МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТМІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
______ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)
«12» 02 2024р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
______ Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)
«12» 02 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Підвищення ефективності мехатронного модуля для в'язких харчових продуктів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ПМ-2-1м
Чіхрадзе Дмитро Олегович ______
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Кривопляс-Володіна Людмила Олександрівна ______
(прізвище , ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти ______ ______
(ім'я та прізвище) (підпис)
______ ______
(ім'я та прізвище) (підпис)
______ ______
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Гавва О.М. ______
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач ______
(підпис)

Київ - 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого

Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МПТ

Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДІНА

«__20__» _____11_____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Чіхрадзе Дмитра Олеговича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності мехатронного модуля для в'язких харчових продуктів

керівник роботи Людмила Кривопляс-Володіна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 р. №940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 05.02.2024

3. Вихідні дані до роботи 1. Вид досліджень – аналітичні та експериментальні. 2. Вид обладнання –системи дозувального типу. 3. Вид продукції – в'язка харчова продукція.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Вступ.2.Огляд конструктивних особливостей пакувальних машин та модулів їх створення. 3.Принцип оптимізаційного синтезу компонувань машин для пакування в'язких речовин .4Методика використання чисельного програмного середовища для оптимізації компонування обладнання.5.Дослідження впливу параметрів на процес дозування в'язких харчових продуктів з метою визначення оптимальних умов.6.Висновки.7.Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу
Презентація на 15 аркушах

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання__ _____20.11.2023_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	26.11.2023	
2	Вступ	03.12.2023	
3	Розділ 1	04.01.2024	
4	Розділ 2.	20.01.2024	
5	Розділ 3.	01.02.2024	
6	Розділ 4.	07.02.2024	
7	Висновки	11.02.2024	
8	Список літератури		

Здобувач освіти _____ __Дмитро ЧІХРАДЗЕ_____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____ __Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__19__» ____02_____ 2024__ р.

Анотація

Магістерська робота "ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ В'ЯЗКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ" привсячена підвищенню ефективності проектування механічних модулів для пакування в'язких харчових продуктів, що ґрунтується на методах оптимізаційного синтезу їх конструкцій з наборів функціональних модулів (ФМ) та дослідженні гнучких рулонних пакувальних матеріалів.

Актуальнаість роботи пов’язана із сучасною пакувальною індустрією, що динамічно розвивається, і де все більшу роль відіграють технологічні машини (ТМ) для пакування в'язких речовин. Їх універсальність дозволяє пакувати широкий спектр продукції в різних галузях промисловості. Це обумовлює зростаючу потребу в розробці та впровадженні високотехнологічного пакувального обладнання для в'язких продуктів.

В роботі висвітлені : аналіз відомих конструкцій ТМ функціонально-модульної будови та методів оптимізаційного синтезу; дослідження ФМ, що входять до складу ТМ для пакування в'язких харчових продуктів, з визначенням типових варіантів їх конструктивного виконання. Розроблені системи кодування ФМ. Апробовані методи формалізованого опису структури ТМ; методу моделювання компонувань на основі функціонально-модульної будови ТМ. Здійснена розробка моделі машини для пакування в'язких харчових продуктів в середовищі ПП Anylogic. Досліджені фізико-механічні властивості гнучких рулонних пакувальних матеріалів.

В результаті досліджень, розроблено модель технологічної операції пакування в'язких харчових продуктів, що ґрунтується на методиці формалізованої декомпозиції службової функції машини. Ця модель дає можливість чітко визначити набір ФМ, необхідних для виконання технологічної операції.

Ключові слова: ефективність, мехатронний модуль пакувальних машин, експеримент, функціонально-модульне проектування, в’язкі харчові продукти.

Abstract

The master's thesis "IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE MECHANICAL MODULE FOR VISCUS FOOD PRODUCTS" is dedicated to improving the efficiency of designing mechanical modules for packaging viscous food products, based on methods of optimisation synthesis of their structures from sets of functional modules (FMs) and the study of flexible roll packaging materials.

The relevance of this work is related to the modern packaging industry, which is developing dynamically, and where technological machines (TM) for packaging viscous substances are playing an increasingly important role. Their versatility allows them to pack a wide range of products in various industries. This leads to a growing need for the development and implementation of high-tech packaging equipment for viscous products.

The paper highlights: analysis of known designs of TMs of functional-modular structure and methods of optimisation synthesis; study of FMs included in TMs for packaging viscous food products, with the definition of typical variants of their design. The coding systems of FMs were developed. The methods of formalised description of the structure of the TM; the method of modelling of layouts based on the functional-modular structure of the TM were tested. A model of a machine for packaging viscous food products in the Anylogic software environment was developed. The physical and mechanical properties of flexible roll packaging materials were investigated.

As a result of the research, a model of the technological operation of packaging viscous food products was developed, based on the method of formalised decomposition of the machine's service function. This model makes it possible to clearly define the set of FMs required to perform the technological operation.

Keywords: efficiency, mechatronic module of packaging machines, experiment, functional modular design, viscous food

Вступ

Актуальність дослідження пов'язана із сучасним станом пакувальної галузі, що характеризується стрімким розвитком та широким впровадженням нових технологій. Особливе значення в цій сфері мають технологічні машини (ТМ) для пакування в'язких речовин, завдяки їх універсальності та здатності пакувати широкий спектр продукції в різних галузях промисловості. Зростає потреба в розробці та впровадженні високотехнологічного обладнання для пакування в'язких речовин.

Традиційним підходом до вирішення даної проблеми була модернізація існуючих пакувальних машин (ПМ) з метою розширення їх функціональних можливостей.

Проте, цей метод поступово вичерпує свій потенціал, адже використання застарілих методів проектування не дозволяє в повній мірі оптимізувати процес пакування.

Застосування відомих методів оптимізаційного синтезу при проектуванні ПМ зводиться до створення електронних моделей ТМ, що обмежує можливості вибору оптимальної конструкції.

Обґрунтування дослідження полягає у наступному:

- Подальше підвищення ефективності ПМ можливе лише за рахунок вдосконалення методів проектування з використанням методів оптимізації.
- Потреба в розробці методології комп'ютерного проектування з використанням відповідного програмного забезпечення, адаптованого до специфіки ТМ для пакування в'язких речовин.

Метою дослідження є :

- Підвищення ефективності проектування ПМ для в'язких харчових продуктів на основі методів оптимізаційного синтезу конструкцій з наборів функціональних модулів (ФМ) та дослідження гнучких рулонних пакувальних матеріалів.

- Розробка методу комп'ютерного проектування ПМ з використанням практики оптимізації та адаптованого програмного забезпечення.

Практична значущість базується на розробленні нових високотехнологічних ПМ для пакування в'язких харчових продуктів, які відрізняються високою ефективністю, надійністю та універсальністю.

Методи дослідження, які були використані під час розробки кваліфікаційної роботи базувались на фізико-механічних та математико-статистичних теоріях.

Мета дослідження: підвищення ефективності проектування машин для пакування в'язких харчових продуктів за допомогою методів оптимізаційного синтезу ПМ функціонально-модульної будови.

Завдання дослідження: аналіз відомих конструкцій ПМ функціонально-модульної будови для пакування в'язких харчових продуктів у плівковий пакувальний матеріал, визначення основних напрямків їх розвитку.

Предметом дослідження є машини функціонально-модульної будови для пакування в'язких харчових продуктів та плівкові пакувальні матеріали для формування гнучкої споживчої упаковки для в'язких продуктів.

Завдяки проведеним дослідженням розроблено модель технологічної операції пакування в'язких харчових продуктів. Її основою слугує методика формалізованої декомпозиції службової функції машини для пакування в'язких харчових продуктів. Ця модель дозволяє чітко визначити набір функціональних модулів (ФМ), необхідних для виконання даної технологічної операції.

ЗМІСТ

Анотація 2

Abstract 3

Вступ 4

РОЗДІЛ 1 8

Огляд конструктивних особливостей пакувальних машин та методів їх створення 8

1.1. Аналіз окремих компоновочних рішень машин для пакування в’язкої харчової продукції 8

1.2. Напрями і методи вдосконалення компонувань машин для пакування в’язкої харчової продукції. 30

1.3. Показники, щодо ефективності роботи машини для упаковування в’язкої харчової продукції 38

Висновки до розділу 1 45

РОЗДІЛ 2 46

ПРИНЦИПИ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ КОМПОНУВАНЬ МАШИН ДЛЯ ПАКУВАННЯ В'ЯЗКИХ РЕЧОВИН 46

2.1. Дослідження систем для пакування в’язких речовин 46

2.2. Структура основних процедур оптимізаційного синтезу 50

Висновки до розділу 2 54

РОЗДІЛ 3 55

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПОНУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ. 55

3.1. Система моделювання AnyLogic 55

3.1.1. Загальні відомості про систему моделювання AnyLogic 55

3.1.2. Етапи імітаційного моделювання в AnyLogic 56

3.2. Базові інструменти для розробки моделі в програмному середовищі 58

3.3. Приклади оптимізаії операторів Anylogic 63

3.4. Математична модель оптимізації кмпоновки для дозувально-фасувальної операції у трьохшовний пакет флоу-пак..... 66

3.5. Програма дослідження поршневого дозатора..... 69

Висновки до розділу 3 70

Розділ 4..... 71

Дослідження впливу різних параметрів на процес дозування в'язких харчових продуктів з метою визначення оптимальних умов для досягнення заданої точності та продуктивності 71

4.1. Постановка задач для експериментального дослідження 71

Експериментальне дослідження необхідне для:..... 71

4.2. Мета експериментальних досліджень..... 71

4.3. Експериментальне дослідження на основі віскозиметру 72

Особливості проведення експериментів на віскозиметрах 72

Результати дослідження..... 80

4.4.2. Опис структури системи керування 93

4.5. Умови проведення факторного експерименту другого порядку для поршневого дозатора..... 94

Висновок до розділу 4 103

ВИСНОВОК ДО РОБОТИ..... 104

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... 106

РОЗДІЛ 1
Огляд конструктивних особливостей пакувальних машин та методів їх створення

1.1. Аналіз окремих компоновочних рішень машин для пакування в’язкої харчової продукції

Пакувальні машини для фасування в'язких харчових продуктів в м'які споживчі пакети – це широкий спектр обладнання, яке використовується для упаковки таких продуктів, як йогурт, сметана, джем, соуси, майонез, мед, томатна паста, дитяче харчування та інші. Способи пакування в'язкого продукту здійснюють у пакувально-фасувальній машині горивонтального або вертикального типу у рывны типи споживчоъ упаковки. Аналіз існуючих пакувальних машин для цієї групи продуктів, засвідчив поширення у виробництві компоновок вертикального типу із фасуванням у м’який пакет. Подібні машини містять вузли протягування плівки, формування відкритого верху пакета з подальшим термічним зварюванням плівки з утворенням поздовжнього шва, що формує рукав, і поперечного шва. При цьому під час заповнення пакета продуктом розташовують зріз сопла подачі продукту на рівні продукту в пакеті або нижче за цей рівень шляхом узгодження швидкості протягання зі швидкістю заповнення продуктом пакета, а після припинення заповнення продукту здійснюють додаткове протягування, потім формують поперечний шов і відокремлюють пакет від рукава. Винаходом є також і пакувально-фасувальна машина для здійснення способу. При цьому, використовуються різні за формою і матеріалом споживчі упаковки. Машини пакувальні для дозування у м'які споживчі упаковки стають все більш популярними у виробників харчових продуктів завдяки своїм численним перевагам. М'які упаковки, такі як пакети, дой-паки та плівки, значно дешевші за жорсткі (банки, пляшки), що робить їх вигідними як для виробників, так і для споживачів. Пакувальні машини для в'язких продуктів можна класифікувати за кількома параметрами:

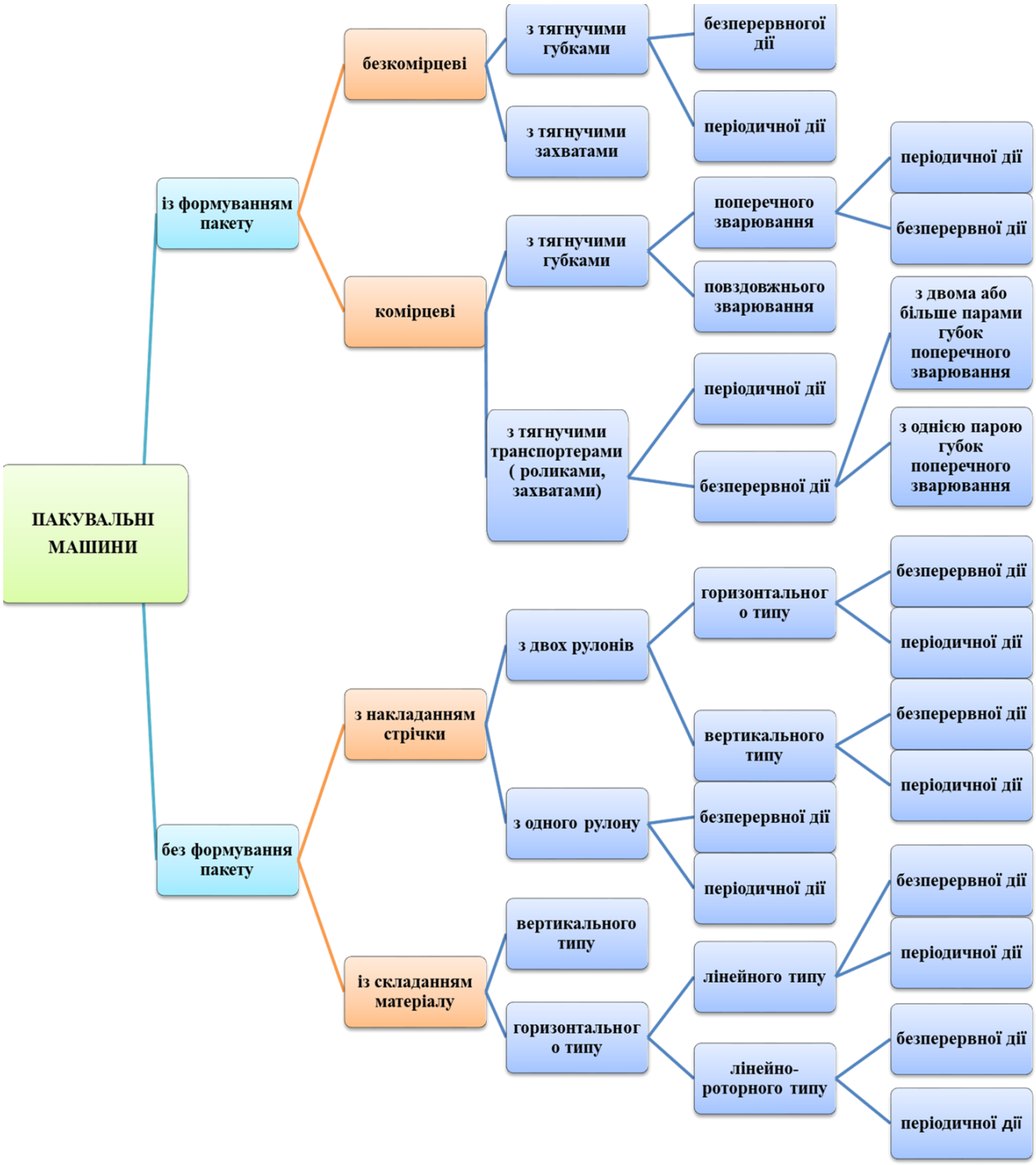


Рис.1.1. Класифікація обладнання для пакування за конфігурацією пакета, що формується

Зручність транспортування та зберігання, а також простота відкривання та використання роблять м'які упаковки практичними для щоденного використання. Екологічність м'яких упаковок, які займають менше місця при утилізації, робить їх більш екологічно чистими, що відповідає актуальним потребам суспільства. Гнучкість у виготовленні з різних матеріалів, а також різноманіття форм та розмірів дозволяють

підбирати оптимальну упаковку для будь-якого продукту. М'які упаковки можуть оснащуватися бар'єрними властивостями, що значно збільшує термін придатності продуктів харчування. Різноманітний дизайн м'яких упаковок робить їх більш привабливими для споживачів, що позитивно впливає на маркетингову складову. Серед найпоширеніших видів м'яких упаковок можна виділити саше (для порційних упаковок), дой-паки (зручні для зберігання та використання), флоу-паки (для паштетів, сирних намазок, джемів) та плівку (для фруктових смузі).

1. Тип пакету: пакети "саше", дой-пак, флоу-пак, тришовний пакет, пакет "стік", спеціальні типи пакетів.

2. Тип дозування: об'ємне дозування, вагове дозування, дозування за рівнем

3. Продуктивність:

- Низька продуктивність (до 10 пакетів/хвилину)
- Середня продуктивність (10-50 пакетів/хвилину)
- Висока продуктивність (понад 50 пакетів/хвилину)

4. Ступінь автоматизації: ручні машини, напівавтоматичні машини, автоматичні машини.

5. Додаткові функції: дататори, принтери етикеток, системи контролю якості, інші додаткові функції.

Рис.1.2. Типи м’яких упаковок

1. Стік: Тристороння герметична упаковка у вигляді туби з одним вертикальним швом (задній шов) і двома горизонтальними швами (верхній і нижній).

Переваги: Компактність та зручність у транспортуванні. Легко відкривати та використовувати. Зберігає свіжість та аромат продукту. Забезпечує порційне дозування. Має естетичний вигляд.

Недоліки: Відносно висока вартість. Не підходить для продуктів з великими шматками.

Приклади продуктів: згущене молоко, джем , соус, майонез, мед, дитяче харчування, косметичні маски

2. Саше: Прямокутний або квадратний пакет з трьома або чотирма швами по периметру.

Переваги: Низька вартість. Простий у виготовленні. Можливість друку інформації на упаковці. Підходить для продуктів з великими шматками.

Недоліки: Менш зручний у транспортуванні, порівняно зі стіком. Не завжди гарантує порційне дозування. Може втрачати форму при натисканні.

Приклади продуктів: кетчуп, гірчиця, майонез, соуси, дитячі пюре сніданки, джем - чай

3. Тришовний пакет: Простий та дешевий вид упаковки, що використовується для фасування в'язких продуктів.

4. Пакет "Дой-пак": Зручний та компактний пакет з дном, що стоїть, використовується для фасування рідких та в'язких продуктів.

5. Флоу-пак: Плоский пакет, що формується з рулону плівки, використовується для фасування сипучих та в'язких продуктів.

При виборі виду упаковки для в'язкого продукту важливо враховувати:

- Властивості продукту: Тип продукту, його консистенція, наявність шматків, термін зберігання.

- Економічні фактори: Вартість упаковки, тираж продукції.
- Маркетингові фактори: Зручність використання, привабливість упаковки, можливість нанесення інформації.

1.1.1. Загальний огляд компановок пакувальних машин, призначених для в’язких харчових продуктів

Машина вертикального типу, призначена для пакуваня в’язкої продукції “Автомат МА-500 (Інта) ”. Це це вертикальна пакувальна машина, що складається з наступних основних компонентів:

1. Завантажувальний бункер: призначений для ручного завантаження в'язкої продукції. Розмір та форма бункера можуть варіюватися залежно від типу продукту та розміру пакетів.

2. Дозатор: Відмірює та подає продукт у формувальний канал. Тип дозатора залежить від в'язкості продукту та необхідної точності дозування.

3. Формувальний канал:Створює пакет з рулонної плівки.Форма та розміри каналу визначають розмір та форму пакетів.

4. Зварювальний блок: Зварює шви пакетів, герметизуючи їх.

Тип зварювального блоку залежить від типу плівки, що використовується.

5. Система охолодження: Охолоджує зварені шви, щоб пакети могли штабелюватися.

6. Вивантажувальний конвеєр: забезпечує подачу готових пакетів з машини. МА-500 має компактну конструкцію, що робить її ідеальною для невеликих виробничих приміщень. Займає мінімум місця на виробничій лінії. Машина має модульну конструкцію, що дозволяє легко налаштовувати її для різних типів продуктів та розмірів пакетів. Це робить МА-500 універсальною та гнучкою пакувальною машиною. Доступні додаткові опції, такі як автоматичне завантаження, система датування, друк етикеток. Ці опції можуть бути корисними для деяких виробництв, але вони збільшують вартість машини.

характеристика	значення
Продуктивність, уп / хв	до 30
Обсяг дози, см ^ 3 (мл)	100 - 500
Ширина рулону плівки, мм, до	320
Ширина пакета, мм	150
Довжина пакета, мм	до 170
Пакувальний матеріал	поліетилен
Максим. діам. рулону, мм	400
Параметри мережі живлення	220В, 50Гц
Габарити, мм, не більше	1500x1500x1700
Маса, кг, не більше	230

Рис. 1.1.1. Загальний вид автомата - МА-500

До основних недоліків даної пакувальної машинидля в'язких продуктів віднесено наступне. Відносно висока вартість: Ціна може бути занадто високою для малих підприємств.

Обмеження розмірів пакетів: Машина не може пакувати великі або нестандартні пакети. Необхідність ручного завантаження: Продукти завантажуються вручну, що може знизити загальну продуктивність.

Відсутність деяких додаткових функцій: Деякі інші пакувальні машини на ринку мають додаткові функції, яких немає у МА-500, такі як автоматичне завантаження, система датування, друк етикеток.

Машина вертикального типу для в'язкої продукції, пакування у пакет саше

Автомат ІН-П3 – це фасувально-пакувальне обладнання, яке використовується для роботи з рідкими та пастоподібними продуктами, такими як згущене молоко, джем, соуси тощо.

Автоматичне формування пакетів: Машина самостійно формує 3-х шовні пакети з плоскої плівки.

характеристика	значення
Продуктивність, уп / хв	до 40
Обсяг дози, см ^ 3 (мл)	2-15, 15-50, 50-150
Ширина рулону плівки, мм, до	240
Ширина пакета, мм	40 - 120
Довжина пакета, мм	70 - 120
Пакувальний матеріал	багатошарові плівки, поліпропілен
Максим. діам. рулону, мм	40
Параметри мережі живлення	220В, 50Гц
Встановлена потужність, кВт	0,5
Габарити, мм, не більше	1100x800x1700
Маса, кг, не більше	120

Рис. 1.1.2. Машина ІН-ПЗ упаковка в’язких продуктів в пакет саше

Основні технологічні операції автомату ІН-ПЗ:

- Дозування продукту: Автоматичне дозування заданого об'єму продукту в пакети.
- Заварювання та відрізання пакетів: Герметичне заварювання та відрізання готових пакетів.
- Проставлення дати: Нанесення на пакети дати виробництва.
- Ефективність: Автоматичний режим роботи забезпечує високу продуктивність та економить час.
- Універсальність: Можливість роботи з різними рідкими та пастоподібними продуктами.
- Якість: Герметичне заварювання гарантує збереження свіжості та якості продуктів.

- Інформативність: Проставлення дати виробництва надає покупцям важливу інформацію про продукт.

Машина вертикального типу для пакуваня в’язкої продукції в пакети стік

Пакувальна машина "ІН-СТІК-П" – це автоматизоване обладнання, призначене для фасування та пакування рідких і пастоподібних продуктів, таких як згущене молоко, джем, соуси тощо, в пакети типу "Стік". Пакувальна машина оснащена наступними технічними лпераційними властивостями:

характеристика	значення
Продуктивність, уп / хв	70
Ширина рулону плівки, мм, до	165
Ширина пакета, мм	до 35
Довжина пакета, мм	145
Пакувальний матеріал	багатошарові плівки, поліпропілен
Максим. діам. рулону, мм	400
Параметри мережі живлення	220В, 50Гц
Встановлена потужність, кВт	1
Габарити, мм, не більше	950x1150x1900
Маса, кг, не більше	200

Рис. 1.1.3. Машина ІН-ПЗ призначена для пакування у пакет саше

- Автоматичне формування пакетів: Машина самостійно формує 3-х шовні пакети "Стік" з рулону плоскої плівки.
- Дозування продукту: Автоматичне дозування заданого об'єму продукту в пакети.
- Заварювання та відрізання пакетів: Герметичне заварювання та відрізання готових пакетів.
- Проставлення дати: Нанесення на пакети дати виробництва.

- Висока продуктивність: Завдяки 2-х потоковому виконанню машина може виробляти до 70 пакетів на хвилину.

Перевагами даного компанувального рішення є:

- Ефективність: Автоматичний режим роботи економить час та забезпечує високу продуктивність.
- Зручність: Пакети "Стік" зручні для порційного використання.
- Якість: Герметичне заварювання гарантує збереження свіжості та якості продуктів.
- Інформативність: Проставлення дати виробництва надає покупцям важливу інформацію про продукт

Автомат для пакування в’язкої продукції

в пластикові стаканчики

Автомат "М2" – це пакувальне обладнання, яке використовується для фасування та пакування рідких, пастоподібних продуктів, таких як сметана, йогурт, молоко, кефір, ряжанка, згущене молоко, кетчуп, майонез, джем, сиркова маса, вершкове і рослинне масло, маргарин, мед, гірчиця та інших продуктів подібної консистенції.

За функціональними можливостями можна відокремити наступне:

- Автоматичне дозування продукту: Машина автоматично дозує заданий об'єм продукту в пластикові стаканчики.
- Укладання стаканчика: Автоматичне розміщення стаканчика на платформі для пакування.
- Укладання та приварення кришки: Автоматичне розміщення алюмінієвої кришки на стаканчик та її герметичне приварення.
- Проставлення дати: Нанесення на кришки дати виробництва.

характеристика	значення
Продуктивність, уп / хв	до 25
Обсяг дози, см ^ 3 (мл)	100 - 500
застосовувана тара	Пластиковий стаканчик, діаметр 75 або 95 мм
Пакувальний матеріал	З алюмінієвої фольги
Параметри мережі живлення	220В, 50Гц
Встановлена потужність, кВт	0,4
Габарити, мм, не більше	800x900x1500
Маса, кг, не більше	155

- Рис. 1.1.4. Автомат М2 для пакування у пластиковий стаканчик (Інта)

Перевагами копановочного рішення є:

- Ефективність: Автоматичний режим роботи економить час та забезпечує високу продуктивність.
- Герметичність: Приварення алюмінієвої кришки гарантує збереження свіжості та якості продуктів.
- Інформативність: Проставлення дати виробництва надає покупцям важливу інформацію про продукт.
- Універсальність: Можливість роботи з широким спектром рідких та пастоподібних продуктів.

Автомат "М2" – це універсальне рішення для фасування та пакування рідких та пастоподібних продуктів в пластикові стаканчики з алюмінієвою кришкою.

Машина пакуваня в’язкої продукції у пакет - дой пак

характеристика	значення
Продуктивність, уп / хв	до 20
Обсяг дози, см ^ 3 (мл)	100 - 500
застосовувана тара	Пакет "Дой Пак"
Ширина пакета, мм	100 - 150
Довжина пакета, мм	130 - 250
Параметри мережі живлення	220В, 50Гц
Встановлена потужність, кВт	1
Витрата стисненого повітря, л / хв (при 0,6 МПа)	95
Габарити, мм, не більше	940x920x1710
Маса, кг, не більше	250

Рис. 1.1.5. Автомат М2 для пакування - пакет дой пак (Інта)

Машина вертикального типу – пакуваня для в’язкої продукції у пакети стік

Автомат ІН2-П4 – це фасувально-пакувальне обладнання, що використовується для фасування та пакування рідких і пастоподібних продуктів, таких як соус, томатна паста, згущене молоко, джем, соуси тощо, в пакети типу "саше".

За функціональними можливостями даний автомат здійснює:

- Автоматичне формування пакетів: Машина самостійно формує 4-х шовні пакети "саше" (в два потоки) з плоскої плівки.

- Дозування продукту: Автоматичне дозування заданого об'єму продукту в пакети.

- Заварювання та відрізання пакетів: Герметичне заварювання та відрізання готових пакетів.

- Проставлення дати: Нанесення на пакети дати виробництва.

- Висока продуктивність: Завдяки 2-х потоковому виконанню машина може виробляти до 140 пакетів на хвилину.

характеристика	значення
Продуктивність, уп / хв	до 70
Ширина рулону плівки, мм, до	до 280
Ширина пакета, мм	до 70
Довжина пакета, мм	до 140
Пакувальний матеріал	багатошарові плівки, поліпропілен
Максим. діам. рулону, мм	400
Параметри мережі живлення	220В, 50Гц
Встановлена потужність, кВт	0,6
Габарити, мм, не більше	1100x800x1700
Маса, кг, не більше	120

Рис. 1.1.6. Машина ІН-П4 пакування (пакет саше)

Перевагами даного технічного рішення є:

- Ефективність: Автоматичний режим роботи економить час та забезпечує високу продуктивність.

- Зручність: Пакети "саше" зручні для порційного використання.

- Якість: Герметичне заварювання гарантує збереження свіжості та якості продуктів.

Машина вертикального типу - пакуваня в’язкої та пастоподібної продукції (пакети філ пак)

Перевагами пакувальної машини ВПФ-П є:

- Висока продуктивність: До 30 пакетів/хвилину, що робить її ідеальною для середніх та великих виробництв.
- Універсальність: Можливість фасувати широкий спектр в'язкої та пастоподібної продукції.
- Простота використання: Зручне керування та легка очистка.
- Надійність: Висока якість компонентів та збірки гарантують тривалий термін служби машини.
- Компактність: Займає мінімум місця на виробничій лінії.

- Доступність запчастин: Запчастини до машини легкодоступні та недорогі.
- Сервісне обслуговування: Компанія "Інтермаш" пропонує кваліфіковане сервісне обслуговування своїх машин.

