.

310. Kryvoplias-Volodina, L.O. Gavva O.M, Zaharevich V.B. Compiling a comprehensive analysis and methodology of packagining eguipment based on simulation. Научни Трудове на Русенския Университет. Биотехнологии и пищевие технологии, Разград, Болгария. 2013. серия-10.2. Том 52. с. 66 – 70.

311. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: 5-те видання, перероб. і доп, Київ. 2001, 688 с.

312. Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М., Валиулін Г.Р. Моделювання розпилення газорідинної суміші струменевими форсунками у функціональних модулях пакувальних машин. Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації та безпеки продовольства: збірник праць VII Міжнародної науково-практичної конференції вчених, аспірантів і студентів. Київ, НУБіП, 2017. с. 332 – 333.

313. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 120 с.

314. PID Control for Multivariable Processes / QingGuo Wang, Zhen Ye, Wen-Jian Cai, Chang-Chieh Hang. Springer, 2016. 262

315. Watanawanavet S (2008) CFD optimization study of high-efficiency jet ejectors Ph.D. thesis Texas A&M University

316. Gavva O.M, Kryvoplias-Volodina L.O., Derenivska A.V. Ways to reduce dosing error of granular products in linear weight dosing machines. Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. Пловдив, 2013. №2. с. 232-236.

317. Wiedman P. Experimentelle Untersuchungen zur “idealen Abbremsung” pneumatischer Dämpfungszyylinder. Ölhydraulik und pneumatik. 1982. 26, №4. P. 306 - 309.

318. Yam KL, Takhistov PT, Miltz J (2015) Intelligent packaging: concepts and applications. Journal of Food Science. Vol. 70, Nr. 1, 2005. P.1-10.

319. Yang, A.; Pu, J.; Wong, C.B.; Moore, P. (2009). By-pass valve control to improve energy efficiency of pneumatic drive system. Control Eng. Pract., 17, 623–628. doi:<http://dx.doi.org/10.1109/CDC.2011.6160684>

320. Šešlija, D.; Cajetinac, S.; Blagojević, V.; Šulc, J. (2018). Application of pulse width modulation and by-pass valve control for increasing energy efficiency of pneumatic actuator system. Proc. Inst. Mech. Eng. Part I, 232, 1314–1324. doi: <https://doi.org/10.2298/FUEE1202093C>

321. Kanno, T.; Hasegawa, T.; Miyazaki, T.; Yamamoto, N.; Haraguchi, D.; Kawashima, K. (2018). Development of a Poppet-Type Pneumatic Servo Valve. *Appl. Sci.*, 8, 2094. doi:<https://doi.org/10.3390/app8112094>
322. Minyahel Tilahun (2020). Customer's Perception and Preference towards Packaged Drinking Water. *The pharma review* ■ september - october , №1, 5–17.
323. Lammerink, S.J.. (1993). Integrated micro-liquid dosing system March 1993 Source IEEE Xplore Conference: Micro Electro Mechanical Systems, 1993, MEMS '93, Proceedings An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines and Systems. IEEE. T. 12, № 4, 254–264.
324. Balajka, J, Pavelec, J. Apparatus for dosing liquid water in ultrahigh vacuum. *Review of scientific instruments* 89, 2018. P.233–245. doi: <https://www.researchgate.net/publication/327333529>
325. Яцун, С.Ф. (2008) Динамические режимы движения клапана прецизионного дозатора жидких сред. *Изв. вузов. Серия «Машиностроение»*. 2008. No8. С.37-48. URL: <https://istina.msu.ru/journals/95077/?p=2>
326. Omar Lengerke. Mechatronics Design of a Low-Cost Packaging and Dosing Machine for Doughy Products. *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, 2008. Vol. 3. Pp.717-725.
327. Behbahani S. and de Silva C.W. Use of mechatronic design quotient in multi-criteria design, *Proceedings of International Symposium on Collaborative Research in Applied Science (ISOCRIAS)*, Vancouver, Canada, 2005. pp. 214–221. URL: <https://behbahani.iut.ac.ir/publications-1>
328. Tao Zhang, Chao-hai Wei. Advances in characteristics analysis, measurement methods and modelling of flow dynamics in airlift reactors. *Environmental Science Chemical Engineering and Processing. Process Intensification*, 2019. P.113-118. doi: <https://doi.org/10.1016/J.CEP.2019.107633>
329. Zhang, H., Liu, M. Dense gas–particle flow in vertical channel by multi–lattice trajectory model. «*Science in China*» Series E: Technological Sciences, 2012. Vol. 55, no. 2, 542–554. doi: <https://doi.org/10.1007/s11431–011–4578–7>.
330. Ступницький В.В. Науково-прикладні основи проектування функціонально-орієнтованих технологій машинобудування засобами паралельного інжинірингу: дис. д-ра техн. наук 05.02.08 – Технологія машинобудування"/ Ступницький Вадим Володимирович: НУ «Львівська політехніка». Л., 2015.

Наукове видання

Гавва Олександр Миколайович

Кривопляс-Володіна Людмила Олександрівна

Токарчук Сергій Володимирович

Марцинкевич Леся Валентинівна

Гавва Олександр Олександрович

Системна інженерія пакувальних машин-автоматів

Монографія

За науковою редакцією д-ра техн.наук, проф. О.М.Гавви

В авторській редакції

Надруковано з оригінал-макета замовника

Підп. до друку 2023 р. Формат 60×84 1/16. Папір офс. Гарнітура Times.

Ум. друк. арк. –

Наклад 300 пр. Зам. №

ТОВ «Видавництво «Сталь»

Свідоцтво ДК № 4947 від 30.07.2015 р.

м.Київ, вул.Віталія Шимановського, 2/1

тел./факс 044-229-83-52, 516-45-02, 516-55-92

E-mail: tov_steel@ukr.net

www.izdat.com.ua