Продуктивність, уп / хв	до 20
Обсяг дози, мл	150-500мл; 400-1000мл
Ширина пакета, мм	до 200
Довжина пакета, мм	до 290
Пакувальний матеріал	поліетилен
Товщина плівки, мкм	до 100
Тиск стисненого повітря, МПа	0,6
Параметри мережі живлення	220В, 50Гц
Встановлена потужність, кВт	1,0
Витрата стисненого повітря, л / хв	200
Габарити, мм, не більше	1100x800x1700
Маса, кг, не більше	200

- Рис. 1.1.7. Машина (вертикальний тип) - пакуваня в’язкої пастоподібної продукції - пакети філ пак (компанії Інтермаш)

Недоліками пакувальної машини ВПФ-П є:

- Відносно висока вартість: Ціна може бути занадто високою для малих підприємств.
- Обмеження розмірів пакетів: Машина не може пакувати великі або нестандартні пакети.
- Необхідність ручного завантаження: Продукти завантажуються вручну, що може знизити загальну продуктивність.
- Відсутність деяких додаткових функцій: Деякі інші пакувальні машини на ринку мають додаткові функції, яких немає у ВПФ-П, такі як автоматичне завантаження, система датування, друк етикеток.

1.1.2. Аналіз будови машин для пакування в’язкої харчової продукції.

Сучасні пакувальні машини для в'язких харчових продуктів стають все більш популярними через зростаючий асортимент продуктів, нові матеріали та типи упаковок. Ці багатопозиційні та послідовні машини мають модульну структуру, що дає їм ряд переваг: гнучкість (можливість компонувати різні модулі для створення машин з різними характеристиками), швидкість (легко адаптувати до нових продуктів та форматів упаковки) та ефективність (зниження витрат та підвищення продуктивності). Модулі виконують три основні функції: передача продуктів через машину, привод рухомих елементів та контроль та управління роботою. Завдяки своїй модульній структурі, такі машини універсальні (можуть пакувати широкий спектр продуктів), легко переналагоджуються на нові формати упаковки, прості в обслуговуванні (модульна конструкція полегшує ремонт та заміну деталей) та надійні (використання стандартних модулів гарантує високу надійність).

Пакувальні машини з модульною структурою - це гнучке, ефективне та надійне рішення для пакування в'язких харчових продуктів.

Модульний принцип - це метод побудови машин з різними характеристиками шляхом компонування типових модулів.

Переваги модульного принципу: гнучкість, швидкість, ефективність.

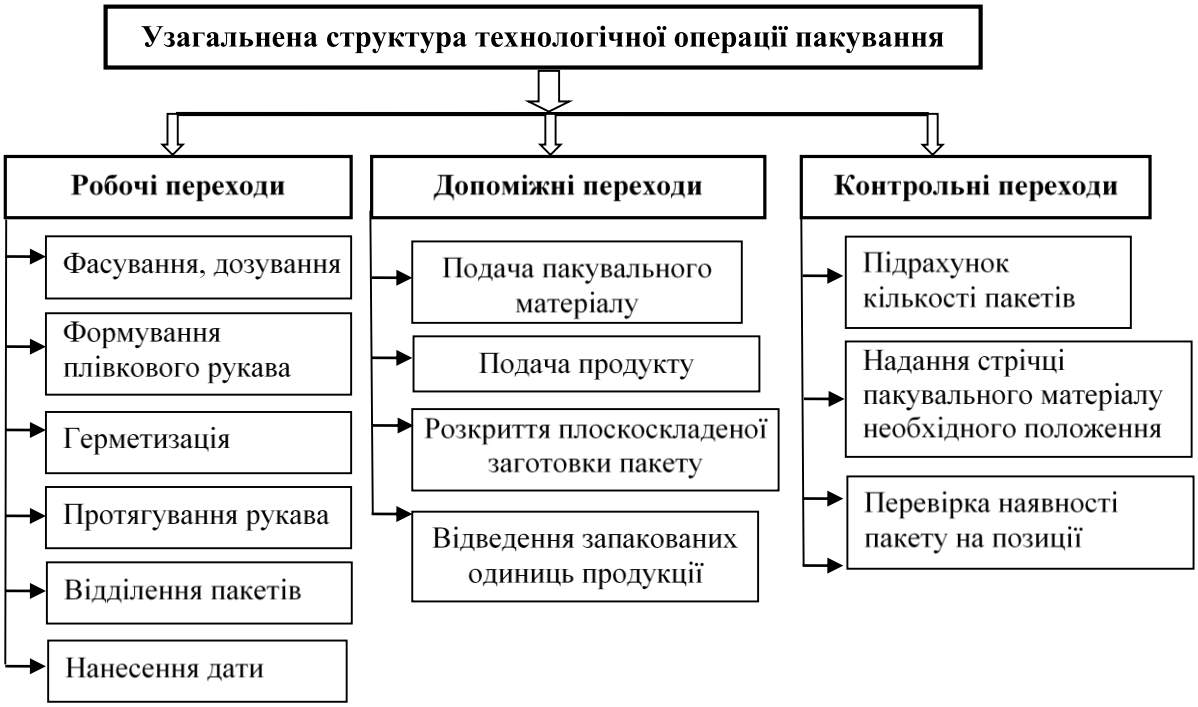


Рис.1.9. Структура пакувальної машини

Функції модулів: передача продуктів, привод рухомих елементів, контроль та управління роботою.

Пакування – це комплексний процес, що включає підготовку продукції, дозування, фасування та розміщення в упаковку. Він необхідний для транспортування, зберігання, реалізації та споживання продукту. Структура операції пакування може варіюватися, але зазвичай включає дозування (визначення та відмірювання необхідної кількості продукту), фасування (розподіл продукту на порції та розміщення їх в індивідуальну упаковку) та пакування (з'єднання порцій в групові або транспортні упаковки). Кількість та порядок цих модулів залежить від характеристик продукту та типу упаковки.

Службове призначення пакувальних машин (ПМ) визначається специфікою операції пакування, яку вони виконують. ПМ можуть бути дозувальними, фасувальними, пакувальними або комбінованими, що об'єднують кілька функцій. Різні типи ПМ використовуються для пакування продуктів харчової, хімічної, фармацевтичної та інших галузей промисловості. Вибір ПМ залежить від багатьох факторів, таких як тип продукту, його властивості, необхідна продуктивність, тип упаковки та бюджет.

Пакування – це важливий етап виробничого процесу, який впливає на якість, збереження та транспортування продукції. ПМ повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормам та вимогам безпеки.

Технологічна операція *пакування в’язкої харчової продукції у споживчу упаковку* – пакет, виготовлений із полімерної плівки, передбачає виконання ряду технологічних (робочих), допоміжних та контрольних переходів (рис. 1.10).

Рис. 1.10. Структурна схема узагальненої технологічної операції пакування в‘язких харчових продуктів

За вимогами ДСТУ 2515-2012 :

Перефразування термінів:

1. Фасування:

- Розміщення продукту в тару або пакувальний матеріал.
- Упакування продукту з попереднім або одночасним його дозуванням.

2. Дозування:

- Відмірювання необхідної кількості продукту.
- Визначення потрібної порції продукції за допомогою рахунку, маси або об'єму.

3. Подача пакувального матеріалу:

- Переміщення рулонних пакувальних матеріалів (стрічки) до зони їх використання.
- Транспортування пакувального матеріалу до місця фасування.

4. Формоутворення рукава:

- Створення заготовки упаковки з плівки.
- Протягування плівки через нерухомі формоутворювачі для формування пакувального рукава.

5. Герметизація:

- Закривання тари після розміщення в ній продукту.
- Забезпечення збереження продукту шляхом герметичного закривання упаковки.

6. Герметизація упаковки із стрічкових полімерних матеріалів:

- З'єднання поздовжнього та поперечного швів пакета для герметизації.
- Термозварювання швів пакета для забезпечення герметичності упаковки.

7. Зварювання пакувальних матеріалів:

- Створення нероз'ємного з'єднання пакувальних матеріалів.
- З'єднання пакувальних матеріалів під дією тепла, що призводить до часткового або повного зникнення межі розділу.

1.1.3.Типова структура машини для пакування в’язкої харчової продукції

Типова структура машини для пакування в'язкої харчової продукції відповідає структурі технологічного процесу пакування. Вона складається з трьох основних частин: функціональних пристроїв, системи приводу виконавчих механізмів та системи керування їх роботою. Функціональні пристрої реалізують технологічні переходи, з яких складається процес пакування, а система приводу забезпечує їх роботу. Система керування координує роботу всіх компонентів машини.

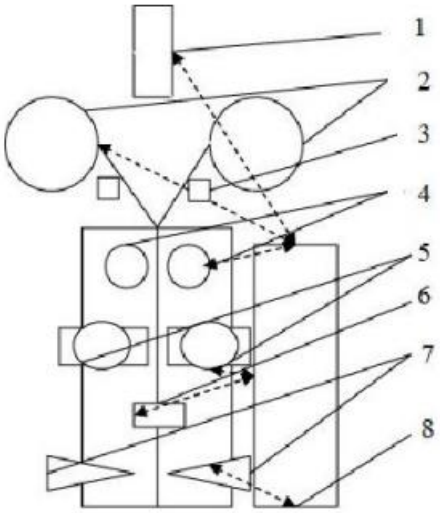


Рис. 1.11. Типова структура машини упаковування в’язкої харчової продукції

Рис.1.11. описує послідовність операцій, які виконує машина для пакування в'язких продуктів: 1 - дозатор відмірює порцію продукту, 2 - плівка з рулонів просувається механізмом протягування, 3 - механізми поздовжнього та поперечного зварювання формують пакет, 4 - механізм нанесення дати друкує дату на пакеті, 5 - готовий пакет відрізається від плівки, 6 - блок керування координує роботу всієї машини.

Оскільки кожен функціональний пристрій – це самостійна система з механізмами, об'єднаними спільним завданням, їх можна розглядати як функціональні модулі (ФМ).

Пакувальна машина (ПМ) з точки зору функціонально-модульної будови – це система, що складається з ФМ, з'єднаних між собою. З'єднання може бути прямим через стиковочні поверхні або опосередкованим – через раму/каркас та перехідні корпусні деталі, які забезпечують необхідне положення ФМ.

Така модульна структура робить ПМ гнучкими та адаптивними до різних завдань пакування. Заміна або модифікація ФМ дозволяє змінювати функціональні можливості машини, розширюючи її асортимент продукції, що пакується, або модифікуючи параметри упаковки.

Модульний принцип також спрощує процес техобслуговування та ремонту ПМ, адже ремонтні роботи можна зосередити на конкретному модулі, не зачіпаючи інші.

В цілому, функціонально-модульна будова робить ПМ більш надійними, зручними в експлуатації та економічними.

Таблиця 1.1

Назва функціонального пристрою	**Визначення за ДСТУ 2379-94**
Фасувальний пристрій	пристрій для вміщення продукції в тару чи пакувальний матеріал з попереднім або одночасним дозуванням продукції
Дозатор	пристрій для відмірювання певної кількості продукції за рахунком, масою, чи об'ємом
Рулонотримач	пристрій для установлення, фіксування, уповільнення та зупинки руху рулонів пакувальних матеріалів
Пристрої подачі рулонних (стрічкових) пакувальних матеріалів	
стрічкорозмотувач	пристрій для розмотування стрічок (-чки) пакувальних матеріалів з рулонів та подавання їх (її) на подальші операції
стрічкоподавач	пристрій для переміщення стрічок (-чки) рулонних пакувальних матеріалів в зону використання їх (її) під час пакування продукції з поділом стрічок (-чки) на окремі заготовки
стрічкогальмівний пристрій	пристрій для сповільнення та зупинки руху стрічок (-чки) пакувальних матеріалів
стрічко-амортизувальний пристрій	пристрій для зменшення коливань натягу стрічок (-чки) пакувальних матеріалів під час руху шляхом нагромадження запасу цих (цієї) стрічок (-чки) між рулонами та іншими частинами стрічкоподавача
стрічконапрямний пристрій	пристрій для збереження або зміни напрямку руху стрічок (-чки) пакувальних матеріалів і (або) надання стрічкам (-чці) жолобчастого чи іншого профілю
стрічкорозрізувач	пристрій для поділу стрічок (-чки) пакувальних матеріалів на окремі заготовки
стрічкозаправний автоматичний пристрій	пристрій для безперебійної роботи стрічкоподавача під час закінчення розмотування стрічки запасного рулона в стрічкорозмотувач без участі людини
Рукавоутворювач	пристрій для виготовлення рукава стрічки пакувального матеріалу склеюванням, термосклеюванням чи зварюванням
Зварювальний пристрій	пристрій для утворення нероз'ємного з'єднання пакувальних матеріалів під дією тепла
Відвідний пристрій	пристрій для переміщення пакувальних одиниць (наповненої продукцією тари) із зони загортання, фасування, закупорення.
Живильник	пристрій подачі продукції до робочих органів пакувального устаткування

Функціональні пристрої за ДСТУ 2379-94

Назва функціональ-ного пристрою

Визначення (ДСТУ 2379-94)

Фасувальний пристрій
це система, що дозує та пакує продукт, розміщуючи його в тару або пакувальний матеріал.

Дозатор
це пристрій, який відмірює потрібну кількість продукції за рахунком, масою або об'ємом.

Рулонотримач
– це система, яка розмотує, натягує, центрує, зупиняє та фіксує рулони пакувального матеріалу.

Пристрої подачі рулонних (стрічкових) пакувальних матеріалів

стрічкорозмотувач
це система, яка розмотує стрічку з рулону та подає її для наступних операцій пакування.

стрічкоподавач
– це система, яка розмотує стрічку з рулону, транспортує її до зони пакування та розрізає на заготовки для обгортання продукції.

стрічкогальмівний пристрій
пристрій сповільнення і зупинки руху стрічок (-чки) пакувальних матеріалів

стрічко-амортизувальний пристрій
пристрій зменшення коливань, щодо натягу стрічок (-чки) для пакувальних матеріалів під рухом , коли є нагромадження запасу цих (цієї) стрічок (-чки) між рулонами і іншими частинами стрічкоподавача

стрічконапрямний пристрій
пристрій збереження і зміни напрямку руху стрічок (-чки) для пакувальних матеріалів і (або) надання стрічкам (-чці) у жолобчастого чи іншого профілю

стрічкорозрізувач
пристрій поділу для стрічок (-чки) пакувальних матеріалів у окремі заготовки

стрічкозаправний автоматичний пристрій
пристрій безперебійної роботи для стрічкоподача за час закінчення розмотування стрічки запасного рулона у стрічкорозмотувач без участі людини

Рукавоутворювач
пристрій виготовлення рукава стрічки пакувального із матеріалу склеюванням, термосклеюванням або зварюванням

Зварювальний пристрій
пристрій утворення і нероз'ємного з'єднання у пакувальних матеріалів за дією тепла

Відвідний пристрій
пристрій переміщення пакувальних одиниць (наповненої харчовою продукцією тари) з зони фасування,загортання, закупорення.

Живильник
пристрій *для* подачі продукції щодо робочих органів пакувального устаткування

На рисунку 1.11 представлено три основних типи фасувальних машин (ФМ) за функціональною ознакою:

1. Технологічні (робочі):

Ці машини безпосередньо контактують з продуктом, змінюючи його форму, розміри, фізико-механічні властивості та структуру.

Приклади: дозатори, формувальні машини, зварювальні машини.

2. Допоміжні:

Ці машини виконують транспортно-накопичувальні та допоміжні операції, необхідні для безперервного процесу виготовлення продукту.

Приклади: транспортери, накопичувальні бункери, елеватори.

3. Контрольні:

Ці машини виконують контрольно-вимірювальні операції, щоб перевірити відповідність продукту заданим параметрам.

Приклади: ваги, детектори металу, контролери якості.

Таким чином, ФМ поділяються на три групи, кожна з яких виконує specifісні функції, необхідні для фасування продукції.

Розглянемо деякі основні із них більш детально.

Бункер:

- Резервуар (ємність) для накопичення та короткочасного зберігання продукції перед дозуванням.
- Різновиди: конічні, циліндричні, циліндроконічні, параболічні; з/без зворушувача.

Дозатор:

- Виконує фасування в'язкої харчової продукції.
- Типи: вагові та об'ємні.
- Вагові: зважування важільним або тензометричним пристроєм.
- Об'ємні: відмірювання за об'ємом.

Рукавоутворювач:

- Формує плівковий рукав для упаковки.
- Способи: вертикальний та горизонтальний.
- Вертикальний: труба з комірцевою поверхнею (визначає форму рукава).
- Горизонтальний: система роликів/направляючих.

Зварювальний пристрій:

- Створює поздовжні та поперечні шви упаковки.

Поздовжнє зварювання:

- Утворення поздовжніх швів пакетів.
- Дискретне (лінійний тип) або неперервне переміщення плівки.
- Лінійний тип: розігріті губки, зворотно-поступальний рух.
- Неперервне: розігріті ролики.

Поперечне зварювання:

- Утворення верхнього та нижнього швів пакета.
- Здвоєні горизонтально розташовані зварні губки.
- Термоконтактне, термоімпульсне або комбіноване зварювання.

Механізм протягування:

- Переміщення плівкового рукава на крок, що відповідає розміру пакета.
- Ролики або стрічковий механізм.

- Зчеплення з плівкою: розрідження або сили тертя.

Механізм відрізання:

- Відділення готової упаковки від рулонного матеріалу.
- Електричні (розплавлення) або механічні (лезо/протиопора).
- Зворотно-поступальний/коливальний або обертовий рух леза.
- Різноманітні форми леза/протиножа.

Датувальний пристрій:

- Нанесення на упаковку інформації, що змінюється (термін придатності, дата виготовлення, номер серії, партії).

1.2. Напрями і методи вдосконалення компонувань машин для пакування в'язкої харчової продукції.

Машини пакування для в'язкої харчової продукції, які характеризуються широкою різноманітністю щодо компонувань , і які можна розрізняти за наступними основними ознаками (рис. 1.12):

Рис. 1.12. Опис компонування машин пакування для в'язкої харчової продукції

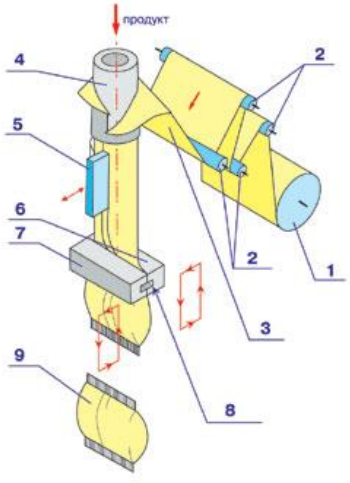
Машини пакування для в'язкої харчової продукції складаються з бункера для зберігання продукту, дозатора для точного його дозування,

формувальника упаковки, який створює її з рулонного матеріалу, заповнювача для переміщення продукту в упаковку, закривника для запечатування упаковки, транспортера для переміщення упаковки по всій машині, системи управління для контролю роботи машини, а також додаткового обладнання, такого як дататори, етикетувальники, кодувальники та системи контролю якості. Компонування машини залежить від типу продукту, упаковки, продуктивності, рівня автоматизації та додаткових функцій. Важливо ретельно вивчити всі доступні варіанти та вибрати машину, яка відповідає технічним потребам:

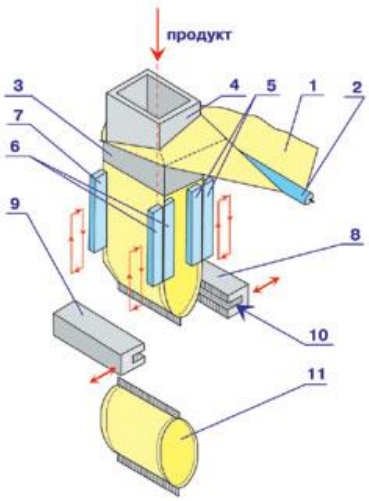
- *за характером щодо міжпозиційного переміщення виробу*:

1 – Дискретний процес характеризується переміщенням виробу на крок між робочими позиціями та виконанням технологічних переходів під час зупинки руху виробу. (рис. 1.13, *а-г*; 1.13, *а*);

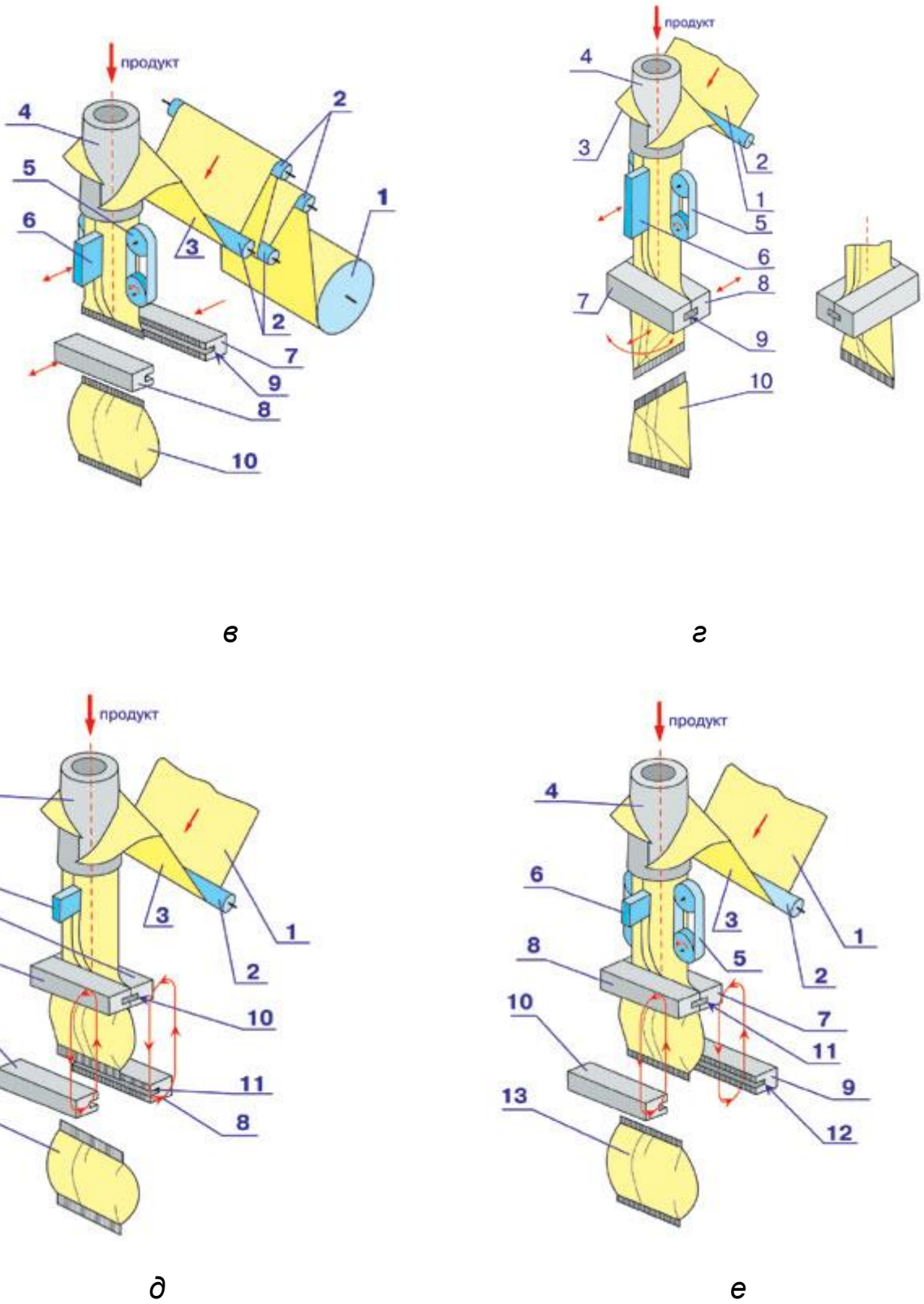
2 – Безперервний процес передбачає проходження виробу через усі позиції без зупинок, а технологічні переходи здійснюються без пауз. (рис. 1.13, *д-е*; 1.14, *б*);



а



б

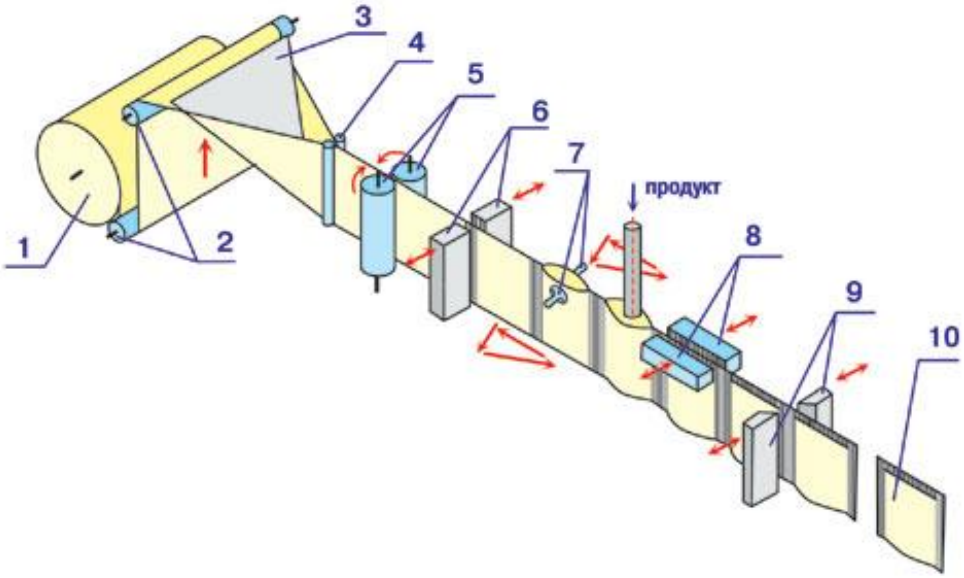


в *г*

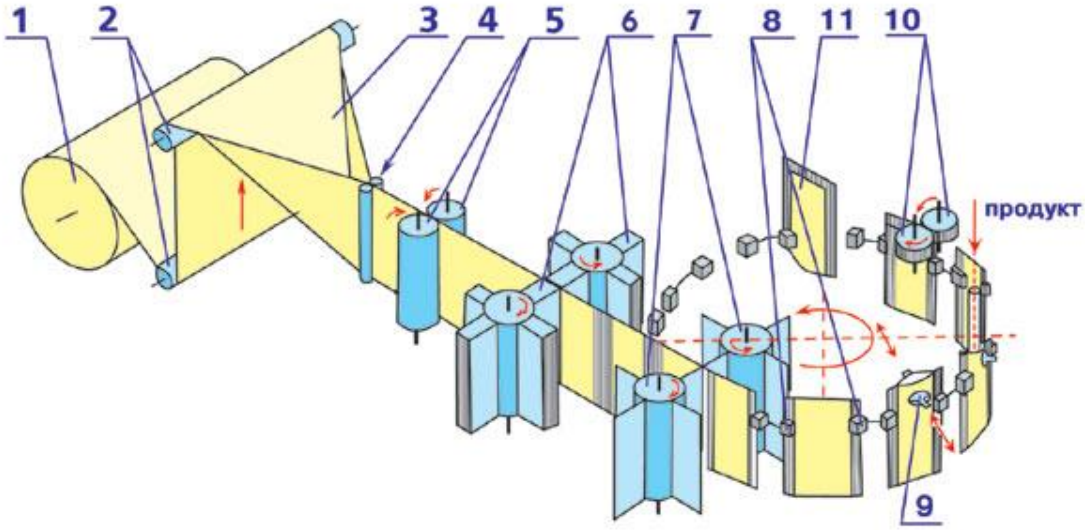
д *е*

Рис. 1.13. компонування функціональних модулів в машинах для пакування в'язкої харчової продукції нахиленого (а) та вертикального (б-з) типу:

1 – рукавоутворювач; *2 – механізм для протяжки*; *3 – механізм для поздовжнього зварювання*; *4 – механізм для поперечного зварювання*; *5 – механізм для подачі плівки*; 6 – механізм для відрізання; 7 – рулонотримач; 8 – механізм для формування стоячого пакета.



а) горизонтально-лінійні



б) лінійно-роторні

Рис. 1.14. Горизонтально лінійне (а) та лінійно-роторні (б) компонування машини пакування для в’язкої харчової продукції:

а) 1 – рулон; 2 – натяжні механічні валки ;3- механізм рукавоутворвач; 4,5 – ролики для протяжки; 6 – пристрій зварювання для бокових швів; 7 – вакуумний захват; 8 – пристрій для зварювання поперечного шва; 9 – механізм для відрізання;

б) 1-рулон ; 2 – натяжні механічні валки;3-рукавоутворвачі; 4,5 – ролики протягування, 6 – пристрій зварювання для бокових швів; 7 – роторні елементи - відрізні ножі; 8 – вакуумні захоплювачі; 9 – механізм розкриття;10 – ролики для запечатування;

Методи модифікації компонування машин:

- Розділення: складні механізми розбиваються на окремі.
- Об'єднання: механізми різного призначення сполучаються.
- Інверсія: один механізм замінюється іншим, або змінюється його розташування.

Найпоширеніші приклади об'єднання:

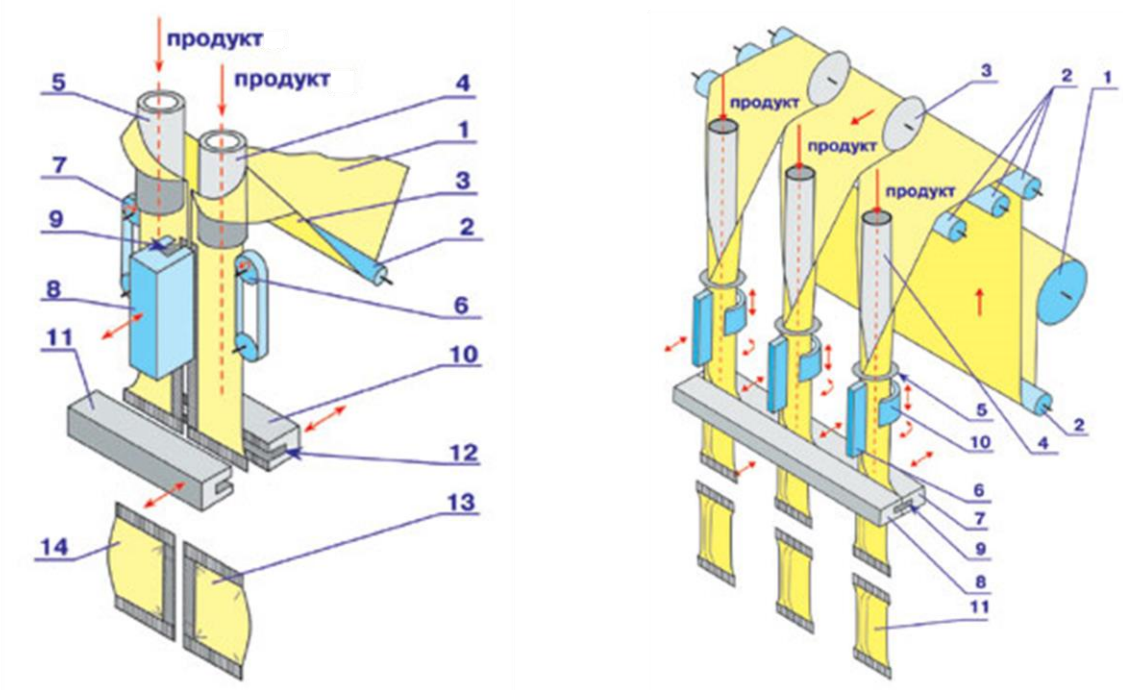
- Ніж, що відрізає пакет, вмонтований в механізм поперечного зварювання (рис. 1.15, а, б, ж).
- Термодатувальний пристрій, який витискає дату на зварному шві (рис. 1.15, а, б, ж).
- Зварювальний механізм протягує плівку під час зварювання (рис. 1.5, б, д, ж; 1.13, д).
- Поєднання механізмів поперечного та поздовжнього зварювання (рис. 1.13, є).

Кожен механізм приводиться в дію від окремого двигуна або пневмоциліндра. Поєднання та розділення функцій дає ефект лише там, де це логічно витікає з конструкції та призначення машини.

Необхідно ретельно зважувати всі аспекти перед внесенням змін.

Дублювання ФМ:

Введення до складу машини двох і більше ФМ одного й того ж функціонального призначення.



а *б*

Рис. 1.15 Компонування технологічних машин пакування для в'язкої харчової продукції із паралельно установленими однотипними модулями: а) 1 –плівка; 2 – натяжний ролик; 3 – пристрій рукавоутворювач; 4,5 – продуктопровод; 6,7 – механізм для протяжки; 8 – губка для поздовжнього зварювання; 9 – ніж; 10,11- губки для поперечного зварювання; 12- пристрій - відрізний ніж; 13,14 – пакет готовий наповнений продуктом.

б) 1- рулон пакувальної плівки;- 2- механізм натяжні ролики;3- дискові ножі; 4 - продуктопровод;5- опорне кільце;6- губки для поздовжньої зварювання;7,8- губки для поперечного зварювання задня 7; передня 8;9 – відрізні ножі;10 - щипці;11 –пакет готовий наповнений продуктом.

Приклади дублювання:

- Дві пари поперечних зварних губок для переходу від дискретної до неперервної дії (рис. 1.13, д).
- Два рукавоутворювачі для формування секційної упаковки (рис. 1.15, а).
- Об'єднання однотипних ФМ для пакування в кілька пакетів одночасно (рис. 1.15, б).

Дублювання ФМ може значно підвищити продуктивність та функціональність машини.

Наступні розділи описують інші методи структурного вдосконалення машин.

Метод: резервування, подібний до дублювання.

Відмінність: два і більше однотипних елементів виконують технологічний перехід почергово або при відмові одного з них (рис. 1.13, г).

Види:

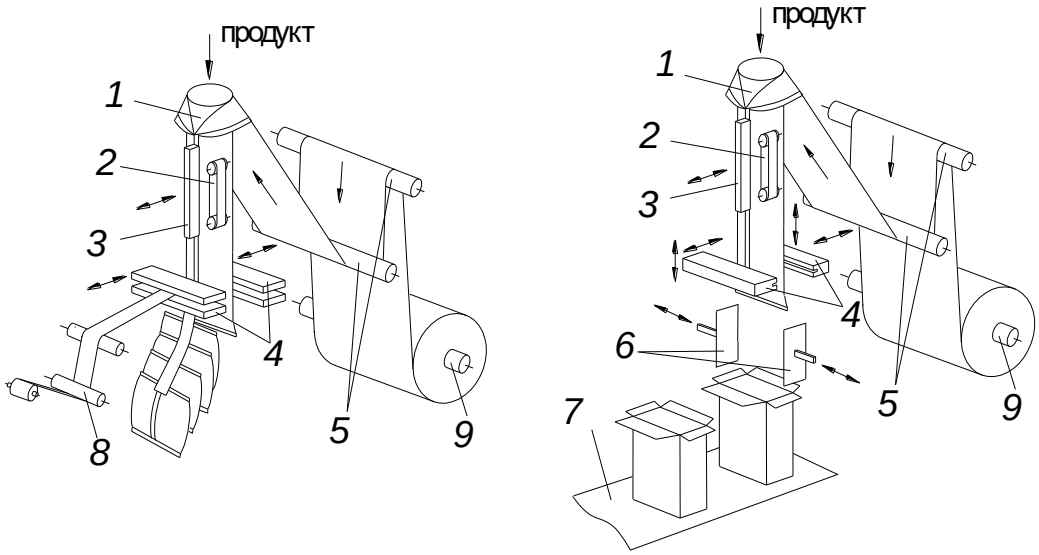
- Внутрішнє: резервна структура працює разом з основною.
- Зовнішнє: додаткова зовнішня структура замінює елементи, що відмовили.

Ускладнення машини: Додавання: додаткових ФМ для подальшої обробки готових упаковок.

Приклади:

- Пристрій кріплення пакетів до стрічки:
- Формує групову упаковку (рис. 1.16, а).
- Складається з вузла розмотування та вузла кріплення пакетів.
- Пристрій для формування комплексної упаковки:
- Вкладає пакети в картонну пачку (рис. 1.16, б).
- Оснащений бічними пластинами та підгиначами.

Резервування та ускладнення машини можуть значно підвищити її надійність та функціональність.



а *б*

Рис. 1.16. Компонування машин пакування для в'язкої харчової продукції з додатковим функціональним модулем:

а) із модулем для кріплення пакетів до смуги; б) яз модулем укладання пакетів у пачки; 1 – рукавоутворювачі; 2 – механізми протяжки; 3 – губки поздовжнього зварювання; 4 – механізми поперечного варювання; 5 – подаючий валковий пристрій; 6 – затискна пластина; 7 – транспортер; 8 – механізми подачі стрічки, 9 – рулонотримачі

Аналіз конструктивних особливостей машин для пакування в'язкої харчової продукції демонструє їх розвиток у двох ключових напрямках: розширення функціональних можливостей та підвищення ефективності роботи.

Підвищення продуктивності досягається за рахунок скорочення тривалості дозування та зварювання швів, а також застосування багатопотокового пакування в окремі пакети.

Підвищення точності дозування забезпечується розбиттям мірної камери дозатора на секції та поетапним її заповненням.

Підвищення універсальності машин дає можливість виготовляти упаковки різних типорозмірів завдяки переналагодженню механізму протяжки плівки, механізму поперечного зварювання та пристрою центрування пакувального матеріалу.

Автоматизація процесу пакування здійснюється за допомогою програмно керованого пристрою, який керує роботою рухомих механізмів, регулює роботу багатокомпонентного дозатора, забезпечуючи створення суміші з заданою пропорцією компонентів, а також контролює положення стрічки пакувального матеріалу при її подачі на запаковування.

Підвищення якості упаковки йде в двох напрямках:

- Надійність та цілісність:
  - Механізм охолодження зварних швів.
  - Роликовий транспортер для відведення готових упаковок.
  - Опорні лапки для підтримування дна пакетів.
- Естетичний вигляд та споживчі властивості:
  - Механізм формування внутрішніх бокових складок.
  - Підгортання дна упаковки.
  - Формування кутових швів на гранях пакету.
  - Механізми розгладжування плівкового рукава в поперечному напрямку.

1.3. Показники, щодо ефективності роботи машини для упаковування в’язкої харчової продукції

Показники ефективності роботи пакувальних машин (ПМ). ПМ створюються для виконання конкретних технологічних операцій, результатом яких є задана кількість продукції певної якості. Оцінка результату роботи ПМ здійснюється за допомогою показників ефективності, які поділяються на економічні та технічні (рис. 1.17).

Економічна ефективність роботи ПМ оцінюється за допомогою вартісних показників: Капітальні витрати на створення ПМ, які залежать від вартості окремих ФМ. Питомі зведені витрати на одиницю продукції, які залежать від: Собівартості виготовлення одного виробу (с).

Питомих капітальних витрат на виробничі фонди (k), що визначаються відношенням капітальних витрат на виробничі фонди (К) до річної програми випуску виробів (Np).

Розрахунок питомих зведених витрат:

Сзв = с + Ен * k

де: Сзв - питомі зведені витрати; с - собівартість виготовлення одного виробу; Ен - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень. Інші показники економічної ефективності: Рентабельність; термін окупності капітальних вкладень.технічні показники характеризують: продуктивність пм; точність роботи; надійність пм; енергоємність.

$$w = c + E_í k = c + E_í \frac{K}{N_p}; \qquad (1.1)$$

• /собівартість у виготовленні одиниці продукції, із визначенням якої враховується і трудомісткість виготовлення виробу Пф, де похвилинна зарплата робітника Sp, і амортизаційний коефіцієнт α, балансова вартість ПМ А, кількість паралельно працюючих для технічних об'єктів, які виконують одну і ту саму функцію а ; річна програма для випуску Np:

$$c = 1{,}15 П_ф S_p + \frac{0{,}12A}{N_p} a \qquad (1.2)$$

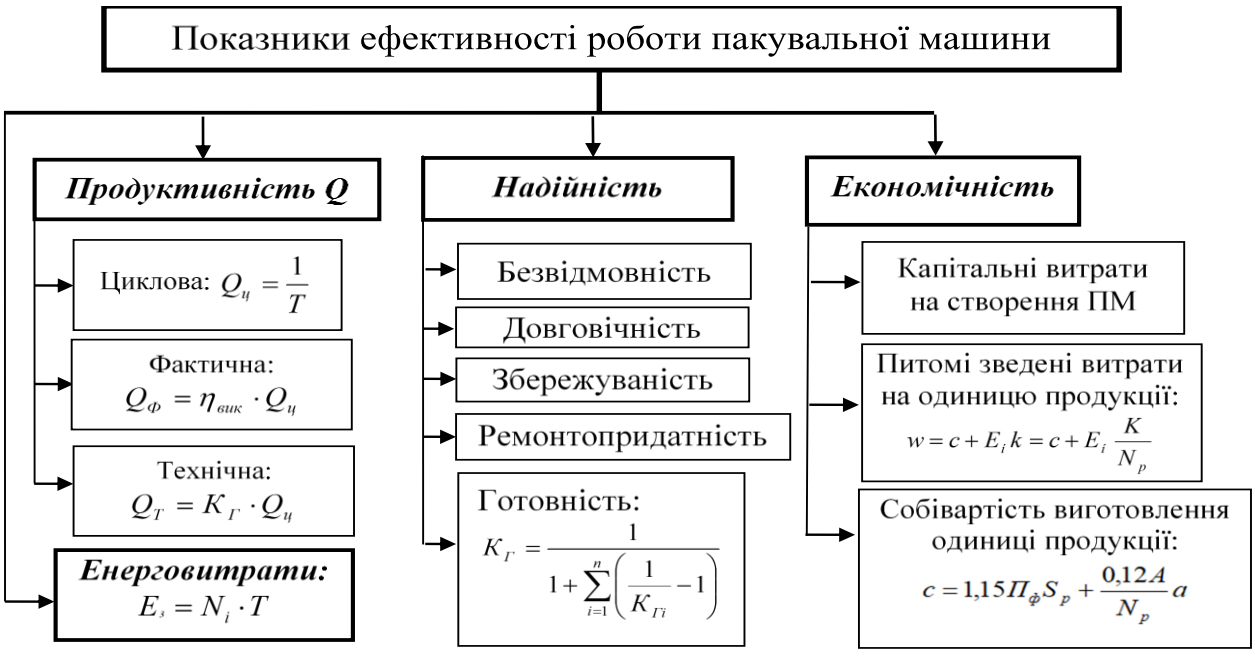


Рис. 1.17. Основні техніко-економічні показники оцінювання для ефективності роботи у пакувальних машин

Економічні показники не дають чіткої картини ефективності роботи ПМ, адже не пов'язані з конструктивними особливостями машини. Тому важливо використовувати технічні показники: надійність, продуктивність, точність, гнучкість, енерговитрати, технологічність. Ці показники дають уявлення про службове призначення та можливості ПМ. Надійність характеризує безвідмовність роботи ПМ протягом заданого часу. Продуктивність визначає кількість продукції, що випускається машиною за одиницю часу. Функціональна точність описує відповідність характеристик продукції заданим параметрам. Гнучкість показує, як легко машина може переналаштовуватися на випуск інших продуктів. Енерговитрати визначають кількість енергії, що використовується машиною. Технологічність характеризує зручність та простоту обслуговування, ремонту та налаштування ПМ.

Надійність - це здатність ПМ протягом певного часу зберігати задані параметри, що характеризують її працездатність у певних режимах та умовах.

Взаємозв'язок між надійністю та ефективністю:

- Оцінка втрат ефективності: визначається, як втрати продуктивності, точності, енергоефективності через відмови ПМ.
- Встановлення граничного значення втрат: визначається допустимий рівень зниження ефективності, при якому ПМ вважається непрацездатною.

Показники надійності:

- Безаварійність: ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу.
- Довговічність: тривалість експлуатації ПМ до настання граничного стану.
- Ремонтопридатність: здатність ПМ до відновлення працездатності після відмови.
- Збережуваність: здатність ПМ зберігати свої характеристики протягом зберігання та транспортування.

Показники безвідмовності:

- Напрацювання на відмову: час роботи ПМ між відмовами.
- Ймовірність безвідмовної роботи: ймовірність того, що ПМ не відмовиться протягом заданого часу.
- Ймовірність відмови: ймовірність того, що ПМ відмовиться протягом заданого часу.

Ймовірність для безвідмовної роботи і ймовірність щодо відмови взаємопов’язані:

$$P(t_i) = 1 - F(t_i). \quad (1.3)$$

Щодо середньогго напрацювання на відмову mt –

Середнє напрацювання на відмову (MTBF) - це показник надійності відновлюваного об'єкта, який визначається як відношення напрацювання до математичного сподівання числа відмов протягом цього напрацювання, і показує, скільки в середньому об'єкт може працювати без відмов. Визначається як:

$$m_t = \frac{1}{n}\sum_{i=n}^{n} t_i \, . \quad (1.4)$$

Інтенсивність відмов λ – це умовна ймовірність відмови невідновлюваного об'єкта в одиницю часу за умови, що він пропрацював без відмов до цього моменту.

Для оцінки ПМ найчастіше використовують коефіцієнт готовності (КГ), який показує ймовірність того, що машина буде працездатною у будь-який момент часу, окрім запланованих простоїв.

$$K_\Gamma = \frac{m_t}{m_t + m_B}, \quad (1.5)$$

/де – це середня тривалість щодо відновлення працездатності ПМ.

$$K_Г = P_0 = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)} = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{K_{Гi}}-1\right)}, \quad (1.6)$$

де Р0 – ймовірність стану ПМ в працездатному стані; μі – інтенсивність для відновлень на працездатість ПМ.

Величина, яка обернена до коефіцієнту готовності, ц називається коефіцієнтом щодопростоювання КП, що визначається

$$K_П = 1 - K_Г . \quad (1.7)$$

/Під час визначеня коефіцієнту готовності не беруть до уваги періоди часу для планового технічного обслуговування. Такі періоди часу враховуються як елемент показника функціонування машини – коефіцієнту технічного використання ηТ. Визначається відношенням математичного сподівання для інтервалів часу, де ПМ була у працездатному стані протягом для деякого періоду експлуатації, і до суми математичних сподівань інтервалів триволості стану ПМ у працездатному стані ti, для простоювань, обумовлених технічним обслуговуванням тт.о. ; ремонтом tBi у даний період експлуатації:

$$\eta_T = \frac{\sum t_i}{\sum t_i + \sum t_{Bi} + \sum t_{T.O.}}, \quad (1.8)$$

∑тт.о. – сумарний час для технічного обслуговування у заданий період експлуатації.

Продуктивність - це важливий показник ефективності ПМ, який визначає кількість продукції, випущеної за одиницю часу.

Циклова продуктивність ПМ дискретної дії розраховується як обернена величина тривалості робочого циклу (Т), тобто кількість виробів, виготовлених за один цикл:

Пц = 1 / Т

Теоретична (максимальна) продуктивність ПМ визначається за умови безперервної роботи протягом години: Пт = 60 / Т

Практична (експлуатаційна) продуктивність завжди менша за теоретичну, адже вона враховує планові та непланові простої. $Q_ц = \frac{1}{T}$ (1.9)

Циклова продуктивність – показник ефективності ПМ, що не враховує його простоювань за час функціонування.

З урахуванням витрат часу щодо простоювання, фактична продуктивність буде:

$$\eta_{вик} = \frac{\tau_р}{\tau_р + \tau_п} = \frac{1}{1 + \frac{t_п}{T}} \quad (1.10)$$

$\eta_{вик}$ – коефіцієнт для використання ПМ, визначають з відношення тривалості безперервної роботи машини щодо сумарної тривалості роботт і простою. $\tau_р$ – час безперебійної роботи вузла; $\tau_п$ – час простоювань; $t_п$ – час простоювань ПМ, що припадає на один виріб.

$$Q_Ф = Q_ц \cdot \eta_{вик} = \frac{1}{T}\frac{1}{1 + \frac{t_п}{T}} = \frac{1}{t_р + t_д + t_п} \quad (1.11)$$

$t_р$ – час робочих перходів; $t_д$ – час допоміжних перходів; $t_п$ – час простоювань. Втрати часу на простої поділяються на три категорії:

- Власні простої: зумовлені недосконалістю конструкції ПМ, низькою якістю виготовлення, несправностями та відмовами.

- Простої з організаційно-технічних причин: пов'язані з нестачею матеріалів, енергії, робочої сили, несправністю іншого обладнання, порушеннями технологічного процесу.
- Простої під час переналагодження: необхідні для переходу ПМ на випуск іншої продукції.

Аналіз причин простоювань показує, що лише власні простої пов'язані з якістю ПМ. Ці простої впливають на надійність машини протягом її роботи, яка, в свою чергу, залежить від конструкції та технологічного рівня виготовлення. Технічна продуктивність ПМ - це показник, який враховує вплив власних простоїв на фактичну випускову здатність машини. Вона вища за експлуатаційну продуктивність, адже не враховує простої з організаційно-технічних причин та простої під час переналагодження. Технічна продуктивність дає уявлення про максимально можливу вирібничу потужність ПМ, яку можна досягти за умови усунення всіх недоліків, пов'язаних з її конструкцією та якістю виготовлення:

$$Q_T = Q_ц \cdot \eta_T \tag{1.12}$$

За умови, що $\eta_T \approx K_Г$ маємо технічну продуктивність можна визначити виразом

$$Q_T = Q_ц K_Г \tag{1.13}$$

При проектуванні, виготовленні та експлуатації ПМ важливо оцінювати можливі втрати продуктивності, щоб підвищити ефективність роботи машини. Найважливішим фактором, що впливає на втрату продуктивності, є відмови. Аналіз ймовірності відмов дає можливість визначити оптимальні параметри ПМ, мінімізувати ризик простоїв та максимізувати випуск продукції.

Енерговитрати ПМ, що визначаються врахуванням споживаної потужності:

$$E_з = N_i \cdot T \tag{1.14}$$

E_i – енергія, яка витрачена *i*-тим ФМ у час *T*, *Дж*; N_i – потужність для *i*-го ФМ, *Вт*; *T* – час, який необхідний для виготовлення 1ї упаковки, *с*:

$$T = \frac{1}{Q_{ц}} \tag{1.15}$$

Технологічність формується забезпеченням заданих експлуатаційних показників для ПМ у найменших витратах часу, при праці засобів у конкретних умовах виробництва .

Висновки до розділу 1

В ході аналізу компонувальних рішень для пакування в'язких харчових продуктів було виявлено ряд недоліків у роботі технічного циклу. Ці недоліки пов'язані з:

- Механізмами подачі пакувального матеріалу та формування пакету з гнучких рулонних матеріалів та їх сумісною роботу із дозувально-фасувальними модулями.
- Роботою пристроїв системи керування під час дозування в’язких харчових продуктів

Наступні розділи магістерської роботи будуть присвячені дослідженню цих дозувально-фасувальних функціональних пристроїв, з метою покращення їх роботи та усунення виявлених недоліків.

РОЗДІЛ 2

ПРИНЦИПИ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ КОМПОНУВАНЬ МАШИН ДЛЯ ПАКУВАННЯ В'ЯЗКИХ РЕЧОВИН

2.1. Дослідження систем для пакування в’язких речовин

Проектування пакувальної машини (ПМ) – це комплексна задача, що включає синтез, моделювання та оптимізацію. Створення ефективної методології опису та оцінки ПМ за різними характеристиками стає все більш актуальною.

Системний підхід до проектування ПМ передбачає:

- Побудову концептуальної моделі: абстрактної моделі, що відображає структуру ПМ та зв'язки між її елементами.
- Врахування двох аспектів:
- Функціональний опис: опис завдань, які виконує ПМ.
- Структурний опис: опис компонентів ПМ та їх взаємозв'язків.
- Функціональний опис має передувати структурному.

Структурний опис складається з:

- Функціональних модулів (ФМ): елементів, що реалізують певні функції.
- Зв'язків (R) між ФМ, які формують компонування ПМ.

На рисунку 2.1 зображена схема декомпозиції службової функції машини для пакування в'язких речовин.

Системний підхід дозволяє: описати ПМ з урахуванням всіх його аспектів; провести аналіз ПМ та оцінити його характеристики; знайти оптимальні рішення для проектування ПМ. Цей підхід є основою для розробки ефективних пакувальних машин, які відповідають потребам сучасного виробництва.

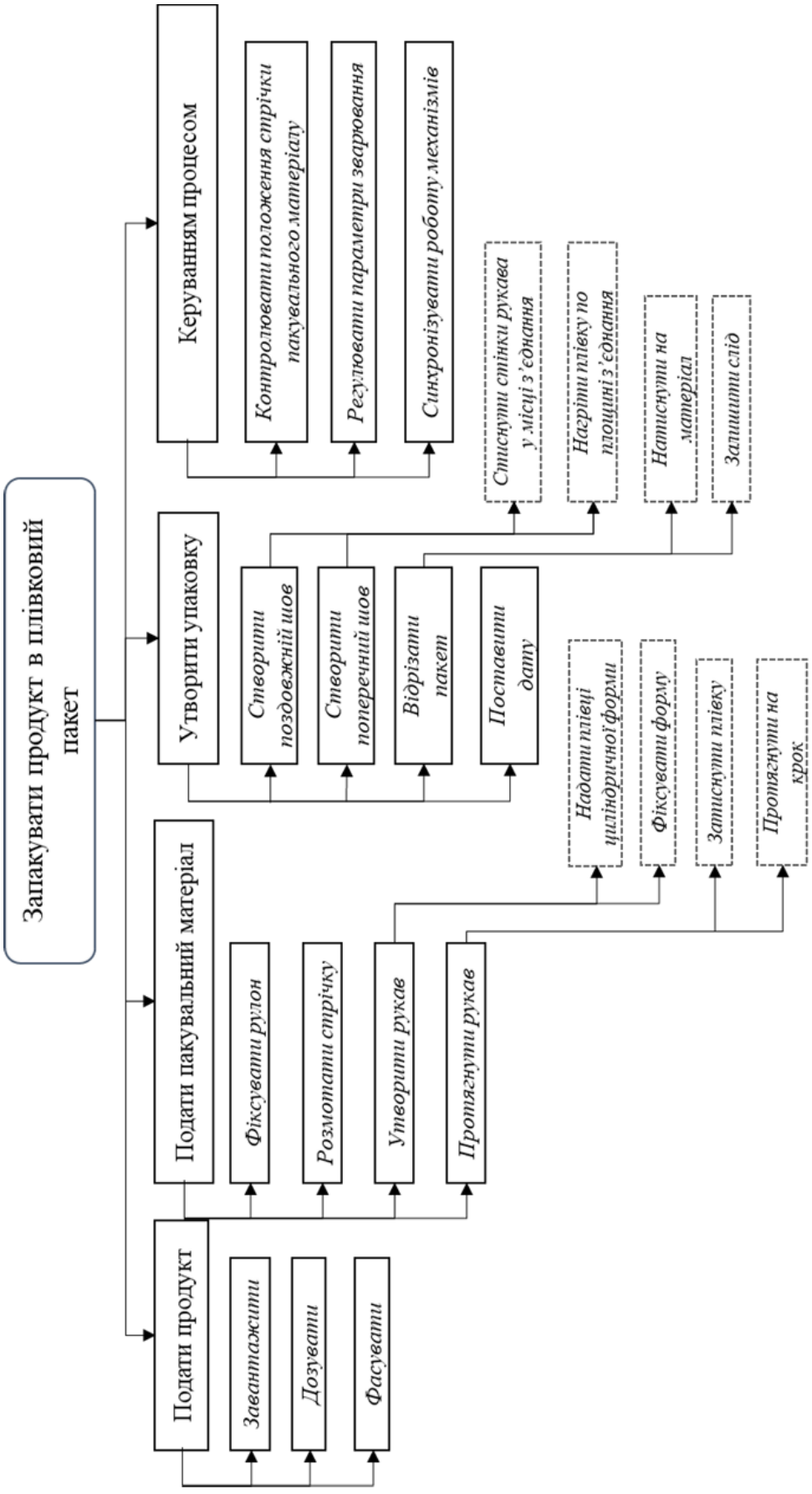
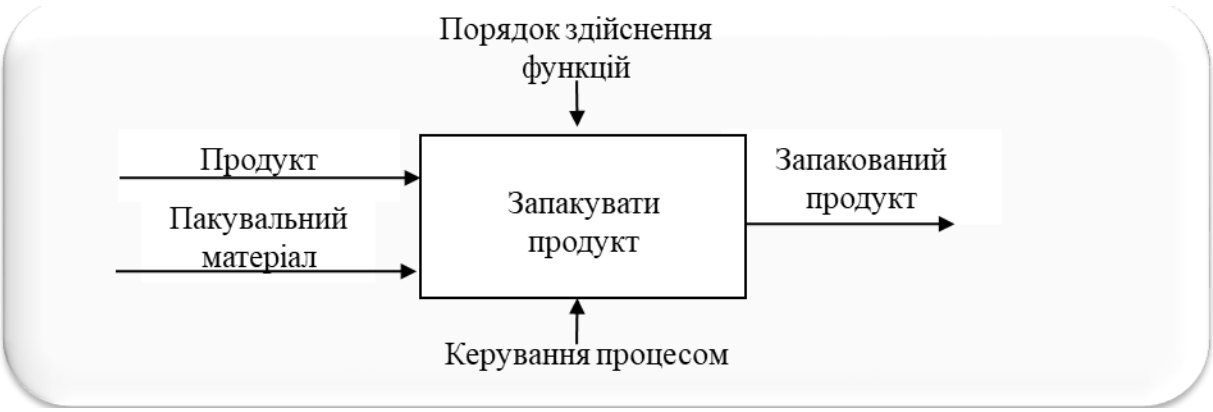


Рис.2.1 Приклад декомпозиції для службової функції машини пакування в'язких речовин.

Діаграма (2.1)



Діаграма (2.2)

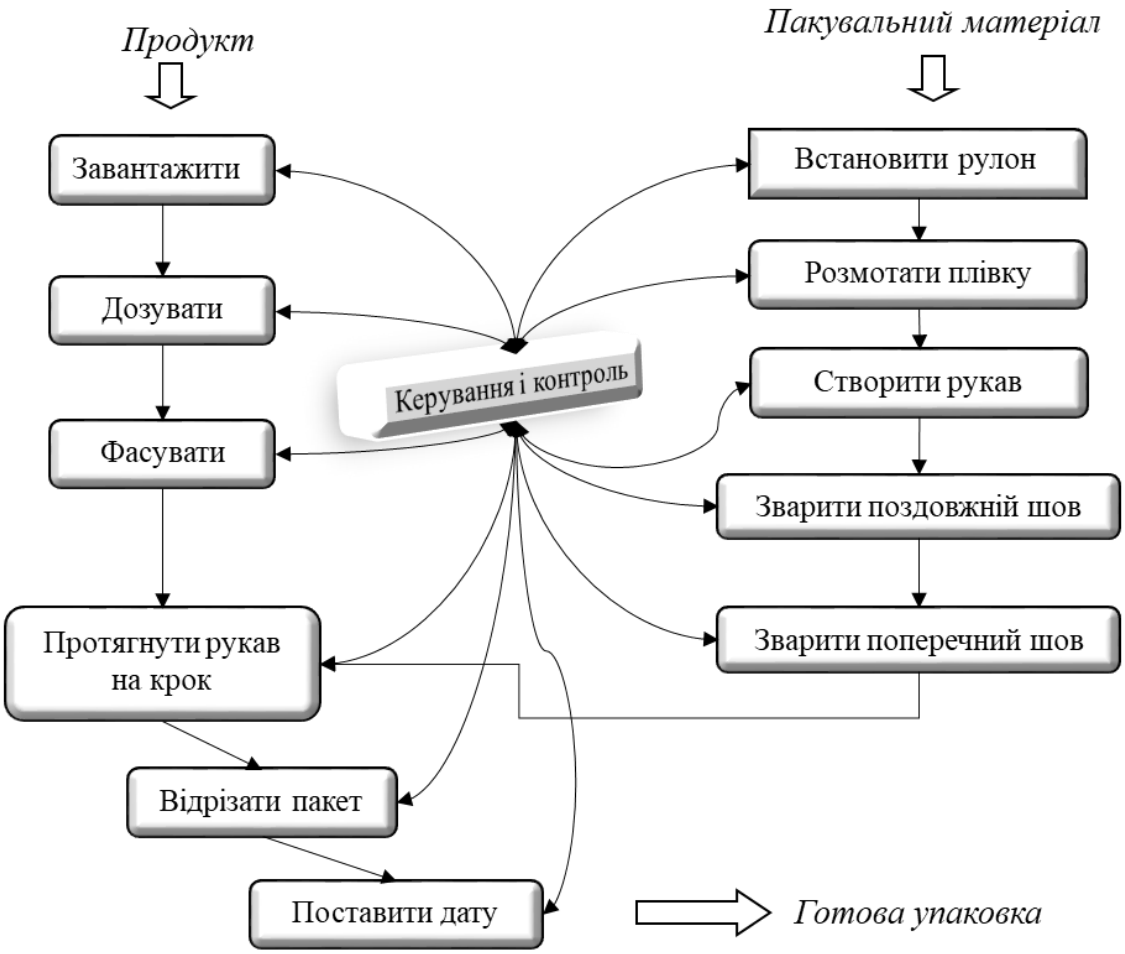


Рис. 2.2. Схема операції пакування для в‘язких речовин (діаграми 1, 2)

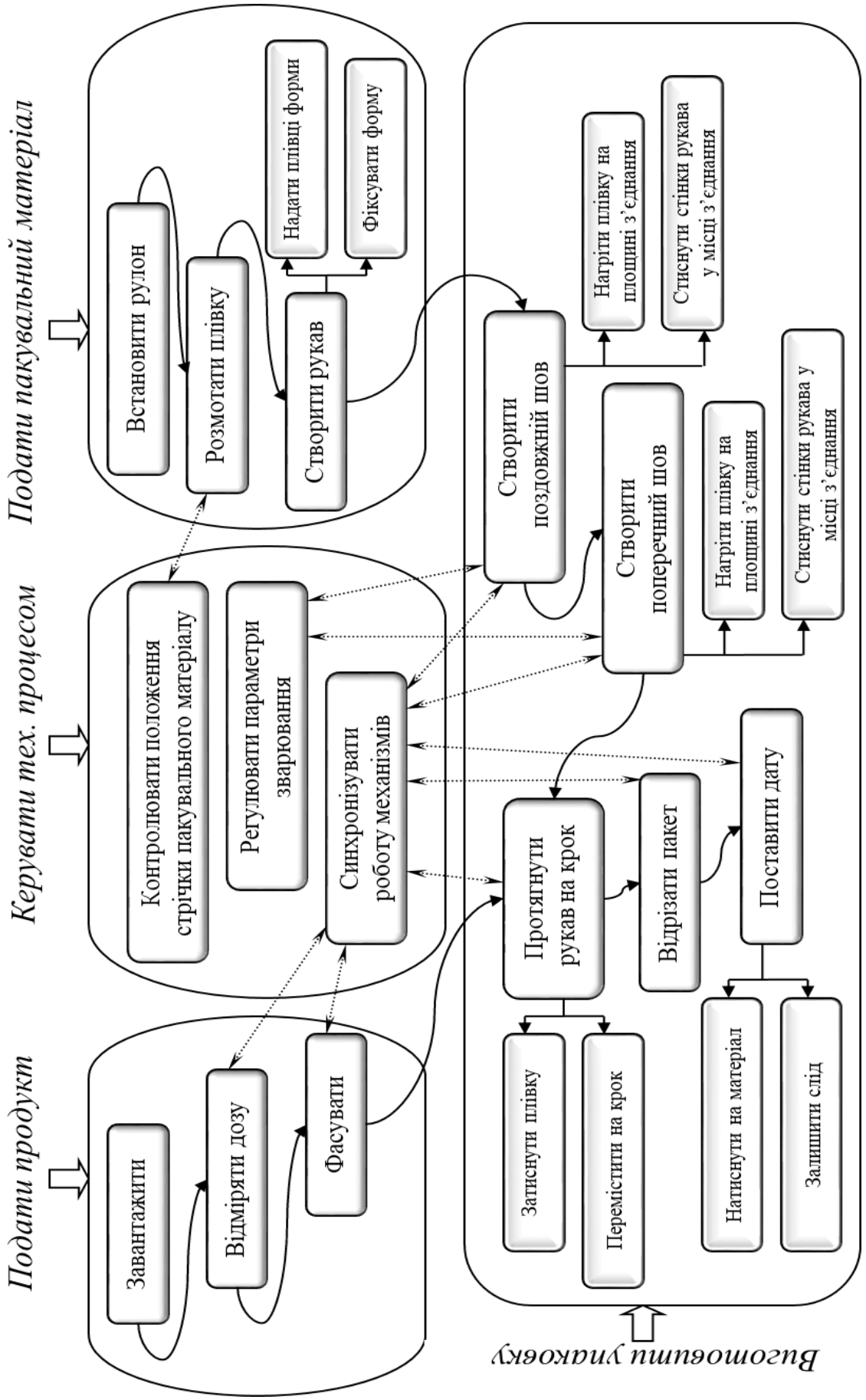
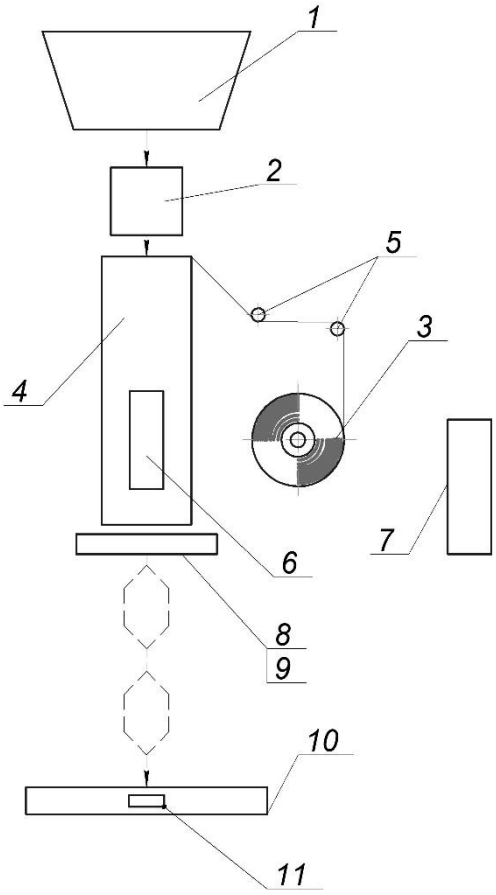


Рис. 2.3.Структура технологічної операції пакування для в‘язких речовин



1 – бункер живильник;

2 – дозатор (за часом);

3 – механізм для подачі плівки;

4 – механізм - рукавоутворювач;

5 – натяжні ролики;

6 – механізм поздовжнього зварювання;

7 − система керування;

8 – механізм поперечного зварювання; 9 – пристрій протягування рукава; 10 – пристрій відрізання; 11 – механізм датувальний

Рис. 2.4. Функціонально-структурна схема ПМ для в‘язких речовин

2.2. Структура основних процедур оптимізаційного синтезу

Для оптимізаційного синтезу компонувань ПМ потрібне послідовне виконання заданих процедур. Кожна з яких полягає у розв’язанні локальної задачі, і результати виконання якої вже є початковими даними щодо наступної.

Алгоритм.

1. Формалізація для початкових даних.

Системний підхід до проектування пакувальної машини передбачає побудову концептуальної моделі, що враховує функціональний та структурний опис машини, а також декомпозицію службової функції на функціональні модулі та зв'язки між ними: $F = \{ f_1, f_2, f_3, \ldots, f_n \}$, рівна

множині для виконуваних машиною технологічних переходів: $M = \{ m_1, m_2, m_3, \ldots , m_n \}$,

Множина для функціональних модулів щодо реалізації таких функцій: $X = \{ x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n \}$.

Технологічний перехід, де m_k виконувалась декількома різними типорозмірами ФМ: $E_k = \{ x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}, ..., x_{kn} \}$, і тому для машини у цілому є деяка множина для E функціональних модулів, які можуть входити до її складу: $E = \{ E_1, E_2, E_3, \ldots, E_i \}$,

Поєднуючись між собою у певні залежності (функціональними зв'язками), вони утворюють множину варіантів ддля структури : $N = X_1 \times X_2 \times X_3 \times \ldots \times X_j$.

Реалізація щодо службової функції ПМ: S (технологічної операції для пакування) буде можлива за умови, коли виконання усіх функцій (а саме технологічних переходів), які нею передбачені:

$$F^{(n)} = f_1 \wedge f_2 \wedge f_3 \wedge \ldots \wedge f_i , S \leftrightarrow F^{(n)};$$

$$M^{(n)} = m_1 \wedge m_2 \wedge m_3 \wedge \ldots \wedge m_n , F^{(n)} \leftrightarrow M^{(n)}.$$

$$X^{(n)} = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \ldots \wedge x_n,$$

маємо один і той самий технологічний перехід в складі машини може виконувати лише один з типорозмірів функціональних модулей:

$$E^{(n)} = x_{k1} \vee x_{k2} \vee x_{k3} \vee \ldots \vee x_{kn},$$

Відповідно:

$$S : M^{(n)} \times X_i^{(n)} \rightarrow N^{(i)} = (x_{11} \vee x_{12} \vee x_{13} \vee \ldots \vee x_{1n}) \wedge$$

$$(x_{21} \vee x_{22} \vee x_{23} \vee \ldots \vee x_{2n}) \wedge (x_{31} \vee x_{32} \vee x_{33} \vee \ldots \vee x_{3n}) \wedge \ldots \wedge$$

$$\wedge (x_{k1} \vee x_{k2} \vee x_{k3} \vee \ldots \vee x_{kn}).$$

Наступним чином:

$$\forall(x_i \in X^{(n)})\exists(f_i \in F^{(i)}) \to \exists(x_{kn} \in E^{(n)})\exists(f_i \in F^{(i)}),$$

При цьому:

$$\exists(x_{kn} \in E^{(n)})\exists(f_i \in F^{(i)}) \sim \exists(x_{kn} \in E^{(n)})\exists(m_i \in M^{(n)}).$$

Однак із урахуванням взаємозамінності функціональних мудулів:

$$\exists(x_{ki} \in X_j^{(k)})\exists(m_k \in M^{(n)}) \neg \exists(x_{kn} \in X_j^{(k)})\exists(m_k \in M^{(n)}).$$

На рис. 2.5. наведено узагальнений граф для логічних зв'язків між типовими ФМ у машинах для пакування в‘язких речовин.

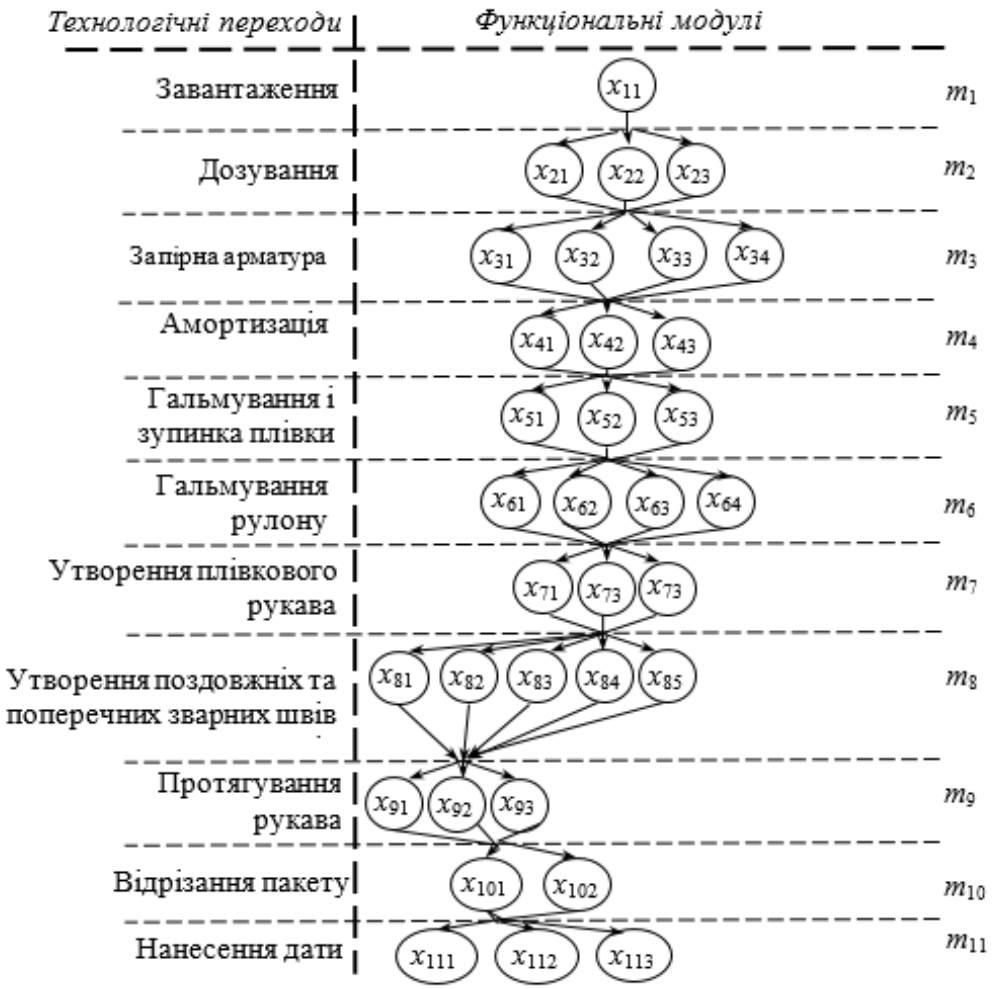


Рис. 2.5. Граф логічних зв'язків з типовими функціональними модулями машин пакування для в‘язких речовин

Таблиця 2.1

Назва	Позначення	Опис
Завантаження продукту	X_{11}	Бункер накопичувач
Запірна арматура	X_{21} X_{22} X_{23}	Клапаннові, кранові, золотникові
Дозування	X_{31} X_{32} X_{33} X_{34}	Поршневий, мембранний, шнековий,пневматичний дозатори
Амортизація плівки	X_{41} X_{42} X_{43}	Механізм з вільно або примусово натягненою петлею матеріалу, багатопетлеві механізми із кількома роликами
Гальмування і зупинка плівки	X_{51} X_{52} X_{53}	Перегинаючі затискачі, самозаклинювальні затискачі, вакуумні затискачі
Гальмування рулону	X_{61} X_{62} X_{63} X_{64}	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	X_{71} X_{72} X_{73}	Рукавоутворювач комірцевого типу, плоского тришовного або типу «дой-пак» пакета, механізм утворення чотиришовного плоского пакета
Утворення поздовжнього зварного шва	X_{81} X_{82} X_{83} X_{84} X_{85}	Механізм термоконтактного, термоімпульсного, інфрачервоного випромінювання, ультразвукового, тертям і токами високої частоти зварювання
Утворення поперечних зварних швів	X_{91} X_{92} X_{93} X_{94} X_{95}	Механізм термоконтактного, термоімпульсного, інфрачервоного випромінювання, ультразвукового, тертям і токами високої частоти зварювання
Протягування рукава	X_{101} X_{102} X_{103}	Механізм з протягувальними роликами; механізм на основі безштокового пневмоциліндра; механізм протягування з натяжними пасами
Відрізання пакету	X_{111} X_{112}	Універсальний ніж; ніж - гільйотина
Нанесення дати	X_{121} X_{122}	Дататор струменевий; дататор термопринтерний

Формалізоване представлення для даного графа:

$$S : m_1(x_{11}) \wedge m_2(x_{21} \vee x_{22} \vee x_{23}) \wedge$$

$$\wedge m_3(x_{31} \vee x_{32} \vee x_{33} \vee x_{34}) \wedge m_4(x_{41} \vee x_{42} \vee x_{43}) \wedge$$

$$\wedge m_5(x_{51} \vee x_{52} \vee x_{53}) \wedge m_6(x_{61} \vee x_{62} \vee x_{63} \vee x_{64}) \wedge m_7(x_{71} \vee x_{72} \vee x_{73}) \wedge$$

$$\wedge m_8(x_{81} \vee x_{82} \vee x_{83} \vee x_{84} \vee x_{85}) \wedge m_9(x_{91} \vee x_{92} \vee x_{93} \vee x_{94} \vee x_{95}) \wedge m_{10}(x_{101} \vee x_{102} \vee x_{103}) \wedge m_{11}($$

$$x_{111} \vee x_{112}) \wedge m_{12}(x_{121} \vee x_{122}).$$

Висновки до розділу 2

За допомогою методу оптимізаційного синтезу досліджено декілька варіантів конструкції пакувальної машини вертикального типу для в'язких харчових продуктів, визначено функціональні модулі, зв'язки між ними, а також декомпозиції технологічного процесу. Для оптимізації рівнянь досліджувальних модулів буде використано метод графів, а розрахунок і дослідження окремих функціональних пристроїв буде проведено в наступних розділах роботи з використанням пакетів моделювання, таких як Anylogic.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПОНУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ

3.1. Система моделювання AnyLogic

3.1.1. Загальні відомості про систему моделювання AnyLogic

AnyLogic – це універсальний інструмент для комп'ютерного моделювання, що дає можливість досліджувати складні системи реального світу. Він об'єднує три основних напрямки моделювання: дискретно-подієве, системної динаміки та агентне, дозволяючи оцінювати ефективність конструкторських рішень. AnyLogic базується на сучасних концепціях, таких як об'єктно-орієнтований підхід та активні об'єкти, що допомагають організувати та представити структуру складної системи, а також моделювати сукупність активностей, які взаємодіють з іншими об'єктами.

Інструмент AnyLogic підтримує проектування, розробку, документування моделі, виконання комп'ютерних експериментів з моделлю, включаючи різні види аналізу, від аналізу зміни до оптимізації параметрів моделі. Він гнучко використовує різні рівні абстрагування, стилі та концепції, дозволяючи змішувати їх при створенні однієї і тієї ж моделі, використовувати раніше розроблені модулі з бібліотек, а також створювати власні бібліотеки модулів.

AnyLogic дає можливість інтегрувати концепції з різних областей моделювання, будувати моделі з необхідним рівнями заданих параметрів, отримувати відповіді на багато дослідницьких запитань. Завдяки анімації та візуальному представленню результатів в процесі роботи моделі, AnyLogic допомагає зрозуміти суть процесів, що відбуваються в моделюємій системі. [14-25]

Таким чином, AnyLogic – це потужний інструмент, який може використовуватися для моделювання та дослідження широкого спектру систем у різних галузях.

3.1.2. Етапи імітаційного моделювання в AnyLogic

Імітаційне моделювання розбивається на два ключові етапи: створення моделі та аналіз результатів для прийняття рішень.

Перший етап включає:

- Визначення мети: чітке формулювання задач, які буде вирішувати модель.
- Розробка концептуальної моделі: виділення та відображення ключових процесів, характеристик та зв'язків реальної системи.
- Структуризація моделі: розбиття на підсистеми, визначення компонентів та їх зв'язків.
- Реалізація моделі: вибір середовища моделювання, визначення змінних, параметрів та процедур для відображення законів зміни моделі.
- Розробка анімації: візуалізація процесів для кращого розуміння.
- Перевірка коректності: тестування моделі на коректну реалізацію.
- Калібрування: збір даних та налаштування параметрів моделі на основі реальних характеристик.
- Валідація: перевірка правильності моделі за допомогою тестових режимів.

Таблиця 3.1

№ п./п.	Назва етапу	Результат
1	Аналіз системи	Розуміння того, що відбувається в системі, яка підлягає аналізу, яка її структура, які процеси в ній протікають
2	Формулювання мети моделювання системи	Список завдань, які передбачається вирішити за допомогою майбутньої моделі. Список вхідних і вихідних параметрів моделі, список вихідних даних, критерії завершеності майбутнього дослідження
3	Розробка концептуальної структури моделі	Структура моделі, склад істотних процесів, що підлягають відображенню в моделі, зафіксований рівень абстракції для кожної підсистеми моделі (список припущень), опис керуючої логіки для підсистем
4	Реалізація моделі в середовищі моделювання	Реалізовані підсистеми, їх параметри і змінні, їх поведінка, реалізована логіка і зв'язок підсистем
5	Реалізація анімаційного уявлення моделі	Анімаційне подання моделі, інтерфейс користувача
6	Перевірка коректності реалізації моделі	Переконання в тому, що модель коректно відображає ті процеси реальної системи, які потрібно аналізувати
7	Калібрування моделі	Фіксація значень параметрів, коефіцієнтів рівнянь і розподілів випадкових величин, що відображають ті ситуації, для аналізу яких модель буде використовуватися
8	Планування і проведення комп'ютерного експерименту	Результати моделювання, графіки, таблиці і т.п., що дають відповіді на поставлені питання

Другий етап – це комп'ютерний експеримент:

- Прогноз: дослідження поведінки моделі при різних параметрах.
- Аналіз чутливості: оцінка впливу параметрів на поведінку моделі.
- Оцінка ризиків: дослідження ризиків різних управлінських рішень.

- Оптимізація: визначення параметрів для кращого функціонування моделі.
- Аналіз результатів:

Використання спеціальних засобів для обробки статистики, візуалізації даних та інтеграції з базами даних. Таким чином, імітаційне моделювання дає можливість досліджувати складні системи, прогнозувати їх поведінку, приймати обґрунтовані рішення та оптимізувати їх функціонування.

1. Етапи для комп'ютерного моделювання

3.2. Базові інструменти для розробки моделі в програмному середовищі

Вікно редактора AnyLogic складається з:

- Панелей інструментів: містять кнопки для створення та редагування моделей.
- Панелі Проекти: відображає дерево всіх об'єктів проекту.
- Панелі Палітра: надає доступ до бібліотеки готових компонентів для моделювання.
- Панелі Помилки: показує повідомлення про помилки та попередження.
- Вікна властивостей: дозволяє редагувати властивості виділеного об'єкта.
- Вікна графічного редактора: використовується для створення та редагування візуальної моделі.
- Графічного середовища: де візуалізується модель.

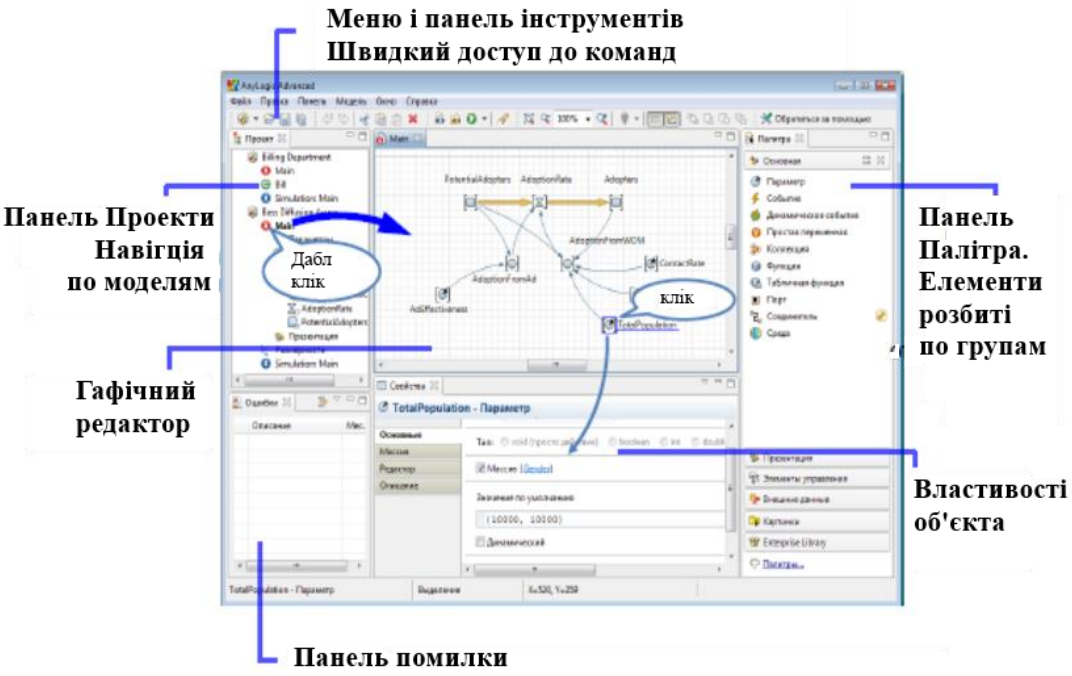


Рис. 3.1 Вікно робочого середовища AnyLogic

Панелі інструментів формують швидкий доступ до основних функцій, та автоматично підлаштовуються у поточний режим, також можуть бути адаптовані і користувачем. Задіяні на моделюванні поставленої задачі такі панелі інструментів:

Стандартна панель (створити модель, відкрити, зберегти, зберегти всі моделі)

Побудова моделі (Побудувати модель, сформувати все, Налагодити, Запустити)

Редагувати (Скасувати, Повторення, Вирізати, Копіювання, Вставити, Видалити)

Малювати (100%, Віддалення, Масштаб, Наближення, відобразити/ сховати сітку)

Панелі - Проекти. Дерево для елементів моделі.

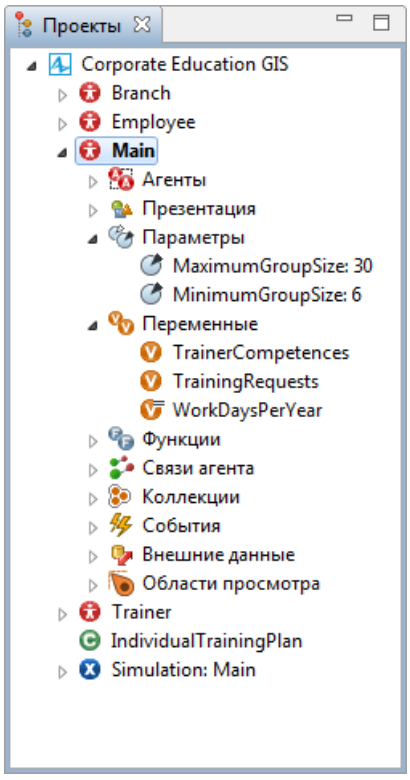


Рис.3.2 Панелі - Проекти

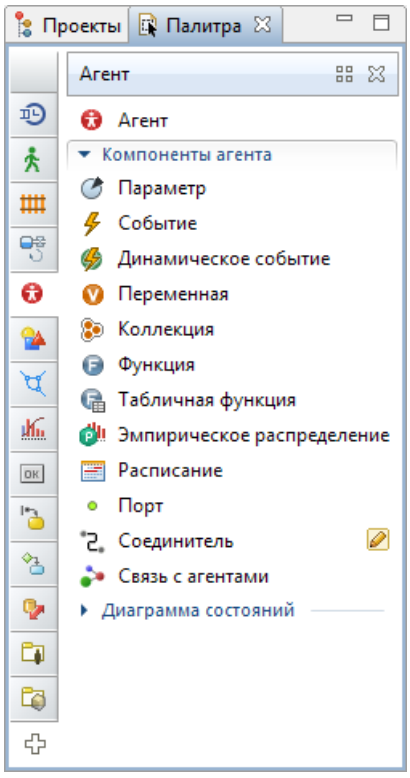


Рис.3.3 Панелі- Палітра

Панель Палітри організована за допомогою вкладок (палітр), кожна з яких містить елементи, що стосуються певної задачі:

- Основна: містить базові елементи для задання динаміки, структури та даних моделі.
- Системна динаміка: включає елементи діаграм потоків і накопичення, а також параметри, з'єднувачі та табличні функції.
- Діаграма станів: містить блоки для графічного опису поведінки об'єкта.
- Діаграма дій: пропонує блоки структурованих блок-схем для візуального задання алгоритмів.
- Статистика: надає елементи для збору, аналізу та візуалізації результатів моделювання.
- Презентація: містить інструменти для створення презентацій: примітивні фігури та елементи управління для додання інтерактивності.[1,3,12]

- Зовнішні дані: пропонує інструменти для роботи з базами даних і текстовими файлами.
- Картинки: містить набір картинок часто модельованих об'єктів (людина, вантажівка, склад, завод тощо).

Панель Помилок розташована в нижньому лівому кутку. Вона дозволяє:

- Швидко перейти до місця помилки за допомогою подвійного кліку.
- Локалізувати помилку, щоб її виправити.

Панель Палітри та Панель Помилок є важливими інструментами для роботи з AnyLogic, які роблять процес моделювання більш зручним та ефективним.

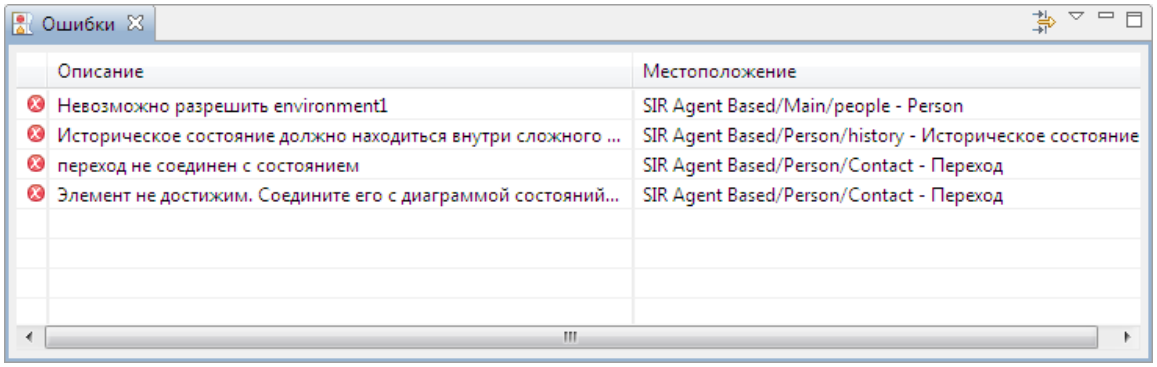
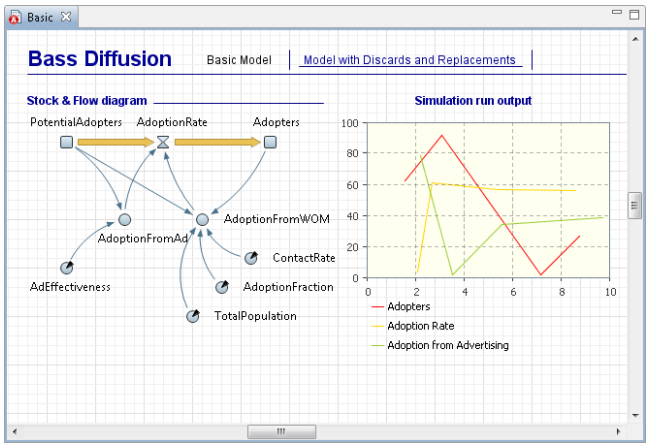


Рис.3.4 Панель помилок

Вікно властивостей редактора AnyLogic динамічно відображає та дає можливість редагувати параметри виділеного елемента моделі (класу або екземпляру класу) в процесі моделювання.



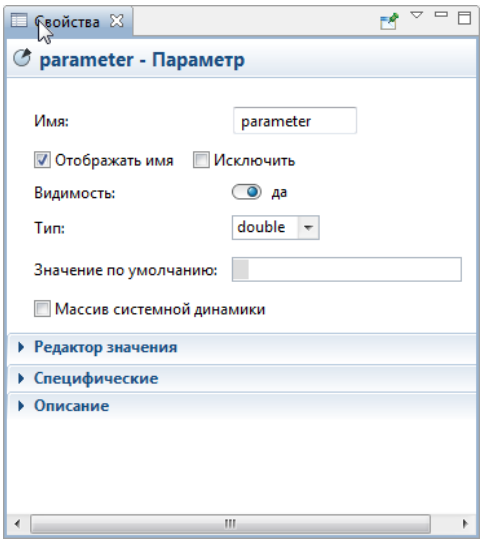


Рис.3.3 Вікно для графічного

Рис.3.4 Вікно властивостей

Вікно графічного редактора активного об'єкта дає змогу візуалізувати поведінку моделі з плином часу, створюючи двомірне або тривимірне анімаційне уявлення. Анімаційні елементи, пов'язані зі змінними та параметрами моделі, динамічно оновлюються, наочно демонструючи зміни в модельованій системі.

Графічне середовище моделювання AnyLogic пропонує різні інструменти для візуального опису моделі:

- Діаграма потоків і накопичувачів: використовується для розробки моделей системної динаміки.
- Карти станів: визначають поведінку агентів в агентних моделях, а також можуть застосовуватися в дискретно-подієвому моделюванні.
- Блок-схеми: використовуються для побудови алгоритмів в дискретно-подієвому та агентному моделюванні.
- Процесні діаграми: є основним інструментом для визначення процесів в дискретно-подієвому моделюванні.

Використання цих інструментів робить процес моделювання більш зрозумілим, наочним та зручним.

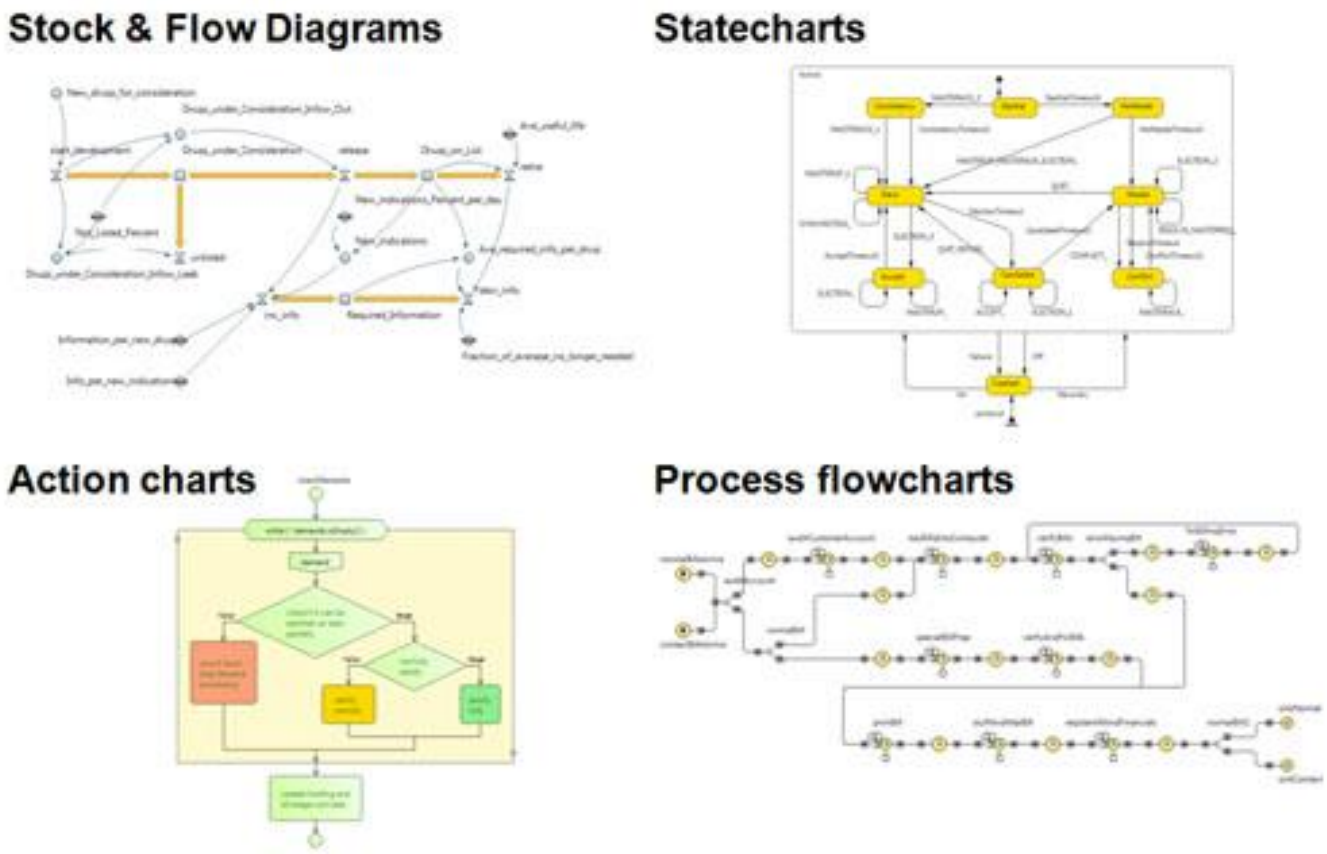


Рис.3.5 Графічне середовище для моделювання у AnyLogic

3.3. Приклади оптимізаії операторів Anylogic

Autoclaved - Aerated Concrete Factory

Процес: Модель описує поетапний процес дозування в'язких продуктів.

Етапи: Підготовка продукту. Прийом та підготовка сировини. Змішування компонентів. Нагрівання/охолодження до заданої температури

Дозування: Заповнення дозувальних ємностей. Контроль точності дозування.

Упаковка: Заповнення тари. Упакування та маркування.

Склад: Зберігання готової продукції. Відвантаження. Продуктивність: Залежить від параметрів обладнання.

Мета моделювання: Отримати інформацію про час, який продукт проводить на різних ділянках. Знайти спосіб збільшити продуктивність цеху.

Конфігурації: Модель підтримує різні конфігурації цеху. Кількість та тип дозувальних машин.Тип упаковки Розмір складу

Використання моделі: Дозволяє дослідити вплив різних факторів на продуктивність. Допомагає знайти оптимальну конфігурацію цеху.

Переваги: Збільшення продуктивності.Зниження витрат. Покращення якості продукції. Моделювання дає можливість оптимізувати процес дозування, що веде до кращих економічних показників та підвищення конкурентоспроможності цеху.

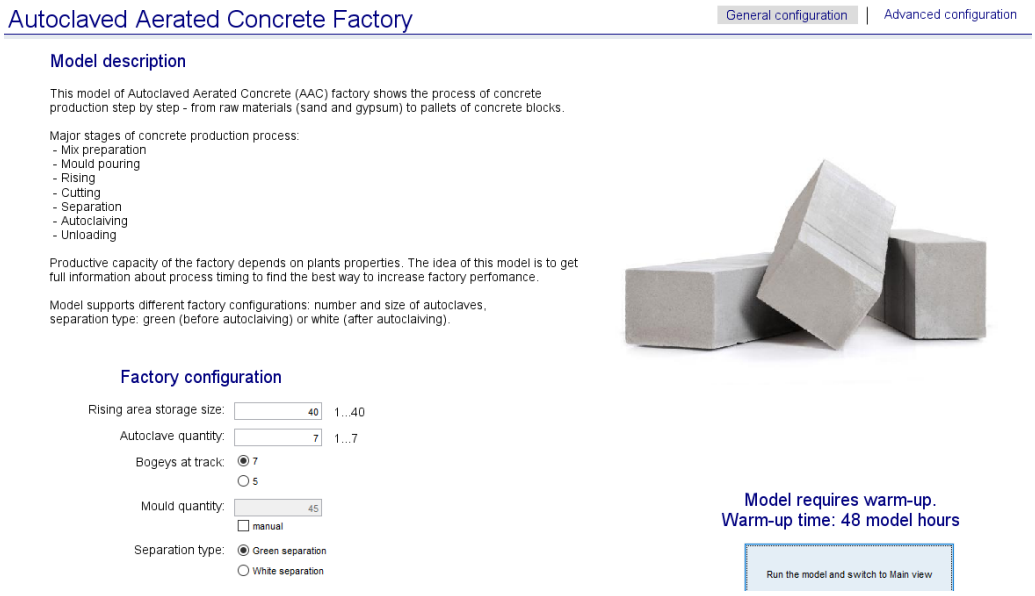


Рис.3.6 Стартове вікно для моделі Autoclaved -Aerated Concrete Factory

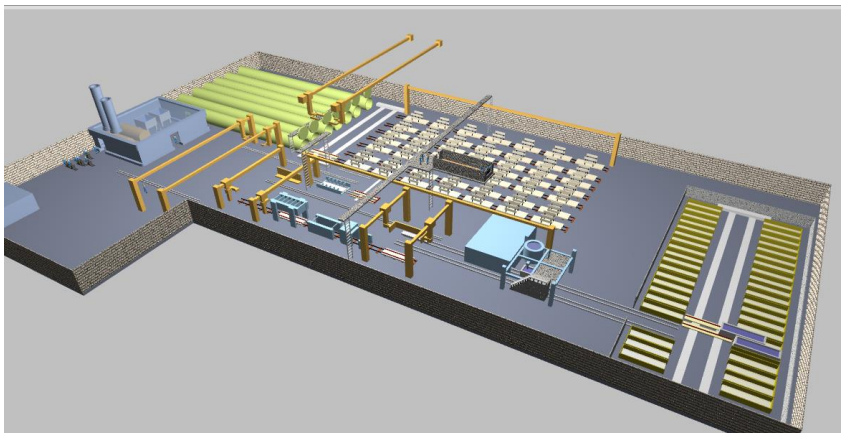


Рис.3.7 3D зображення моделі Autoclaved Aerated Concrete Factory

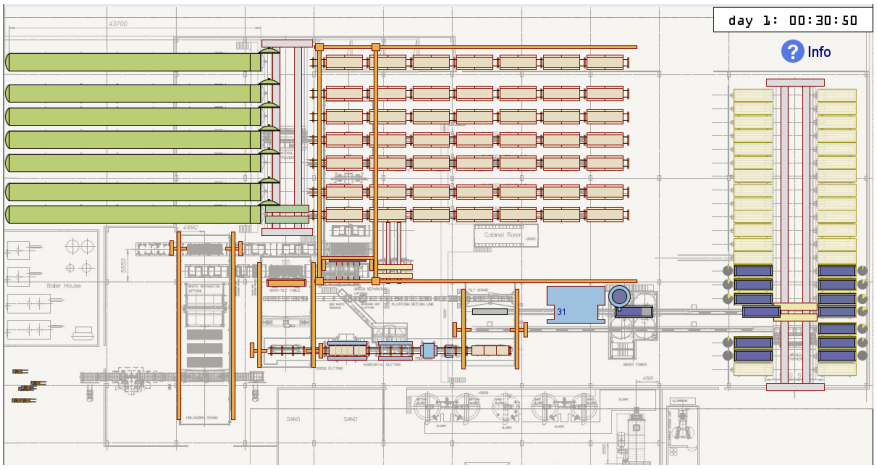


Рис.3.8 2D зображення моделі для Autoclaved - Aerated Concrete Factory

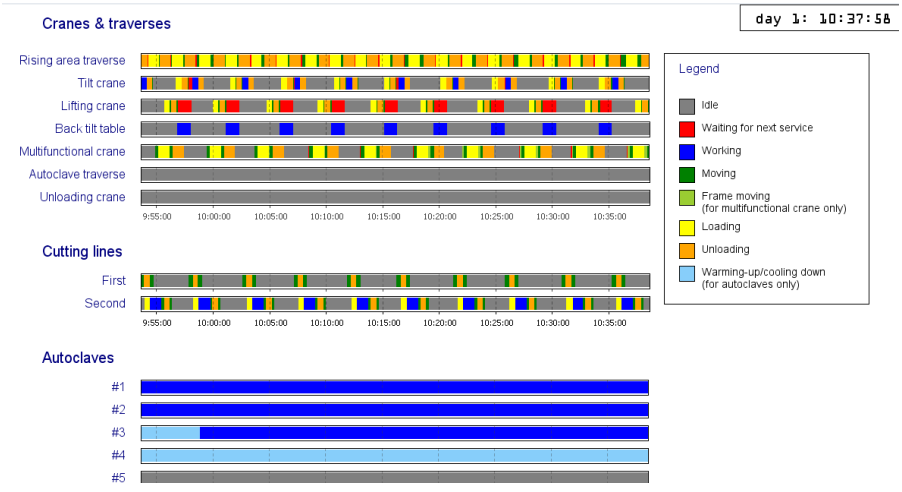


Рис.3.9 Графік для завантаженості Autoclaved -Aerated Concrete Factory

3.4. Математична модель оптимізації кмпоновки для дозувально-фасувальної операції у трьохшовний пакет флоу-пак

Сигнальний граф, виконано у просторі програми AnyLogic (рис.3.10). Орієнтований граф, відповідає лінійним або лінеаризованим системам для рівнянь математичної моделі технологічної системи та відображає причинно-наслідковий зв'язок між змінними системи.

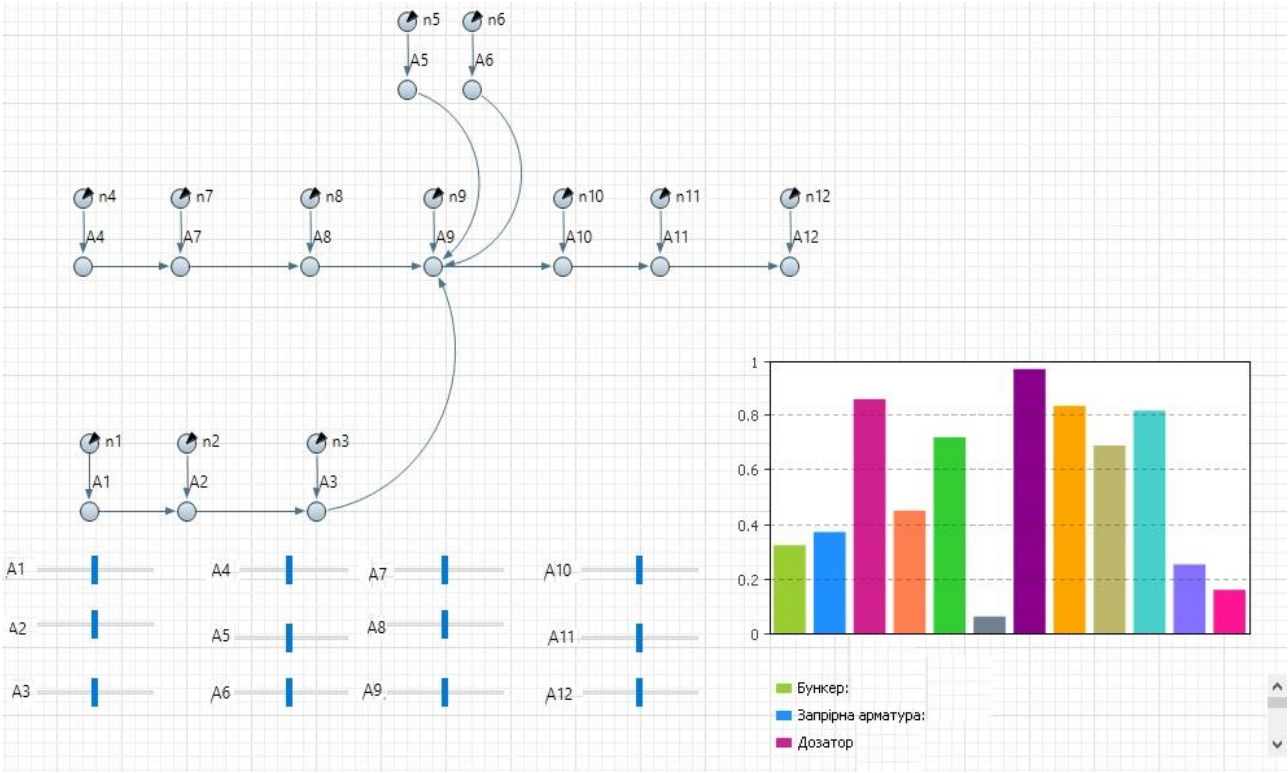


Рис.3.10. Структурний граф процесу у просторі програми AnyLogic

Один зі способів для застосування кінцевого графа грунтуються за положенням, що графи - є топологічною формою інтерпретації системи у компонентних рівняннях. A_1 – A_{12} – Функціональні системні модулі. n_1 – n_{12} - це змінні вхідні величини (енерговитрати, економічні затрати, масовитрати,)

Таблиця 3.2

Технологічні перходи	**Позначення**	**Змінні функціональні модулі**
Завантаження продукту	A_1	Бункер накопичувач
Запірна арматура	A_2	Клапаннові, кранові, золотникові
Дозування	A_3	Поршневий, мембранний, шнековий,пневматичний дозатори
Амортизація плівки	A_4	Механізм з натягненою петлею матеріалу, багатопетлеві із кількома роликами
Гальмування і зупинка плівки	A_5	Перегинаючі затискачі, самозаклинювальні затискачі, вакуумні затискачі
Гальмування рулону	A_6	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	A_7	Рукавоутворювач комірцевого типу, плоского тришовного або типу «дой-пак» пакета, механізм утворення чотиришовного плоского пакета
Утворення поздовжнього зварного шва	A_8	Механізм термоконтактного, термоімпульсного, інфрачервоного випромінювання, ультразвукового, тертям і токами високої частоти зварювання
Утворення поперечних зварних швів	A_9	Механізм термоконтактного, термоімпульсного, інфрачервоного випромінювання, ультразвукового, тертям і токами високої частоти зварювання
Протягування рукава	A_{10}	Механізм з протягувальними роликами; механізм на основі безштокового пневмоциліндра; механізм протягування з натяжними пасами
Відрізання пакету	A_{11}	Універсальний ніж; ніж - гільйотина
Нанесення дати	A_{12}	Дататор струменевий; дататор термопринтерний

Структурний граф, виконано у просторі програми AnyLogic (рис.3.11) - як орієнтований граф, це відповідає лінійним або лінеаризованим системам для рівнянь математичної моделі технологічної системи та відображає причинно-наслідковий зв'язок у змінних системи. Маємо A_1 –

A_{12} – як вхідна величина що виступає у ролі кінематичного часу для виконання операції у відповідних модулях.

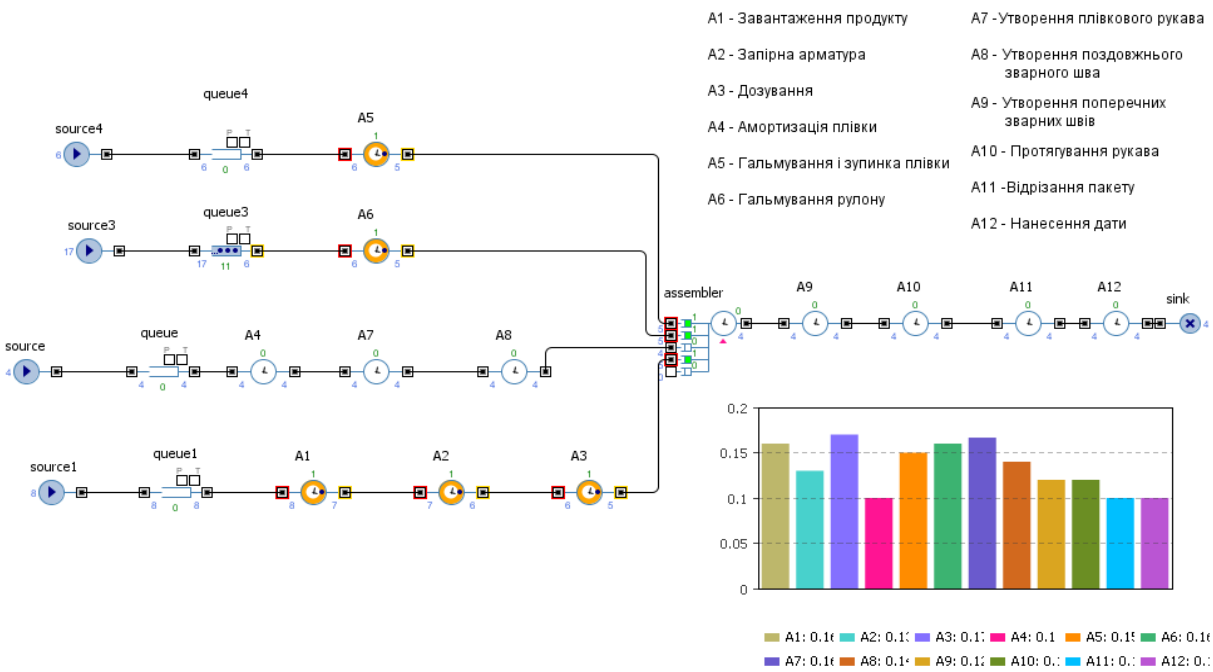


Рис.3.11. Структурний граф для процесу вупросторі програми AnyLogic

Гістограма для кінематичного часу у просторі програми AnyLogic (рис.3.12) яка відображає кінематичний час процесу. Маємо, уяву - де саме найбільше витрачається кінематичного часу для виконання операцій.

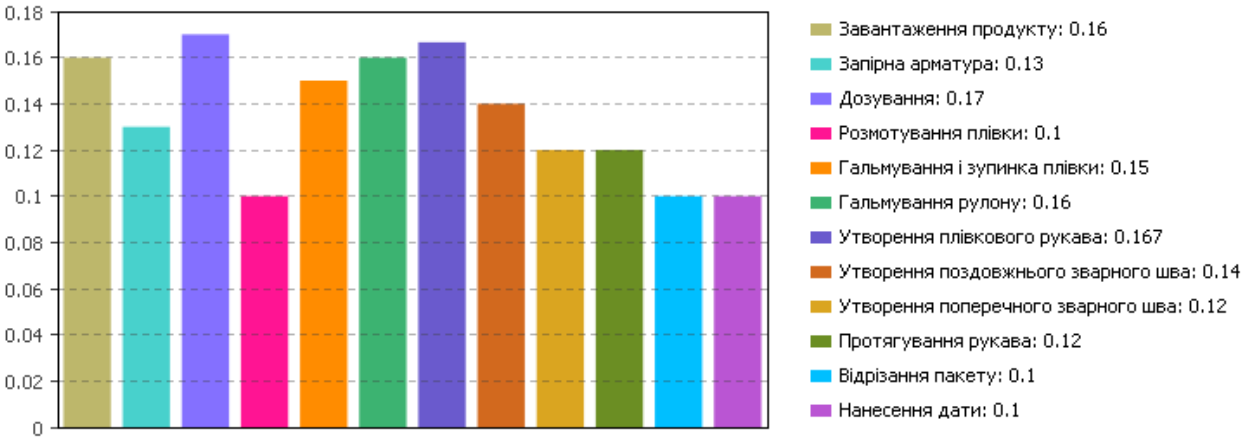


Рис.3.12 – Гістограма для кінематичного часу в AnyLogic

Гістограма енерговитрат в просторі програми AnyLogic (рис.3.13) що відображає енерговитрати, та дає вид - де саме найбільше енерговитрат щодо виконань операцій.

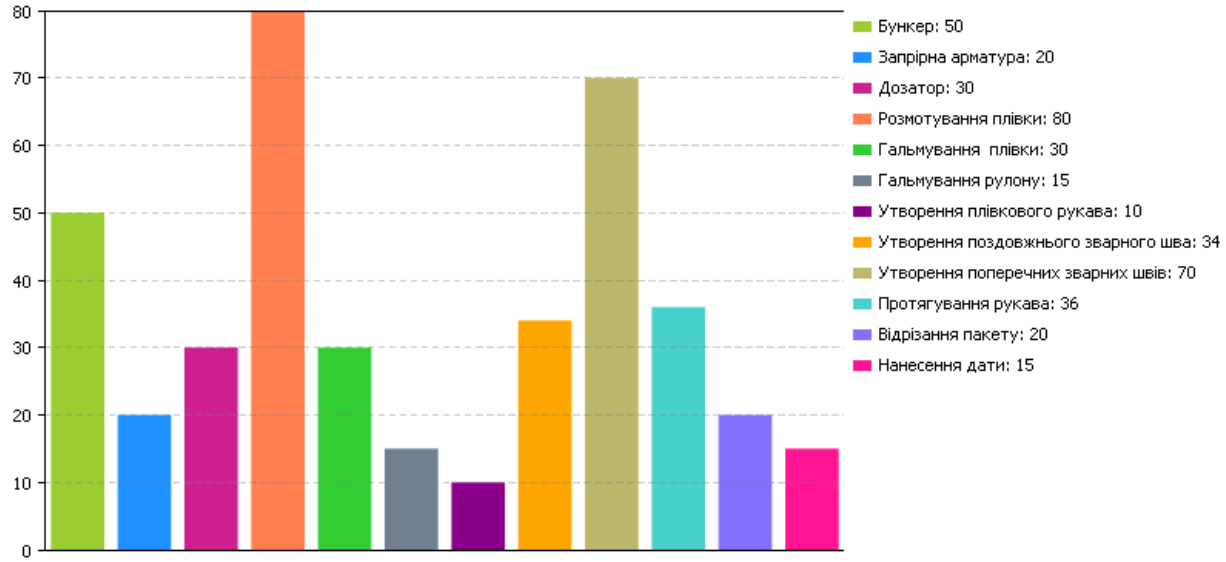


Рис.3.13. Гістограма для енерговитрат у просторі програми AnyLogic

3.5. Програма дослідження поршневого дозатора

```
import java.util.Scanner;

public class PistonDoser {

    public static void main(String[] args) {
        Scanner scanner = new Scanner(System.in);

        // Вхідні дані
        System.out.print("В'язкість продукту (сСт): ");
        double viscosity = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Щільність продукту (кг/м^3): ");
        double density = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Продуктивність дозатора (м^3/с): ");
        double productivity = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Діаметр поршня (мм): ");
        double diameter = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Хід поршня (мм): ");
        double stroke = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Частота циклів (циклів/хв): ");
        double frequency = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Об'єм дози (мл): ");
        double doseVolume = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Об'ємний коефіцієнт: ");
        double volumetricEfficiency = scanner.nextDouble();
        System.out.print("Тиск нагнітання (МПа): ");
        double pressure = scanner.nextDouble();

        // Перетворення одиниць
        viscosity *= 0.01; // сСт -> Па*с
        diameter *= 0.001; // мм -> м
        stroke *= 0.001; // мм -> м
        doseVolume *= 0.000001; // мл -> м^3

        // Розрахунок
        double pistonArea = Math.PI * Math.pow(diameter / 2, 2);
        double theoreticalProductivity = doseVolume * frequency;
        double calculatedPressure = (volumetricEfficiency * viscosity *
theoreticalProductivity) / (pistonArea * stroke);
```

```
        // Виведення результатів
        System.out.println("Площа поршня: " + pistonArea + " м^2");
        System.out.println("Теоретична продуктивність: " +
theoreticalProductivity + " м^3/с");
        System.out.println("Розрахований тиск нагнітання: " + calculatedPressure
+ " Па");

        // Перевірка об'ємного коефіцієнта
        double checkedVolumetricEfficiency = productivity /
theoreticalProductivity;
        System.out.println("Перевірений об'ємний коефіцієнт: " +
checkedVolumetricEfficiency);
    }
}
```

Висновки до розділу 3

На основі моделювання в AnyLogic було досліджено математичну модель технологічного процесу пакувальної машини вертикального типу для дозування в'язких харчових продуктів у трьохшовний пакет. Моделювання ґрунтувалося на трьох основних напрямках: дискретно-подієвому, системній динаміці та агентному.

В результаті дослідження були визначені оптимальні конструктивні рішення пакувальної машини з точки зору енерговитрат та часу, необхідного для проведення технологічного процесу. Також були виділені функціональні пристрої та вузли, які потребують удосконалення:

Функціональні пристрої розмотування плівки:

Покращення механізму натягу плівки для забезпечення кращої стабільності та запобігання розривам.

Оптимізація конструкції розмотувального валу для зменшення шуму та вібрації.

Функціональні пристрої дозуання і фасування :

Вдосконалення системи контролю температури для забезпечення якісного процесу

Застосування більш високоточних систем контролю дози за рахунок системи керування.

Вдосконалення цих функціональних пристроїв та вузлів дозволить підвищити загальну ефективність та надійність пакувальної машини.

Розділ 4

Дослідження впливу різних параметрів на процес дозування в'язких харчових продуктів з метою визначення оптимальних умов для досягнення заданої точності та продуктивності

4.1. Постановка задач для експериментального дослідження

Експериментальне дослідження необхідне для:

- Визначення оптимальних параметрів дозування в'язких харчових продуктів та можливості їх корегування в пристроях з різною компоновкою.
- Перевірки прийнятих допущень при розробці математичної моделі на відповідність реальним умовам процесу дозування.
- Підтвердження адекватності математичної моделі реальному процесу дозування в'язких харчових продуктів.

4.2. Мета експериментальних досліджень

З метою оптимізації процесу дозування в'язких харчових продуктів буде проведено дослідження, яке включатиме визначення оптимальних параметрів дозування в'язкого продукту та отримання відповідного рівняння регресії з графічною залежністю; перевірку значущості основних параметрів процесу (тиску, динамічної в'язкості, швидкостей дозування та фасування) на точність отримання дози (час наповнення тари); перевірку відповідності розрахованої тривалості процесу дозування в'язкого харчового продукту до реальних умов дозування; перевірку адекватності математичної моделі дозування в'язких харчових продуктів до умов реального процесу.

Отримані результати дозволять уточнити параметри моделі, зробити її більш точною та розробити рекомендації щодо вдосконалення процесу дозування.

4.3. Опис експериментальної установки із дослідження параметрів для дозування в’язкого харчового продукту

Експериментальна установка по дослідженню параметрів дозування в’язких харчових продуктів складається з:

1. Віскозиметра.

2. Дозувального функціонального модуля поршневого типу

4.3. Експериментальне дослідження на основі віскозиметру

Зсувні властивості досліджуваного продукту визначаються за допомогою віскозиметрів, таких як капілярні, ротаційні, пенетрометри та прилади з плоскопаралельним суміщенням пластин. В'язкість, що вимірюється в пуазах (Па·с), характеризує опір рідини деформації зсуву.

Ротаційний віскозиметр, який використовується в даному дослідженні, має два тіла обертання, що поєднуються по осях. Простір між ними заповнюється досліджуваною речовиною, і до одного з тіл прикладається момент, що крутить. Це призводить до обертання тіла з кутовою швидкістю, яка залежить від в'язкості речовини. У віскозиметрах зазвичай стабілізується швидкість обертання і вимірюється момент, що крутить.

Діапазон вимірювань стандартних ротаційних віскозиметрів становить від 1 мПа·с до сотень тисяч Па·с. Досягається це завдяки зміні швидкості обертання шпинделя (від 0,01 до 100 об/хв) та використанню шпинделів різних розмірів для різних діапазонів в'язкості.

Особливості проведення експериментів на віскозиметрах

1. Вибір віскозиметра: тип віскозиметра залежить від діапазону в'язкості досліджуваної речовини, необхідної точності вимірювань та інших факторів.

2. Підготовка досліджуваної речовини: перед вимірюванням в'язкості речовина повинна бути гомогенізована та дегазована.

3. Калібрування віскозиметра: калібрування проводиться за допомогою стандартних рідин з відомою в'язкістю.

Проведення експерименту:

1. Температура: важливо підтримувати постійну температуру протягом експерименту, адже в'язкість багатьох речовин істотно залежить від температури.

2. Швидкість обертання: при вимірюваннях на ротаційному віскозиметрі важливо правильно вибрати швидкість обертання шпинделя.

3. Час вимірювання: час вимірювання залежить від в'язкості досліджуваної речовини та типу віскозиметра.

Обробка результатів:

1. Розрахунок в'язкості: в'язкість розраховується за формулами, що залежать від типу віскозиметра.

2. Аналіз похибок: важливо оцінити похибки вимірювань, які можуть бути викликані різними факторами, такими як нестабільність температури, вібрації, неточність калібрування тощо.

Ротаційний віскозиметр РЕОТЕСТ 2 – це прилад для вимірювання в'язкості рідин та неньютонівських речовин (від 1 мПа·с до сотень тисяч Па·с) в різних галузях промисловості та наукових дослідженнях. Мета експериментальної роботи – вивчення характеристик віскозиметра РЕОТЕСТ 2 та його практичного застосування.

Для дослідження використовується віскозиметр РЕОТЕСТ 2, термостат, шпинделі різної геометрії, вимірювальні ємності та речовини з різною в'язкістю (вода, гліцерин, олія, крем).

Методика дослідження:

1. Підготовка:
   - Встановити віскозиметр на стійку поверхню.
   - Під'єднати термостат та встановити необхідну температуру.
   - Зафіксувати вимірювальну ємність.
   - Вибрати шпиндель, що відповідає діапазону в'язкості досліджуваної речовини.

2. Калібрування:

- Провести калібрування віскозиметра за допомогою стандартних рідин з відомою в'язкістю.

3. Вимірювання:

- Занурити шпиндель в досліджувану речовину.
- Встановити необхідну швидкість обертання шпинделя.
- Зачекати, доки показання віскозиметра не стабілізуються.
- Записати значення в'язкості.

4. Обробка результатів:

- Розрахувати в'язкість досліджуваної речовини за формулами з інструкції до віскозиметра.
- Побудувати графік залежності в'язкості від температури, швидкості обертання шпинделя або інших параметрів.
- Провести аналіз результатів та зробити висновки.

  Очікувані результати: дані про в'язкість досліджуваних речовин, графіки залежності в'язкості від різних параметрів, висновок про характеристики віскозиметра РЕОТЕСТ 2 та його практичне застосування.

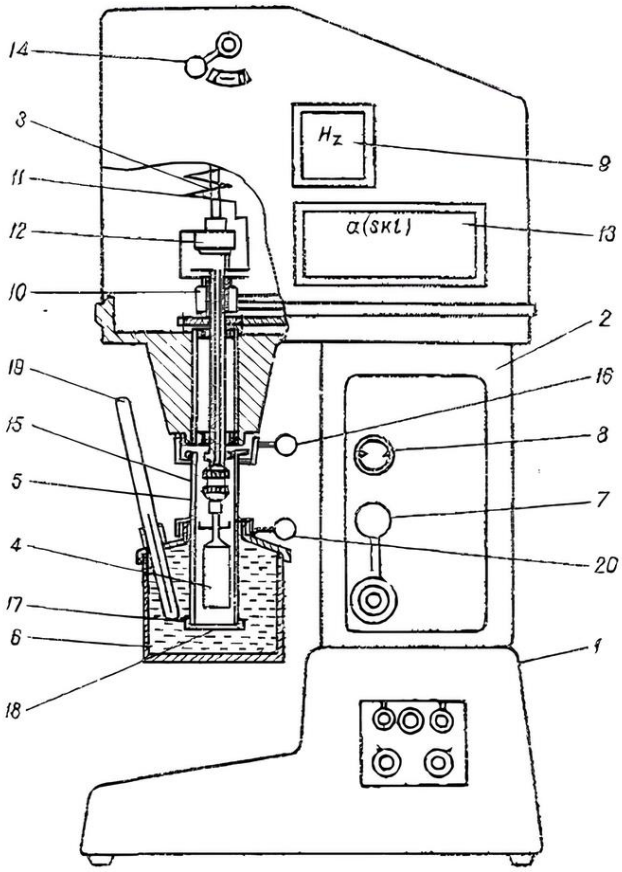


Рис. 4.1. Вид експериментальної установки - Ротаційний віскозиметр РЕОТЕСТ 2: 1 - основа; 2 - привід; 3 - вимірювальний механізм; 4 - вимірювальний циліндр; 5 - вимірювальний резервуар; 6 - термостатувальна посудина; 7 - ручка перемикання швидкості обертання вимірювального циліндра; 8 - шкала реєстрації швидкості обертання; 9 - частотометр; 10 - вимірювальний вал; 11 - двоступеневий динамометр; 12 - потенціометр; 13 - показувальний прилад; 14 - важіль перемикання діапазонів; 15 - вимірювальний резервуар: 16 - блокувальний важіль вимірювальної системи; 17 - запірна кришка; 18 - запірна гайка; 19 - термометр; 20 - блокувальний важіль термостатичної посудини.

Рис. 4.1.б. Циліндрові вимірювальні пристрої

Ротаційний віскозиметр використано для вимірювання реологічних властивостей "неньютонівських рідин" у системі коаксіальних циліндрів.

Віскозиметр (мал. 8) складається з 4-х основних частин: основи (1) з пультом керування; приводу зі змінними швидкостями (2); вимірювального механізму (3) і вимірювальної головки, що складається з вимірювального циліндра (4), вимірювального резервуара (5), а також посудини для підтримання рівномірної температури (6). Прилад має 12-ти ступінчасте перемикання швидкості обертання вимірювального циліндра, здійснюване за допомогою комутаційної ручки (7), що вказується за шкалою (8), Крім того, двигун має дві швидкості обертання 1500 і 750 об/хв, які можна ввімкнути за допомогою тумблера, розміщеного на панелі керування.

Число обертів вала двигуна, а тим самим і вимірювального циліндра не залежить від коливань напруги мережі або навантаження. Вплив на точність вимірювань швидкості деформацій чинить тільки частота промислового струму. Відхилення від значення 50 гц реєструється на частотомірі (9) і враховується під час розрахунку швидкості деформації.

Вимірювальний механізм (3) являє собою механічно-електричний перетворювач крутного моменту.

Суміш, що твердне, зазнає деформації зсуву в зазорі між циліндром, що обертається, і нерухомим резервуаром. В'язке зчеплення циліндра з сумішшю зумовлює виникнення крутного моменту, що сприймається двоступеневим електромеханічним динамометром (11, 12). Величина моменту прямо пропорційна відхиленню стрілки потенціометра (13) проградуйованого у відносних одиницях. Зміна моменту опору залежно від числа обертів циліндра, що обертається, інтерпретується як зв'язок між напругою зсуву і швидкістю зсуву. Важіль перемикання діапазонів (14) дає змогу встановлювати за вибором діапазон дотичних напруг (t) I або II. Відношення діапазонів становить приблизно 1:5. Перемикання діапазонів може бути здійснено за будь-яких умов роботи, тобто і за обертового вимірювального вала.[18-21]

Відомо два основні варіанти приладу з коаксіальними циліндрами. У першому випробовуваний матеріал поміщається в зазор між роторами, один з яких приводиться в рівномірний обертальний рух, а інший циліндр підвішений на пружній нитці або пружно пов'язаний з вимірювальною системою. В'язкість обчислюється за швидкістю першого циліндра і по куту повороту другого циліндра відносно його початкового положення. [3-12]. Вигляд і конструкція сприймаючих елементів і судин для рідини впливають на діапазон виміру в'язкості віскозиметра. Циліндричний ротор (рис. 4.3.а) використовується для рідин середньої та високої в'язкості (від 50 до 10 МПа • с). Для вимірювання в'язкості при великих числах Рейнольда дно циліндричного ротора має бути у формі чаші, що зменшує вплив торцевого зазору на результат вимірювання. Дзвіноподібні ротори (рис. 4.3.б) використовуються для рідин низької в'язкості (від 2 до 103 МПа •с), таких як масла, фруктові соки, розбавлені розчини. Ротори у формі циліндра з конічною основою (рис. 4.3.в) застосовуються для випробувань матеріалів з середнім значенням в'язкості, а конічні ротори (рис. 4.3.г) - для високов'язких матеріалів, які важко видаляються після вимірів.

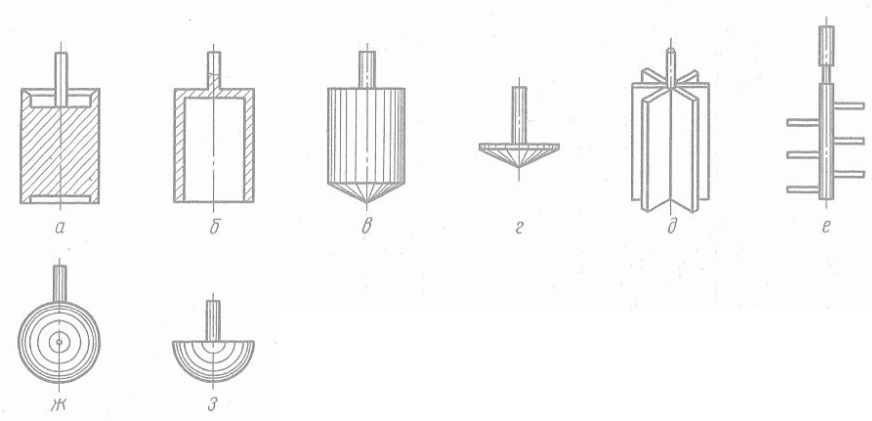


Рис.4.3. Види основних активних елементів: а – циліндр; б – дзвіноподібні; д – зіркоподібні; е – голчаті; в – циліндра з конічною підставою; г – конус; ж – сфера; з – напівсфера.

Для випробування харчових мас з рифленими роторами (рис. 4.3.д) або голчастими роторами (рис. 4.3.е) використовуються зіркоподібні ротори. Теоретичні основи ньютонівських рідин розроблені для типів а, б, в і г, але точні методи визначення значень дотичної напруги і швидкості зрушення існують лише для найпростіших випадків (циліндр - циліндр і конус - плоскість). Прилади з такими роторами дозволяють визначити дійсну криву перебігу не ньютонівського матеріалу. Віскозиметри з коаксіальними циліндрами, які працюють за одним з чотирьох принципів, складають найбільшу і різноманітну групу приладів. На практиці частіше використовуються перші три принципи: обертання внутрішнього циліндра з вимірюванням моменту, обертання внутрішнього циліндра з вимірюванням моменту на зовнішньому циліндрі, обертання зовнішнього циліндра з вимірюванням моменту на внутрішньому циліндрі. Для забезпечення постійної частоти обертання ротора використовується синхронний електродвигун або двигун постійного струму з пристроями автоматичної стабілізації обертання. Сучасні віскозиметри оснащені автоматичним пристроєм для зміни частоти обертання по заданій програмі. Пристрій підключається до самописця або шлейфового осцилографа, який записує криву перебігу досліджуваного процесу.В'язкість визначається за формулою:

$\eta = \frac{\tau_r}{D_r}$, D_r - швидкість зсува, табличне значення; τ_r - дотичне напруження; $\tau_r = z \times a$,

z – константа циліндра, для циліндра S2 Z=11,9; α - покази приладу;

В ході дослідження було визначено граничні значення в'язкості дозувального продукту, які наведені в таблиці 4.1. За допомогою формули в'язкості розраховано значення та побудовано графік залежності в'язкості від т (таблиця 4.2). Графік наочно демонструє співвідношення між в'язкістю та т, отримані експериментальним шляхом.

Робочі показники для віскозиметра табл.4.1

Положення перемикача коробки передач		S2	
I	II	Dr	f
	1b	0,500	200,0
	2b	0,900	111,1
1a		1,000	100,0
	3b	1,500	66,50
2a		1,800	55,60
	4b	2,700	37,04
3a		3,000	33,33
	5b	4,500	22,22
4a		5,400	18,52
	6b	8,100	12,34
5a		9,000	11,11
	7b	13,50	7,410
6a		16,20	6,170
	8b	24,30	4,115
7a		27,00	3,704
	9b	40,50	2,469
8a		48,60	2,058
	10b	72,90	1,372
9a		81,00	1,234
	11b	121,5	0,823
10a		145,8	0,686
	12b	218,7	0,457
11a		243,0	0,411
12a		437,4	0,228

4.3.2. Порядок підготовки серії експериментів на базі віскозиметра

1. Підготовка до дослідження:

- Встановлюємо віскозиметр та підключаємо його до мережі.
- Перевіряємо встановлення нуля приладу.
- Заповнюємо місткість продуктом згідно з експериментом та встановлюємо на віскозиметр.

2. Проведення вимірювань:

- Вимірюємо коефіцієнт α на 24 швидкостях обертання робочого циліндра.
- Розраховуємо в'язкість продукту залежно від швидкості обертання.

3. Перехід до поршневого дозатора:

- Встановлюємо дозатор та підключаємо його до живлення.

4. Проведення багатофакторного експерименту:

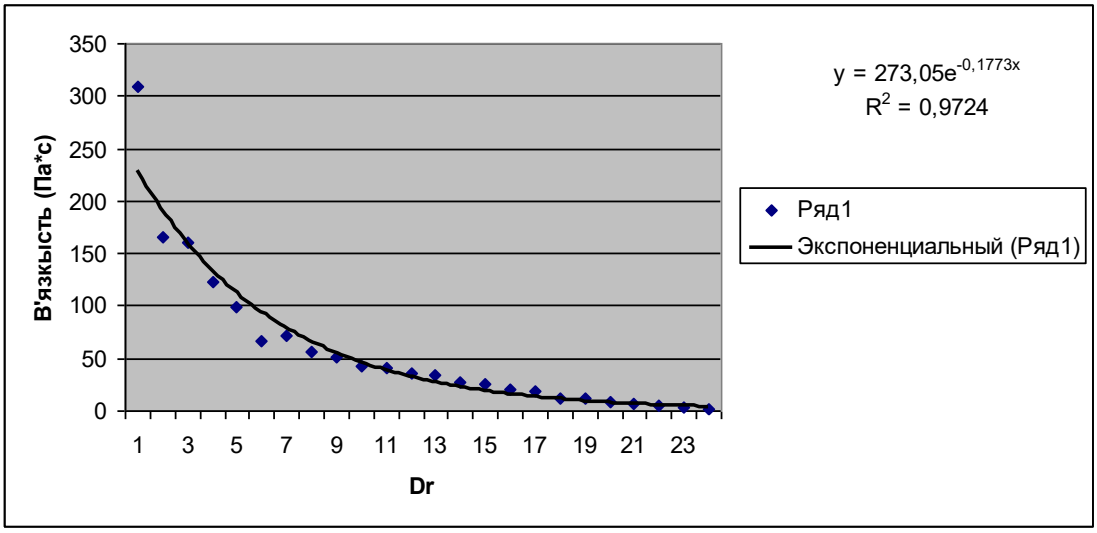
- Проводимо активний багатофакторний експеримент.
- Визначаємо оптимальні параметри дозування.

Результати дослідження

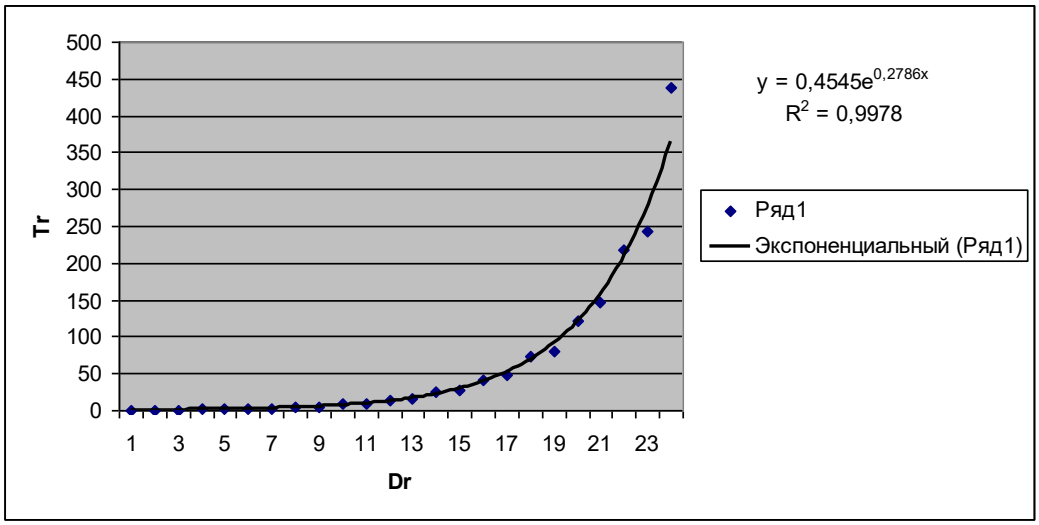
Продуктом є: Сметана яготинська *яготинська 15%* . Робочий параметр - температура: *23°C*

Швид-сть	**6a**	**8b**	**7a**	**9b**	**8a**	**10b**	**9a**	**11b**	**10a**	**12b**	**11a**	**12a**
n об/хв	9	13,5	15	22,5	27	40,5	45	67,5	81	122	135	243
Dr	16,2	24,3	27	40,5	48,6	72,9	81	122	146	219	243	437
a	45,5	56	59,5	67,5	74	72	81	80,5	84	84	84	84
Tr	541,4	666,4	708	803,25	880,6	856,8	963,9	957,95	999,6	999,6	999,6	999,6
В'язк. (Па*с)	33,42	27,42	26,2	19,8	18,11	11,9	11,9	7,8	6,8	4,56	4,1	2,4

Графік залежності зміни в’язкості



Графік залежності зміни дотичного напруження

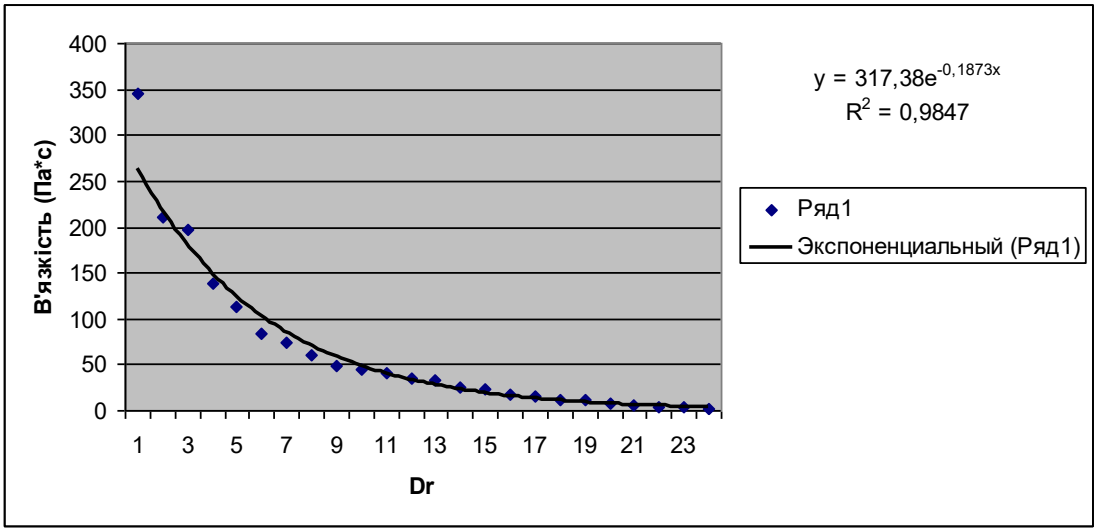


Продукт: *Сметана яготинська 15%* . Робоча температура: *16°C*

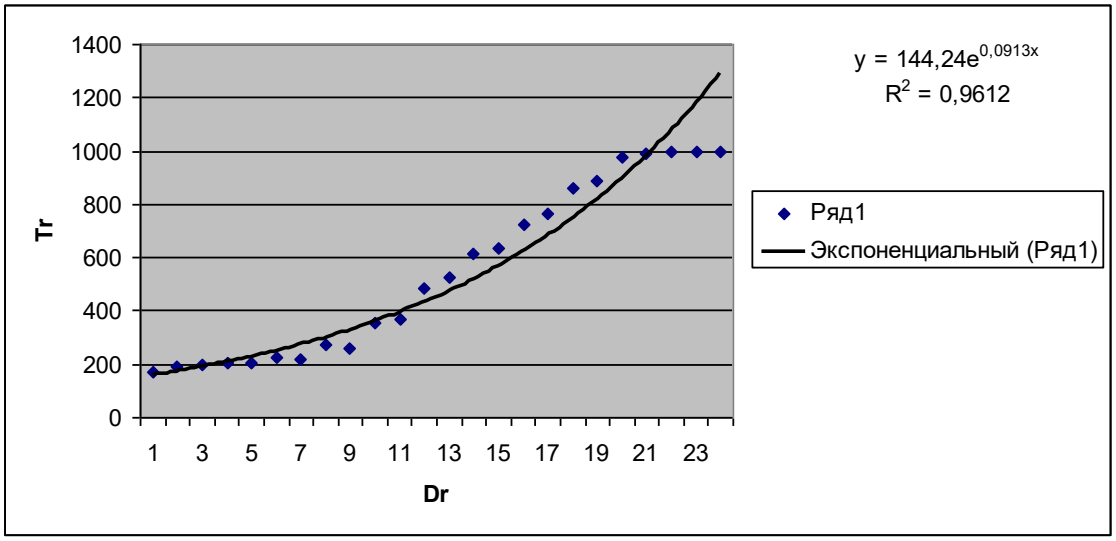
Швидкість	**1b**	**2б**	**1a**	**3b**	**2a**	**4b**	**3a**	**5b**	**4a**	**6b**	**5a**	**7b**
n ***об/хв***	0,28	0,5	0,55	0,83	1	1,5	1,67	2,5	3	4,5	5	7,5
Dr	0,5	0,9	1	1,5	1,8	2,7	3	4,5	5,4	8,1	9	13,5
a	14,5	16	16,5	17,5	17	19	18,5	23	22	30	31	40,5

Tr	172,55	190,4	196,35	208,25	202,3	226,1	220,15	273,7	261,8	357	368,9	481,95
В'яз-ть (Па*с)	345,1	211	196,3	138,8	112	83,7	73,33	60,8	48,4	44	40,9	35,7
Швидкість	6a	8b	7a	9b	8a	10b	9a	11b	10a	12b	11a	12a
n об/хв	9	13,5	15	22,5	27	40,5	45	67,5	81	122	135	243
Dr	16,2	24,3	27	40,5	48,6	72,9	81	122	146	219	243	437
a	44	51,5	53,5	61	64,5	72,5	74,5	82	83,5	84	84	84
Tr	523,6	612,85	636,65	725,9	767,55	862,75	886,55	975,8	993,65	999,6	999,6	999,6
В'язкість (Па*с)	32,3	25,2	23,5	17,96	15,71	11,8	10,9	7,99	6,822	4,564	4,11	2,2

Графік залежності змін в’язкості



Графік залежності змін дотичного напруження



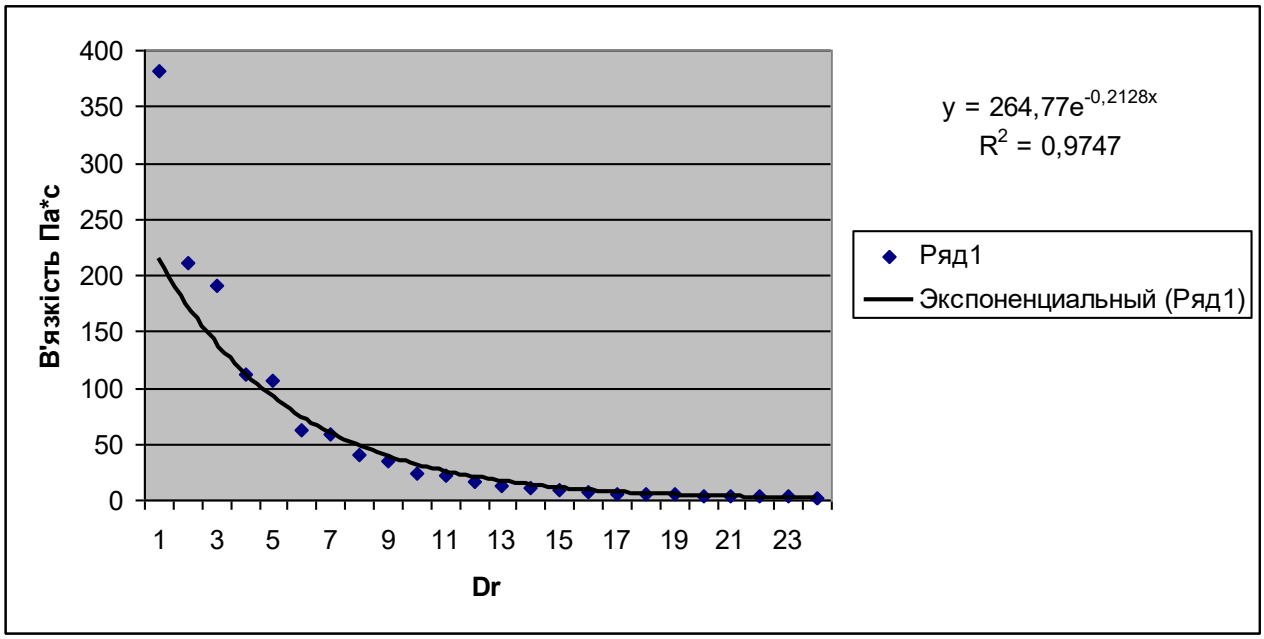
Продукт: Розчин крохмалю в воді. Робоча температура: 16 $^{\circ}C$

Швидкість	**1b**	**2a**	**1a**	**3b**	**2a**	**4b**	**3a**	**5b**	**4a**	**6b**	**5a**	**7b**
n (об/хв)	0,28	0,5	0,55	0,83	1	1,5	1,67	2,5	3	4,5	5	7,5
Dr	0,5	0,9	1	1,5	1,8	2,7	3	4,5	5,4	8,1	9	13,5
a	16	16	16	14	16	14	15	15	15,5	16	16	18
Tr	190,4	190,4	190,4	166,6	190,4	166,6	178,5	178,5	184,45	190,4	190,4	214,2
В'язкість (Па*с)	380,8	211,5556	190,4	111,0667	105,7778	61,7037	59,5	39,66667	34,15741	23,50617	21,15556	15,86667

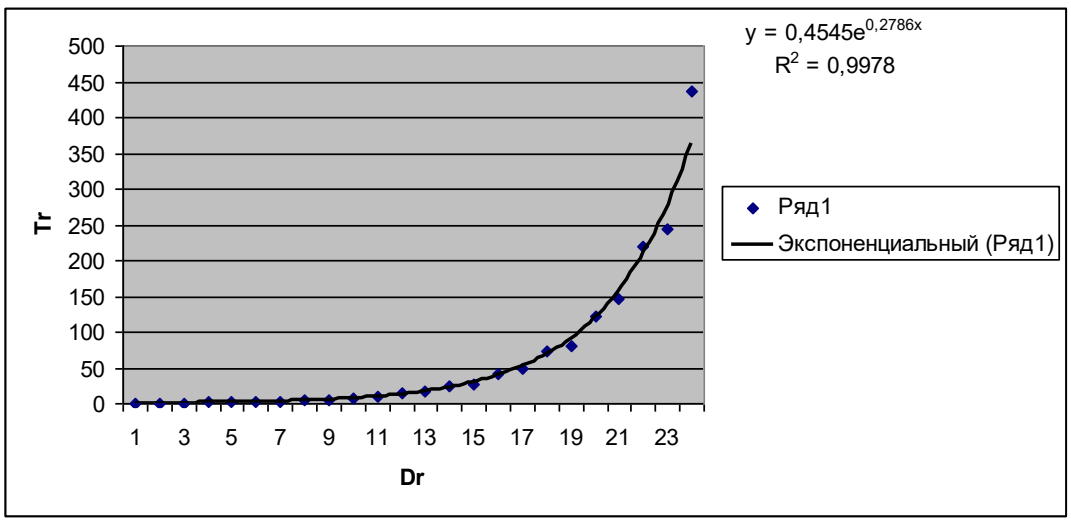
Швидкість	**6a**	**8b**	**7a**	**9b**	**8a**	**10b**	**9a**	**11b**	**10a**	**12b**	**11a**	**12a**
n (об/хв)	9	13,5	15	22,5	27	40,5	45	67,5	81	122	135	243
Dr	16,2	24,3	27	40,5	48,6	72,9	81	122	146	219	243	437
a	18	21	21	24	26	31	32	40	41	60	60	82

Tr	214,2	249,9	249,9	285,6	309,4	368,9	380,8	476	487,9	714	714	975,8
В'язкість (Па*с)	13,22222	10,28395	9,255556	7,051852	6,366255	5,060357	4,701235	3,901639	3,341781	3,260274	2,938272	2,232952

Графік залежності змін в'язкості



Графік залежності змін дотичного напруження

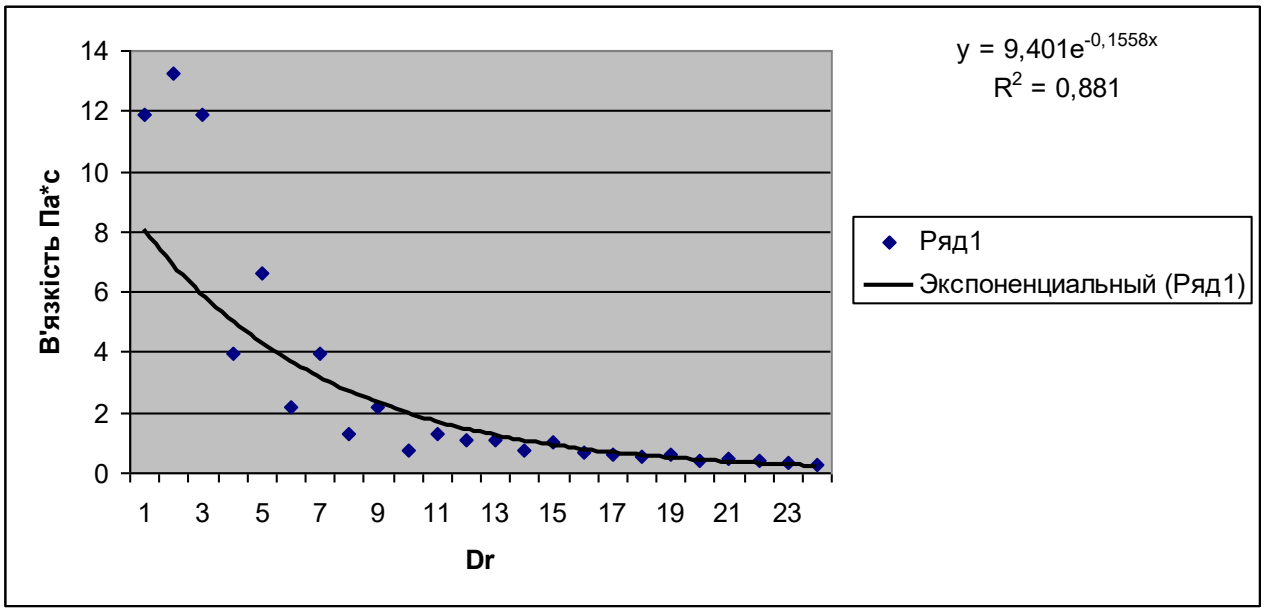


Продукт: *Суміш крохмалю в воді.* Робоча температура: *23°C*

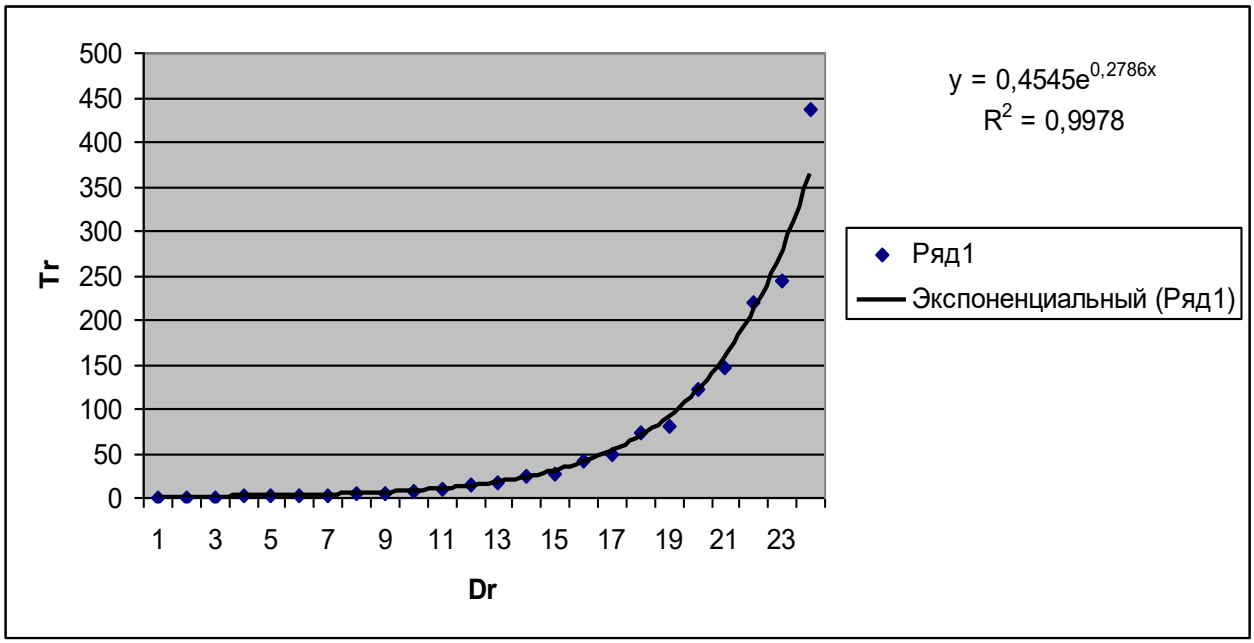
Швидкість	**1b**	**2a**	**1a**	**3b**	**2a**	**4b**	**3a**	**5b**	**4a**	**6b**	**5a**	**7b**
n (об/хв)	0,28	0,5	0,55	0,83	1	1,5	1,67	2,5	3	4,5	5	7,5
Dr	0,5	0,9	1	1,5	1,8	2,7	3	4,5	5,4	8,1	9	13,5
a	0,5	1	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1,25
Tr	5,95	11,9	11,9	5,95	11,9	5,95	11,9	5,95	11,9	5,95	11,9	14,875
В'язкість (Па*с)	11,9	13,22222	11,9	3,966667	6,611111	2,203704	3,966667	1,322222	2,203704	0,734568	1,322222	1,101852

Швидкість	**6a**	**8b**	**7a**	**9b**	**8a**	**10b**	**9a**	**11b**	**10a**	**12b**	**11a**	**12a**
n (об/хв)	9	13,5	15	22,5	27	40,5	45	67,5	81	122	135	243
Dr	16,2	24,3	27	40,5	48,6	72,9	81	122	146	219	243	437
a	1,5	1,5	2,25	2,25	2,5	3,5	4	4,5	5,5	7	7,5	10,5
Tr	17,85	17,85	26,775	26,775	29,75	41,65	47,6	53,55	65,45	83,3	89,25	124,95
В'язкість (Па*с)	1,101852	0,734568	0,991667	0,661111	0,61214	0,571331	0,587654	0,438934	0,448288	0,380365	0,367284	0,285927

Графік залежності змін в’язкості



Графік залежності змін дотичного напруження

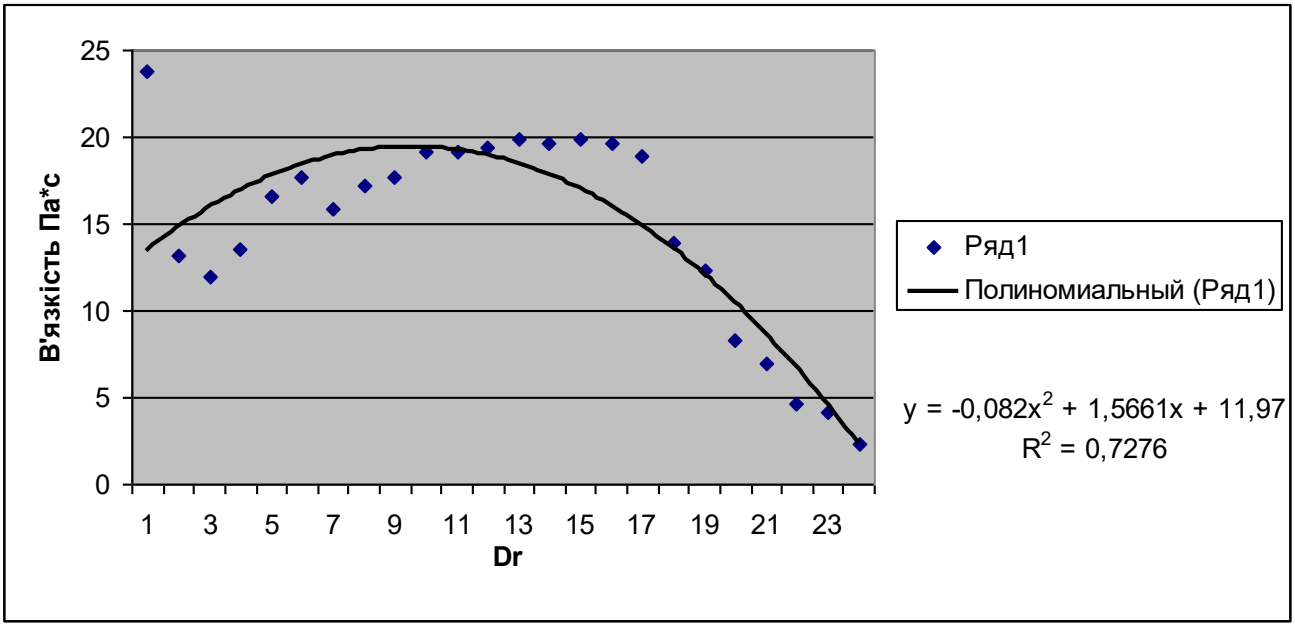


Продукт: Топінг «Вишневий». Робоча температура: ***16***$^{\circ}C$

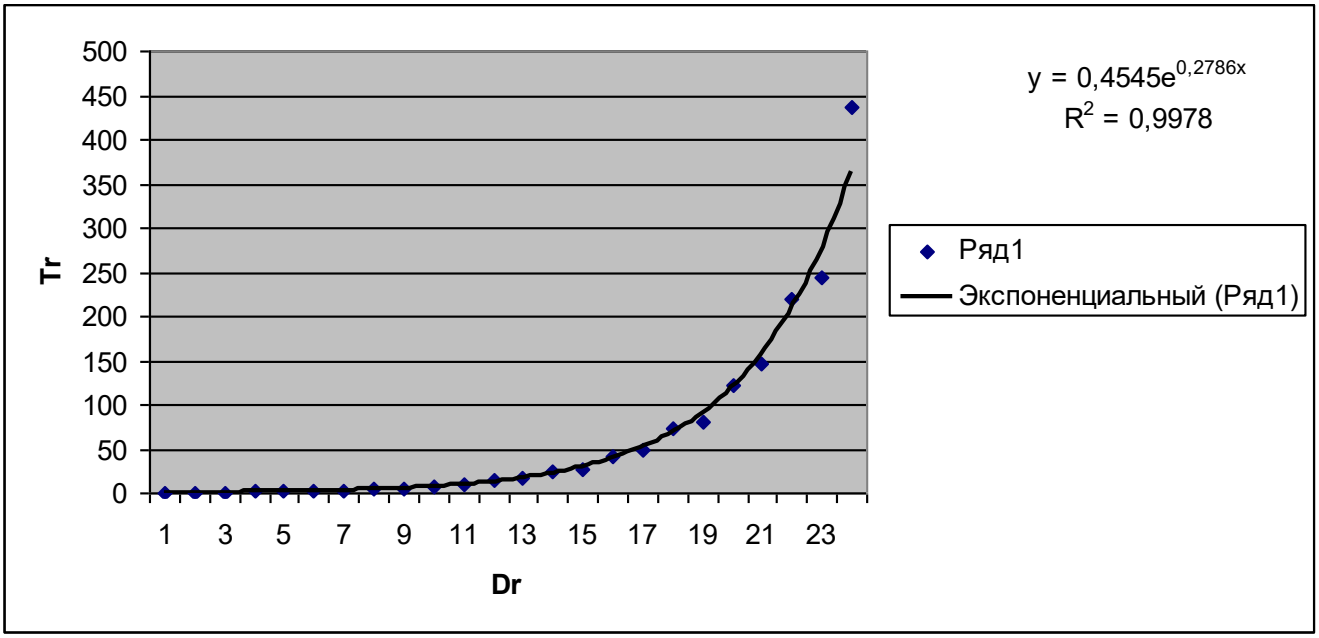
Швидкість	**1b**	**2a**	**1a**	**3b**	**2a**	**4b**	**3a**	**5b**	**4a**	**6b**	**5a**	**7b**
n (об/хв)	0,28	0,5	0,55	0,83	1	1,5	1,67	2,5	3	4,5	5	7,5
Dr	0,5	0,9	1	1,5	1,8	2,7	3	4,5	5,4	8,1	9	13,5
a	1	1	1	1,7	2,5	4	4	6,5	8	13	14,5	22
Tr	11,9	11,9	11,9	20,23	29,75	47,6	47,6	77,35	95,2	154,7	172,55	261,8
В'язкість (Па*с)	23,8	13,22222	11,9	13,48667	16,52778	17,62963	15,86667	17,18889	17,62963	19,09877	19,17222	19,39259

Швидкість	**6a**	**8b**	**7a**	**9b**	**8a**	**10b**	**9a**	**11b**	**10a**	**12b**	**11a**	**12a**
n (об/хв)	9	13,5	15	22,5	27	40,5	45	67,5	81	122	135	243
Dr	16,2	24,3	27	40,5	48,6	72,9	81	122	146	219	243	437
a	27	40	45	67	77	85	84	85	85	85	85	85
Tr	321,3	476	535,5	797,3	916,3	1011,5	999,6	1011,5	1011,5	1011,5	1011,5	1011,5
В'язкість (Па*с)	19,83333	19,58848	19,83333	19,68642	18,85391	13,87517	12,34074	8,290984	6,928082	4,618721	4,162551	2,314645

Графік залежності змін в'язкості



Графік залежності змін дотичного напруження



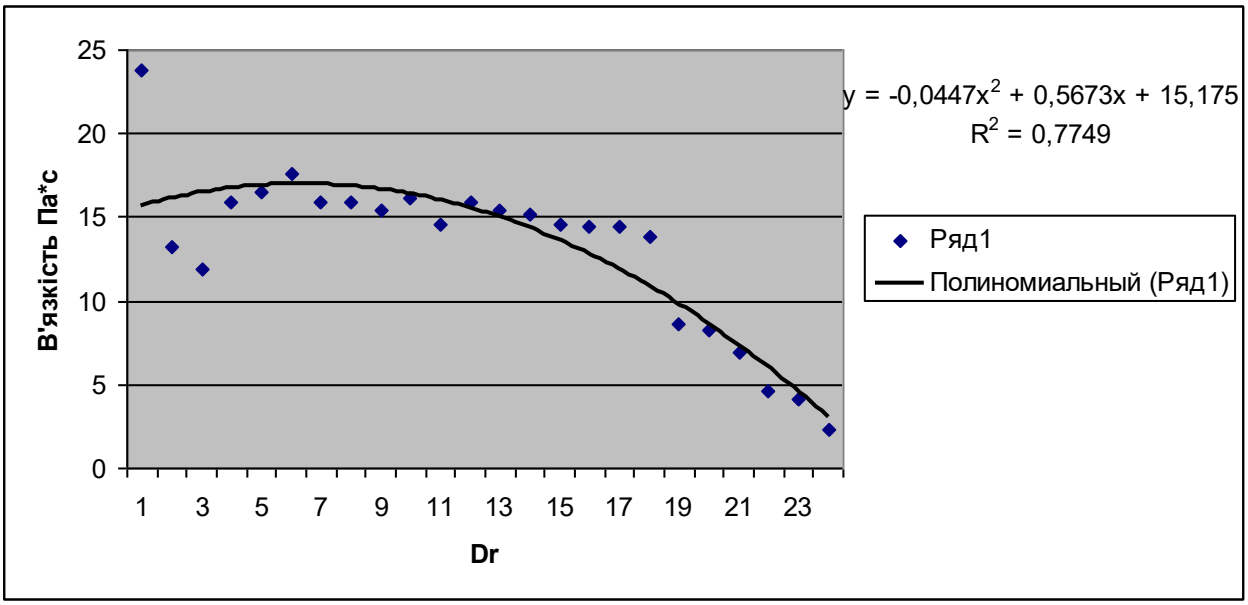
Продукт: *Топінг «Вишневий».* Робоча температура: *23°C*

Швидкість	1b	2a	1a	3b	2a	4b	3a	5b	4a	6b	5a	7b

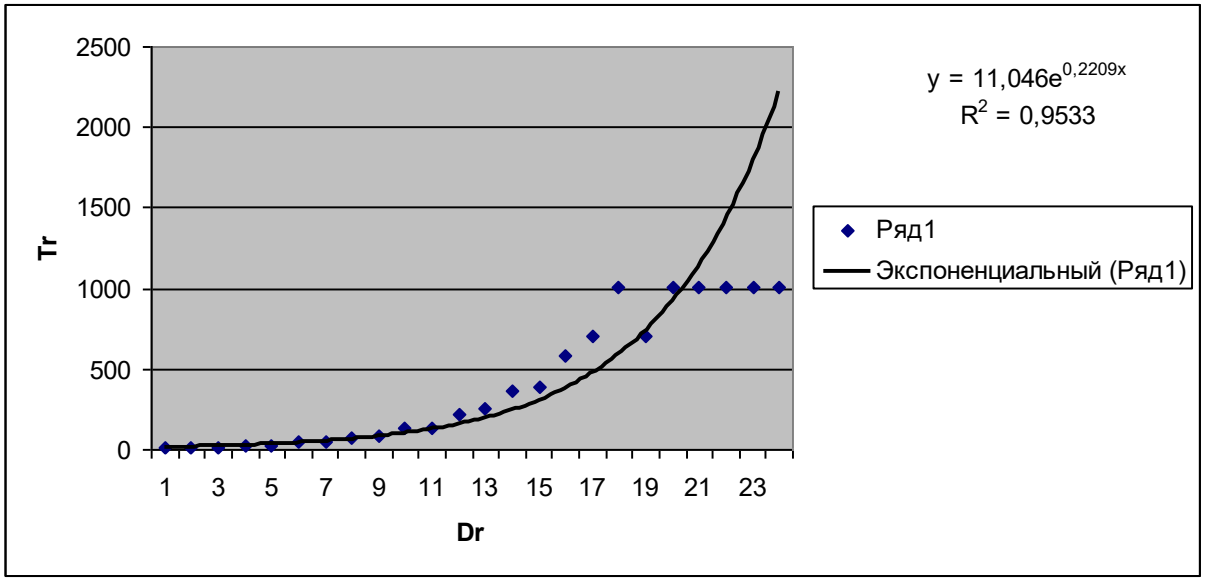
n *(об/хв)*	0,28	0,5	0,55	0,83	1	1,5	1,67	2,5	3	4,5	5	7,5
Dr	0,5	0,9	1	1,5	1,8	2,7	3	4,5	5,4	8,1	9	13,5
a	1	1	1	2	2,5	4	4	6	7	11	11	18
Tr	11,9	11,9	11,9	23,8	29,75	47,6	47,6	71,4	83,3	130,9	130,9	214,2
В'язкість *(Па*с)*	23,8	13,22222	11,9	15,86667	16,52778	17,62963	15,86667	15,86667	15,42593	16,16049	14,54444	15,86667

Швидкість	6a	8b	7a	9b	8a	10b	9a	11b	10a	12b	11a	12a
n *(об/хв)*	9	13,5	15	22,5	27	40,5	45	67,5	81	122	135	243
Dr	16,2	24,3	27	40,5	48,6	72,9	81	122	146	219	243	437
a	21	31	33	49	59	85	59	85	85	85	85	85
Tr	249,9	368,9	392,7	583,1	702,1	1011,5	702,1	1011,5	1011,5	1011,5	1011,5	1011,5
В'язкість *(Па*с)*	15,42593	15,18107	14,54444	14,39753	14,4465	13,87517	8,667901	8,290984	6,928082	4,618721	4,162551	2,314645

Графік залежності змін в'язкості



Графік залежності зміни дотичного напруження



4.4. Опис. Експериментальні дослідження поршневого дозатора

4.4.1. Принцип дії експериментальної установки

Поршневий дозатор складається з таких основних частин (рис.4.5.):

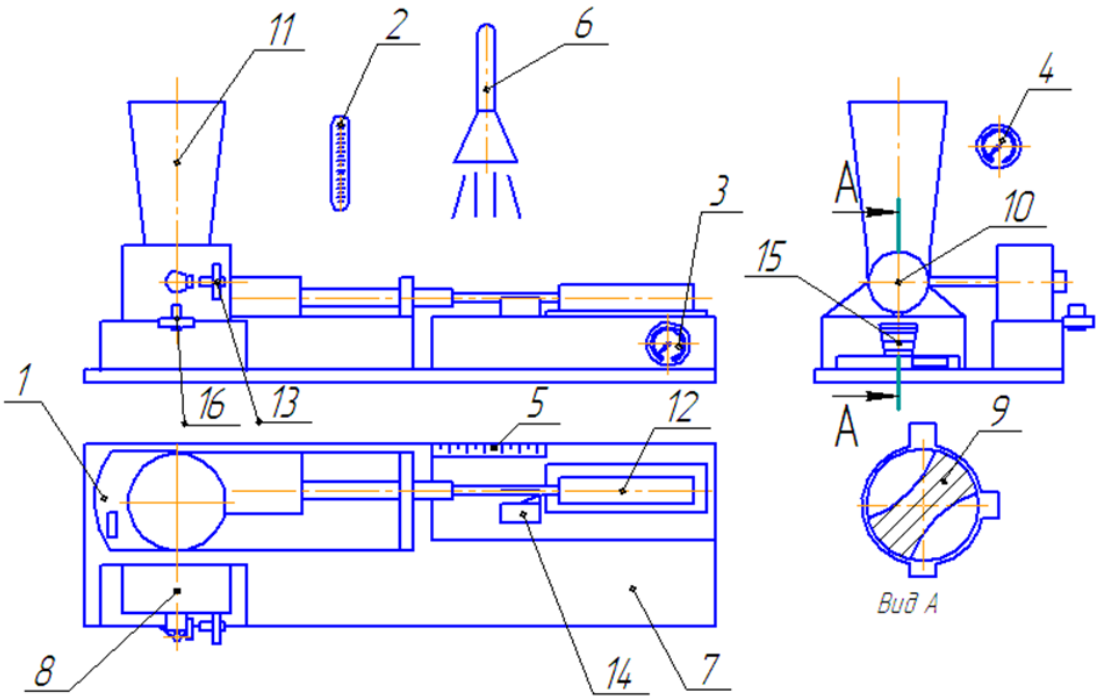


Рис.4.5

1. Ваги: для вимірювання маси досліджуваних речовин. **2. Термометр:** для вимірювання температури досліджуваних речовин. **3. Манометр:** для вимірювання тиску в системі. **4. Секундомір:** для вимірювання часу витікання рідини з дозатора. **5. Лінійка:** для вимірювання геометричних параметрів досліджуваних об'єктів. **6. Цифрова відеокамера:** для візуалізації та реєстрації процесів, що відбуваються в установці.

На рамі (7) монтуються:

8. Привід золотника, який використовується для керування золотником (9), що регулює потік рідини. **10. Каркас дозатора,** який слугує основою для монтажу дозатора. **11. Бункер:** для зберігання досліджуваної рідини. **12. Привід поршня:** для керування поршнем дозатора.

Датчики:

13. Кінцевий датчик: фіксує момент початку витікання рідини з дозатора. **14. Кінцевий датчик:** фіксує момент закінчення витікання рідини з дозатора. **16. Кінцевий датчик:** контролює рівень рідини в бункері.

15. Споживча тара: використовується для збирання рідини, що витікає з дозатора.

Взаємодія елементів:

- Досліджувана рідина знаходиться в бункері.
- Привід поршня приводить в рух поршень, який витісняє рідину з бункера.
- Золотник регулює потік рідини.
- Рідина витікає з дозатора в споживчу тару.
- Датчики фіксують час витікання рідини, а також рівень рідини в бункері.
- Цифрова відеокамера використовується для візуалізації та реєстрації процесів, що відбуваються в установці.

За допомогою даної установки можна досліджувати:

- Властивості досліджуваних рідин.
- Характеристики роботи дозатора.
- Вплив різних факторів на процес дозування.

Операція дозування для в’язкого харчового продукту у полімерний стаканчик здійснюється поршневим дозатором та одночасно фіксується контрольними вимірювальними пристроями.

4.4.2. Опис структури системи керування

При натисканні нефіксованої електричної кнопки S1 (рис. 4.4) сигнал подається на пілот Y1, який перемикається (рис. 4.6 а, б). Це, в свою чергу, призводить до подачі повітря на вхід пневмодвигуна 8 (рис. 4.4). За допомогою жорсткого з'єднання пневмодвигун 8 передає крутний момент золотнику 9, який змінює своє положення на 90 градусів.

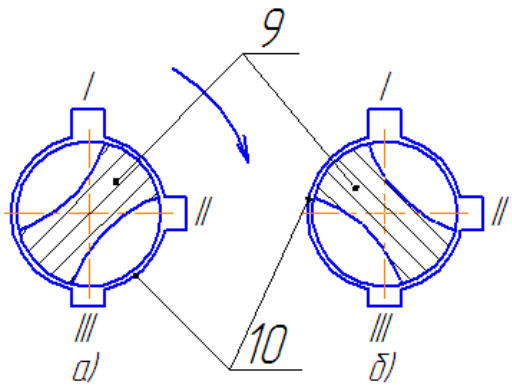


Рис.4.6.(а,б) Робочі положення запірного золотника у дозуючому каналі при холостому ході

При переході золотника 9 в положення, зображене на рис. 4.6.б, канали I (вхід продукту) та II (канал мірного циліндра) з'єднуються. Це активує кінцевий датчик 13, який ініціює переміщення поршня за допомогою пневмоциліндра 12. Після фіксації датчиком 14 втягнення пневмоциліндра 12, що свідчить про завершення відбору дози, повітря подається на Y2. Це, в свою чергу, призводить до повороту золотника 9, повертаючи його в початкове положення. Даний процес описує роботу пневматичного дозатора. Переміщення поршня 12 призводить до заповнення мірного циліндра продуктом. Датчики 13 та 14 використовуються для контролю та синхронізації роботи дозатора. Золотник 9 є ключовим елементом, який керує потоком повітря та, відповідно, роботою дозатора.

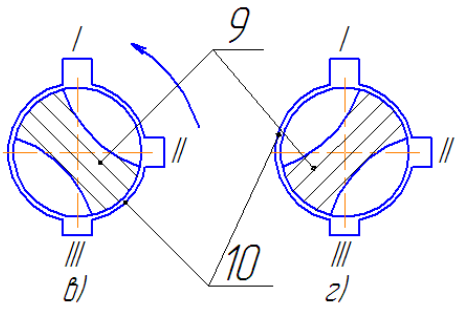


Рис.4.7. Робоче положення для золотника у дозувальному каналі при робочому ході

Після з'єднання каналів II (канал мірного циліндра) та III (відвідний патрубок) (рис. 4.7.) кінцевий датчик 16 подає сигнал на Y4, вимикаючи його. Це призводить до переміщення поршня, який виштовхує продукт в споживчу тару 15. Тара розміщена на електронних вагах 1, які використовуються для вимірювання точності дози.

4.5. Умови проведення факторного експерименту другого порядку для поршневого дозатора

Визначаємо інтервали варіювання параметрів впливу на процес дозування. Визначаємо значимість основних досліджуваних параметрів за табл.4.2. використовуючи основні способи обробки багатофакторного рівняння.

Заміри для сметани яготинської 15% Табл. 4.2.

Інтервали варіювання	x_1 (P, МПа)	x_2 (V, м/с)	x_3 (τ)
Нульовий рівень	0,5	0,12	250
Крок варіювання	0,1	0,06	20
Нижній рівень	0,4	0,06	230
Верхній рівень	0,6	0,18	270

Факторний експеримент другого порядку дозволяє дослідити вплив факторів на досліджуваний об'єкт та описати його поведінку нелінійним поліноміальним рівнянням.

$$y = b_0 + \sum_{i}^{n} b_i x_i + \sum_{i,j}^{n} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i}^{n} b_{ii} x_i^2.$$

Для даного випадку

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_2 x_3 + b_8 x_1^2 + b_9 x_2^2 + b_{10} x_3^2.$$

Визначимо необхідну кількість дослідів:

$$N = N_n + N_\alpha + N_0 = 2^n + 2n + 1 = 2^3 + 2 \cdot 3 + 1 = 15$$

Тоді план експерименту набуде вигляду:

Кодування. Для отримання ортогональних планів другого порядку необхідно провести деякі перетворення стовпців квадратичних змінних та стовпця z0. Це викликано неортогональністю стовпчиків матриці планування, оскільки

$$\sum_{u=1}^{N} z_{0u} z_{iu}^2 \neq 0; \qquad \sum_{u=1}^{N} z_{iu}^2 z_{ju}^2 \neq 0.$$

Для ортогональності вихідного плану введемо перетворення

$$z_i' = z_i^2 - \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} z_{iu}^2 = z_i^2 - \bar{z}_i^2$$

тоді

$$\sum_{u=1}^{N} z_{0u} z_{iu}' = \sum_{u=1}^{N} z_{0u} z_i^2 - \sum_{u=1}^{N} z_{0u} z_i^2 = 0$$

Знаходимо значення xil:

1-10,952/15,0 =0,27

0-10,952/15,0 =-0,73

1,21512-10,95/15,0 =0,746

Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії

$$b_0' = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} y_u; \qquad b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N} z_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^{N} z_{iu}^2};$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^{N} z_{iu} z_{ju} y_u}{\sum_{u=1}^{N} (z_{iu} z_{ju})^2}; \qquad b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^{N} z'_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^{N} (z'_{iu})^2};$$

$$b'_0 = 15^{-1}(8{,}2 + 9{,}2 + 8{,}4 + 9{,}3 + 4{,}2 + 5{,}2 + 4{,}4 + 5{,}6 + 4{,}7 + 5{,}7 + 4{,}9 + 5{,}8 + 7{,}8 + 5 + 6) =$$

$$b_1 = 10{,}95^{-1}(8{,}2 - 9{,}2 + 8{,}4 - 9{,}3 + 4{,}2 - 5{,}2 + 4{,}4 - 5{,}6 + 4{,}7 \cdot 1{,}215 - 5{,}7 \cdot 1{,}215) = -0{,}48$$

$$b_2 = 10{,}95^{-1}(8{,}2 + 9{,}2 - 8{,}4 - 9{,}3 + 4{,}2 + 5{,}2 - 4{,}4 - 5{,}6 + 4{,}9 \cdot 1{,}215 - 5{,}8 \cdot 1{,}215) = -0{,}18$$

$$b_3 = 10{,}95^{-1}(8{,}2 + 9{,}2 + 8{,}4 + 9{,}3 - 4{,}2 - 5{,}2 - 4{,}4 - 5{,}6 + 7{,}8 \cdot 1{,}215 - 5 \cdot 1{,}215) = 1{,}745$$

$$b_4 = 8^{-1}(8{,}2 - 9{,}2 - 8{,}4 + 9{,}3 + 4{,}2 - 5{,}2 - 4{,}4 + 5{,}6) = 0{,}013$$

$$b_5 = 8^{-1}(8{,}2 - 9{,}2 + 8{,}4 - 9{,}3 - 4{,}2 + 5{,}2 - 4{,}4 + 5{,}6) = 0{,}038$$

$$b_6 = 8^{-1}(8{,}2 + 9{,}2 - 8{,}4 - 9{,}3 - 4{,}2 - 5{,}2 + 4{,}4 + 5{,}6) = 0{,}038$$

$$b_7 = 8^{-1}(8{,}2 - 9{,}2 - 8{,}4 + 9{,}3 - 4{,}2 + 5{,}2 + 4{,}4 - 5{,}6) = -0{,}038$$

$$b_8 = 4{,}36^{-1}((8{,}2 + 9{,}2 + 8{,}4 + 9{,}3 + 4{,}2 + 5{,}2 + 4{,}4 + 5{,}6) \cdot 0{,}27 + (4{,}7 + 5{,}7) \cdot 0{,}746 -$$
$$- (4{,}9 + 5{,}8 + 7{,}8 + 5 + 6) \cdot 0{,}73) = 0{,}215$$

$$b_9 = 4{,}36^{-1}((8{,}2 + 9{,}2 + 8{,}4 + 9{,}3 + 4{,}2 + 5{,}2 + 4{,}4 + 5{,}6) \cdot 0{,}27 + (4{,}9 + 5{,}8) \cdot 0{,}746 -$$
$$- (4{,}7 + 5{,}7 + 7{,}8 + 5 + 6) \cdot 0{,}73) = 0{,}317$$

$$b_{10} = 4{,}36^{-1}((8{,}2 + 9{,}2 + 8{,}4 + 9{,}3 + 4{,}2 + 5{,}2 + 4{,}4 + 5{,}6) \cdot 0{,}27 + (7{,}8 + 5) \cdot 0{,}746 -$$
$$- (4{,}7 + 5{,}7 + 4{,}9 + 5{,}8 + 6) \cdot 0{,}73) = 1{,}028$$

Оцінки дисперсії знаходяться за формулою

$$S_{lj}^2 = (m-1)^{-1} \sum_{1}^{m=3} (\bar{y}_{lj} - y_{lj})^2$$

$$S_{1j}^2 = (3-1)^{-1}[(8{,}2 - 8{,}0)^2 + (9{,}2 - 9{,}1)^2 + (8{,}4 - 8{,}5)^2 + (9{,}3 - 9{,}1)^2 + (4{,}2 - 4{,}1)^2 +$$
$$+ (5{,}2 - 5{,}3)^2 + (4{,}4 - 4{,}6)^2 + (5{,}6 - 5{,}7)^2 + (4{,}7 - 4{,}8)^2 + (5{,}7 - 5{,}6)^2 + (4{,}9 - 4{,}8)^2 +$$
$$+ (5{,}8 - 5{,}9)^2 + (7{,}8 - 7{,}7)^2 + (5 - 4{,}9)^2 + (6 - 6{,}1)^2] = 0{,}12$$

$$S_{2j}^2 = (3-1)^{-1}[(8{,}2 - 8{,}3)^2 + (9{,}2 - 9{,}4)^2 + (8{,}4 - 8{,}5)^2 + (9{,}3 - 9{,}4)^2 + (4{,}2 - 4{,}4)^2 +$$
$$+ (5{,}2 - 5{,}3)^2 + (4{,}4 - 4{,}3)^2 + (5{,}6 - 5{,}4)^2 + (4{,}7 - 4{,}8)^2 + (5{,}7 - 5{,}9)^2 + (4{,}9 - 5{,}1)^2 +$$
$$+ (5{,}8 - 5{,}9)^2 + (7{,}8 - 7{,}7)^2 + (5 - 5{,}2)^2 + (6 - 5{,}8)^2] = 0{,}18$$

$$S_{3j}^2 = (3-1)^{-1}[(8{,}2 - 8{,}3)^2 + (9{,}2 - 9{,}1)^2 + (8{,}4 - 8{,}2)^2 + (9{,}3 - 9{,}4)^2 + (4{,}2 - 4{,}1)^2 +$$
$$+ (5{,}2 - 5)^2 + (4{,}4 - 4{,}3)^2 + (5{,}6 - 5{,}7)^2 + (4{,}7 - 4{,}5)^2 + (5{,}7 - 5{,}6)^2 + (4{,}9 - 4{,}8)^2 +$$
$$+ (5{,}8 - 5{,}6)^2 + (7{,}8 - 8)^2 + (5 - 4{,}9)^2 + (6 - 6{,}1)^2] = 0{,}15$$

Визначаємо суму дисперсій

$$\sum S_{lj}^2 = 0{,}12 + 0{,}18 + 0{,}15 = 0{,}45$$

Визначаємо розрахунковий за критерієм Кохрена

$$G_p = \frac{S^2_{\max}}{\sum S^2_{lj}} = \frac{0{,}18}{0{,}45} = 0{,}4$$

Для дослідження впливу факторів на процес дозування використовується факторний експеримент другого порядку. Цей метод дозволяє дослідити нелінійні залежності між факторами та досліджуваною характеристикою.

Експеримент проводиться згідно з планом, який враховує всі можливі комбінації значень факторів. Після проведення експерименту та збору даних, розраховуються дисперсії результатів дослідів при різних комбінаціях факторів.

Для перевірки однорідності дисперсій використовується критерій Кохрена. Якщо дисперсії однорідні, то можна використовувати методи регресійного аналізу для опису залежності між факторами та досліджуваною характеристикою. $f_1 = m - 1 = 3 - 1 = 2$

$f_2 = N = 15$

$G_{кр} = 0{,}7341$

Отримали Gp ≤ Gкр, маємо значення дисперсії однорідні і отримані дані є відтворювані в часі та просторі.

Визначаємо далі загальну дисперсію

$$S_0^2 = \frac{\sum_{1}^{m} S^2_{lj}}{N} = \frac{0{,}45}{15} = 0{,}03$$

Перевірка для отриманих коефіцієнтів на значущість за критерієм Стьюдента.

Визначаємо дисперсію коефіцієнтів

$$S^2_{b0} = \frac{S_0^2}{N} = \frac{0{,}03}{15} = 0{,}002$$

$$S^2_{bi} = \frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^{N} z^2_{iu}} = \frac{0{,}03}{10{,}95} = 0{,}0027$$

$$S^2_{bij} = \frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^{N} (z_{iu} z_{ju})^2} = \frac{0{,}03}{8} = 0{,}0038$$

$$S^2_{bii} = \frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^{N} (z'_i)^2} = \frac{0{,}03}{4{,}36} = 0{,}0069$$

Визначаємо середньоквадратичне відхилення

$$S_{b0} = \sqrt{S_{b0}^2} = \sqrt{0{,}002} = 0{,}045$$

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2} = \sqrt{0{,}0027} = 0{,}052$$

$$S_{bij} = \sqrt{S_{bij}^2} = \sqrt{0{,}0038} = 0{,}062$$

$$S_{bii} = \sqrt{S_{bii}^2} = \sqrt{0{,}0069} = 0{,}083$$

Визначаємо далі розрахунковий критерій Стьюдента

$$t_{pi} = \frac{|\beta_i|}{S_{\beta i}}$$

$$t_{p0} = \frac{6{,}293}{0{,}045} = 139{,}8; \qquad t_{p1} = \frac{0{,}485}{0{,}052} = 9{,}3;$$

$$t_{p2} = \frac{0{,}182}{0{,}052} = 3{,}55; \qquad t_{p3} = \frac{1{,}745}{0{,}052} = 33{,}6;$$

$$t_{p4} = \frac{0{,}013}{0{,}062} = 0{,}2; \qquad t_{p5} = \frac{0{,}038}{0{,}062} = 0{,}61;$$

$$t_{p6} = \frac{0{,}038}{0{,}062} = 0{,}61; \qquad t_{p7} = \frac{0{,}038}{0{,}062} = 0{,}61;$$

$$t_{p8} = \frac{0{,}215}{0{,}083} = 2{,}6; \qquad t_{p9} = \frac{0{,}317}{0{,}083} = 3{,}8;$$

$$t_{p10} = \frac{1{,}028}{0{,}083} = 12{,}4.$$

Визначаємонаступним - критичне (табличне) значення критерію Стьюдента

$$f = N(m-1) = 15(3-1) = 30$$

$$t_{кр} = 2{,}04$$

Порівнюємо tp та tкр., маємо - tp5, tp6, tp7 – не значущі, їх відкидаємо, решта членів полінома є значущі, оскільки tp ≥ tкр.

Тоді , рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y} = 6{,}293 - 0{,}485 z_1 - 0{,}182 z_2 + 1{,}745 z_3 + 0{,}215(z_1^2 - \bar{z}_1^2) + 0{,}317(z_2^2 - \bar{z}_2^2) + 1{,}028(z_3^2 - \bar{z}_3^2).$$

$$z_i' = z_i^2 - \bar{z}_i^2$$

Перевірка адекватності отриманого рівняння регресії за критерієм Фішера є важливим етапом дослідження. Цей критерій дозволяє порівняти дисперсію відхилень фактичних значень досліджуваної характеристики від

їхніх прогнозних значень, розрахованих за регресійним рівнянням, з дисперсією залишків.

Дисперсія відповідності характеризує ступінь відхилення фактичних значень від регресійної лінії, а дисперсія залишків - ступінь відхилення фактичних значень від прогнозних, розрахованих за регресійним рівнянням.

Якщо дисперсія відповідності значно більша за дисперсію залишків, то це свідчить про те, що регресійне рівняння не адекватно описує досліджувані дані.

$$S^2_{ад} = (N - l)^{-1} \sum_{1}^{N} (\hat{y}_j - \bar{y}_i)^2$$

Табл.4.6.

№ досліду	yi	yj	yi – yj	(yi – yj)2
1	8,2	8,0	0,2	0,04
2	9,2	9,1	0,1	0,01
3	8,4	8,3	0,1	0,01
4	9,3	9,1	0,2	0,04
5	4,2	4,1	0,1	0,01
6	5,2	5,1	0,1	0,01
7	4,4	4,3	0,1	0,01
8	5,6	5,4	0,2	0,04
9	4,7	4,6	0,1	0,01
10	5,7	5,5	0,2	0,04
11	4,9	4,8	0,1	0,01
12	5,8	5,7	0,1	0,01
13	7,8	7,6	0,2	0,04
14	5	4,8	0,2	0,04
15	6	5,9	0,1	0,01
Всього				0,33

$$S^2_{ад} = (15 - 7)^{-1} \cdot 0{,}33 = 0{,}041$$

Визначаємо розрахунковий за критерій Фішера

$$F_p = \frac{S^2_{ад}}{S^2_0} = \frac{0{,}041}{0{,}03} = 1{,}37$$

Визначаємо критичне (табличне) по значенню критерію Фішера за двома ступенями свободи

$f_1 = N - n - 1 = 15 - 3 - 1 = 11$

$f_2 = N(m-1) = 15(3-1) = 30$

$F_{кр} = 2{,}12$

Fp ≤ Fкр – отримане рівняння регресії є адекватним досліджуваному процесу.

$$\hat{y} = 6{,}293 - 0{,}485 z_1 - 0{,}182 z_2 + 1{,}745 z_3 + 0{,}215(z_1^2 - \bar{z}_1^2) + 0{,}317(z_2^2 - \bar{z}_2^2) + 1{,}028(z_3^2 - \bar{z}_3^2).$$

Спростимо рівняння регресії:

$$b_0 = b_0' - b_{11}\bar{z}_1^2 - b_{12}\bar{z}_2^2 - b_{13}\bar{z}_3^2 - b_{14}\bar{z}_4^2$$

$$\bar{z}_i^2 = z_i^2 - z_i'$$

$$b_0 = 6{,}293 - 0{,}215 \cdot 0{,}73 - 0{,}317 \cdot 0{,}73 - 1{,}028 \cdot 0{,}73 = 5{,}154$$

$$\hat{y} = 5{,}154 - 0{,}485 z_1 - 0{,}182 z_2 + 1{,}745 z_3 + 0{,}215 z_1^2 + 0{,}317 z_2^2 + 1{,}028 z_3^2.$$

Повернення кодованих змінних zi до xi.

$$z_i = \frac{x_i - x_{i(0)}}{\Delta x}$$

$$z_1 = \frac{x_1 - 0{,}5}{0{,}1}; \qquad z_2 = \frac{x_2 - 0{,}12}{0{,}06};$$

$$z_3 = \frac{x_3 - 250}{20}$$

Тоді рівняння регресії набуде вигляду:

$$y = 146{,}6 - 1{,}171\tau - 26{,}35P - 2{,}416V + 0{,}00257\tau^2 + 21{,}5P^2 + 0{,}881V^2.$$

Вплив факторів, наведених у таблиці 4.2., узагальнено в рівнянні регресії. Дослідити цей вплив можна за допомогою графіків залежності, представлених на рисунку 4.6 (а, б). Сформована модель на основі рівняння регресії може використовуватися для відстеження зміни параметрів P, V, t для продуктів з подібними рідко-механічними властивостями.

- Рівняння регресії описує кількісну залежність досліджуваної характеристики (P, V, t) від факторів, що впливають (табл. 4.2.).
- Графіки залежності дозволяють візуалізувати вплив факторів на досліджувану характеристику.

• Сформована модель може використовуватися для прогнозування значень P, V, t для нових продуктів з подібними рідко-механічними властивостями.

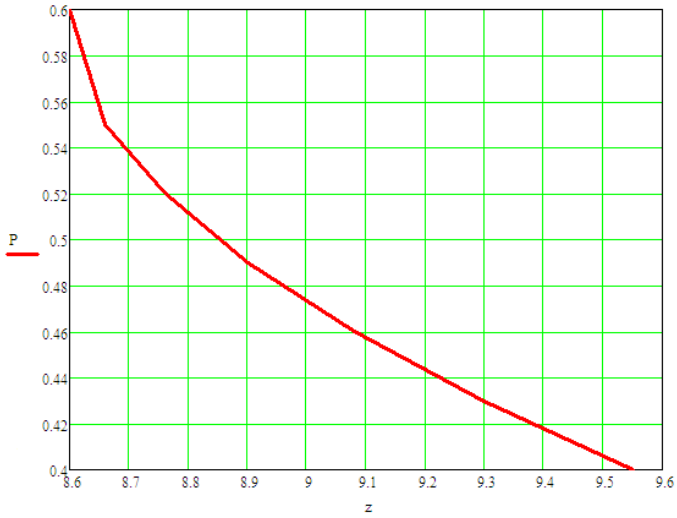


Рис.4.8 Вплив зміни тиску у магістралі на час дозування сметани яготинської 15%

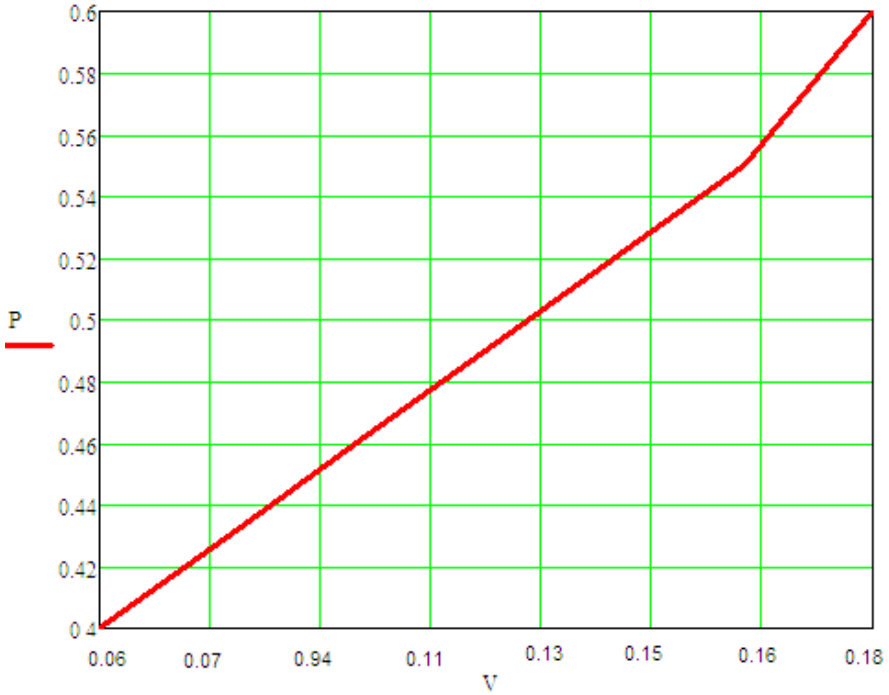


Рис.4.9 Вплив зміни швидкості для відбору дози з магістральним тиском

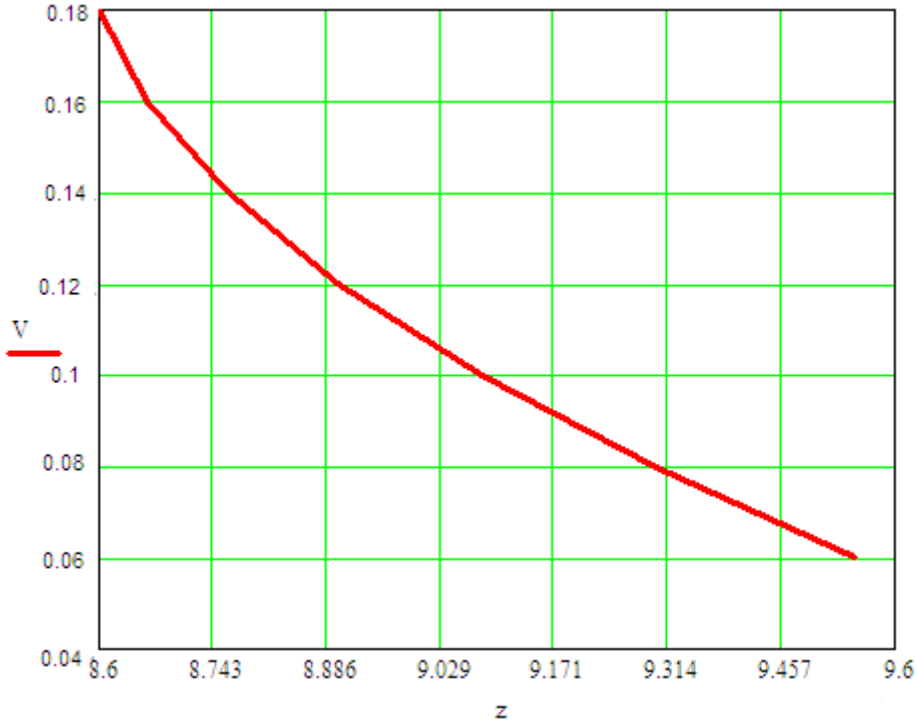


Рис.4.10 Вплив зміни для швидкості на час дозування сметани яготинської 15%

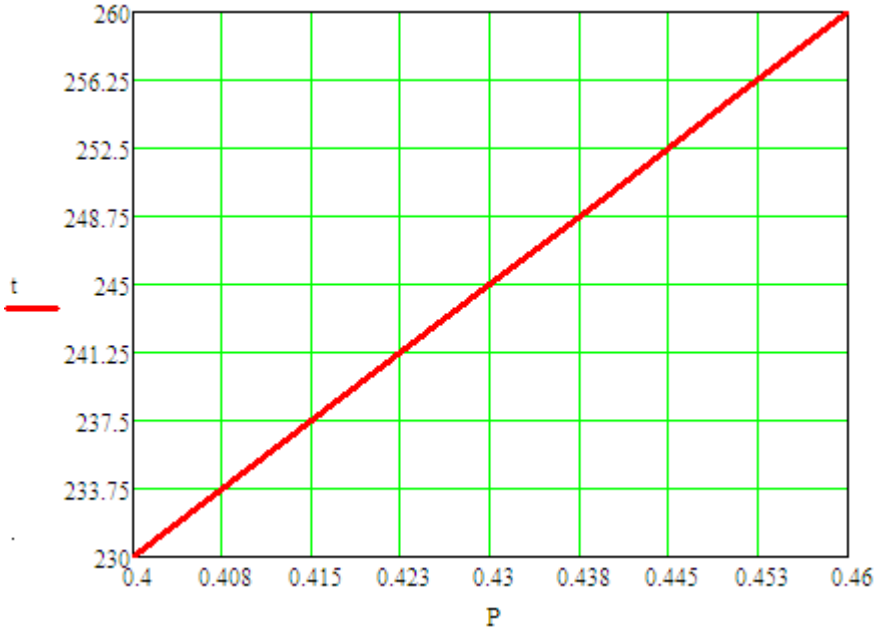


Рис.4.11. Вплив зміни магістрального тиску на динамічну в’язкість продукту.

Висновок до розділу 4

На основі отриманих даних можна зробити висновок про вплив параметрів тиску (P) і швидкості виділення дози (V) на тривалість дозувального процесу (t). Згідно з отриманим рівнянням регресії, найбільш впливовим фактором є тиск P.

Оптимальні параметри процесу, визначені в ході досліджень:

- Тиск (P): 4 – 4.7 МПа
- Швидкість виділення дози (V): 0.13 – 0.15 м/с

Знаючи ці дані, можна перейти до відтворення більш складної моделі процесу формування дози в поршневих дозаторах. Отримане рівняння регресії може бути рекомендовано для подальших розрахунків поршневих дозаторів при їх конструюванні.

Важливо зазначити, що:

- Рівняння регресії описує кількісну залежність тривалості дозування (t) від тиску (P) і швидкості виділення дози (V).
- Отримані результати свідчать про те, що тиск має більш значний вплив на тривалість дозування, ніж швидкість виділення дози.
- Рекомендовані параметри є оптимальними з точки зору мінімізації тривалості дозування.
- Отримане рівняння регресії може бути корисним інструментом для проектування поршневих дозаторів.

ВИСНОВОК ДО РОБОТИ

В ході дослідження були розроблені та досліджені інтегровані рішення пакувального обладнання для в'язких харчових продуктів на основі програмного моделювання.

Основні результати роботи:

Досліджено функціональні модулі машини для пакування в'язких харчових продуктів вертикального типу, зосередившись на механізмах подачі пакувального матеріалу, формування пакету, та з'єднання пакувальних матеріалів під тиском.

Проведено експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей пакувальних матеріалів, що використовуються для упаковки в'язких продуктів.

Розроблено імітаційні моделі машини дозування в'язких харчових продуктів в Anylogic для пошуку раціональних параметрів технологічного процесу пакування.

За допомогою методу оптимізаційного синтезу виділено функції, що описують декілька варіантів конструкції функціональних модулів пакувальної машини. На основі отриманих даних можна зробити висновок про вплив параметрів тиску (P) і швидкості виділення дози (V) на тривалість дозувального процесу (t). Згідно з отриманим рівнянням регресії, найбільш впливовим фактором є тиск P.

Визначено оптимальні конструктивні рішення пакувальної машини з точки зору енерговитрат та часу, необхідного для проведення технологічного процесу.

Запропоновано алгоритм імітаційного моделювання машини для пакування в'язких харчових продуктів вертикального типу з ошуком оптимальних параметрів енерговитрат, масовитрат та економічних затрат.

Практична значущість сформована у розроблених, в ході дослідження, та інтегрованих рішеннях для ФММ пакувального обладнання призначених для дозування в'язких харчових продуктів.

Результати можуть бути використані для:

Підвищення ефективності та продуктивності пакувального процесу.

Зниження енерговитрат та економічних витрат.

Поліпшення якості та безпечності упакованої продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

2. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. „Пакувальне обладнання”.- К.:ІАЦ „Упаковка”, 2008.-435с.

3. Kryvoplias-Volodina, L.; Gavva, A.; Sukhenko V., Tokarchuk, S., Myronchuk V. (2022) Synthesis of the control system for the positioning pneumatic drive of shut-off fittings according to the criteria of technological efficiency. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(2(118), 79–91.

4. Кодра, Ю.В. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: підруч. / Ю.В. Кодра, З.А. Стоцька. – Л.: Видав. «Львівська політехніка», 2004.– 468 с.

5. Пальчевський Б. О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. / Б. О. Пальчевський. – Львів: Світ, 2007. – 392 с.

6. Пальчевский Б. О. Основи САПР пакувального обладнання: навч. посіб./ Б. О. Пальчевский, О. А. Крестьянполь, Б. П. Валецький, Д. В. Бондарчук, В. С. Рак. [За ред. проф. Б. О. Пальчевського] – Луцьк.: РВВ ЛНТУ, 2008. – 160 с.

7. Устаткування для пакування харчових продуктів. Терміни та визначення: ДСТУ 2515-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 26 с. – (Державний стандарт України).

8. Термінологічний довідник пакувальника / Сторіжко Й. І., Гавва О. М., Беспалько А. Г., Волчко А. І. Київ: ІАЦ « Упаковка», 1999. – 80 с.

9. Пристрої устаткування для пакування функціональні. Терміни та визначення: ДСТУ 2379-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 21 с. – (Державний стандарт України).

10. Pat. № 6088994 A United States, B65B 9/06. Packaging machine incorporating device for adjusting position for cutting bads / Yukio Nakagawa, Masashi Kondo. – № 09/306481; Filed Jul. 18, 2000. – 16 p.

11. Пальчевский Б. А. Модульный принцип виртуального проектирования упаковочных машин / Б. А. Пальчевский // Автоматизация: проблемы, идеи и решения. Материалы междунар. науч.–техн. конф. − Севастополь: Изд–во СевНТУ, 2007. – С. 21−24.

12. Пат. № 38477 U України, МПК B65B 9/00. Автомат для пакування в'язких продуктів / Піддубний Ю.О.– № u200904352; Заявл. 05.05.2009; Опубл. 25.09.2009. Бюл. № 18. – 8 с.

13. Pat. № 4512138 United States, B65B 9/00. Form, fill and seal machine with hot gas and thermal impuls sealing / Eddie L. Greenavalt, Lake Jackson. – № 354589; Filed Mar. 4, 1982. – 9 p.

14. Пат. № 9758 C2 України, МПК 6 B65B9/06. Пристрій для виготовлення, наповнення продуктом і запечатування пакетів з термопластичного матеріалу / Задворняк С.К., Кобилюх Б. П., Яхимович С.В., Гончарова І.В., Гунька І.Й. – № 95094074; Заявл. 07.09.1995; Опубл. 15.05.2002. Бюл. № 5. – 3 с.

15. Пат. № 44269 U України, МПК B65B 9/00. Виконавчий пристрій установки для виготовлення, наповнення і герметизації пакетів з термопластичної плівки / Піддубний Ю.О. − № u200904352; Заявл. 05.05.2009; Опубл. 25.09.2009. Бюл. № 18. – 8 с.

16. Pat. № 5014497 United States, B65B 9/06. Method and apparatus for smoothing of bag making material in form, fill and seal machines / Michael J. McMahon. – № 490839; Filed Mar. 6, 1990. – 4 p.

17. Hannigan, K. (2019). Handbook of packaging engineering (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

18. Yam, K. L. (2012). Encyclopedia of food packaging. Boca Raton, FL: CRC Press.

19. Robertson, G. L. (2012). Food packaging: Principles and practice (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

20. Brody, A. L., & Marsh, K. S. (2011). The Wiley encyclopedia of packaging technology (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

21. Ahvenainen, R. (2003). Novel food packaging techniques. Woodhead Publishing.

22. Duncan, H. J. (2011). Shelf life evaluation of foods. New York: Springer Science+Business Media.

23. Taoukis, P. S., & Labuza, T. P. (2008). Bioactive packaging technologies for food applications. Boca Raton, FL: CRC Press.

24. Smith, J. R., & Hamel, J. W. (2001). Food packaging: Principles and practice. Boca Raton, FL: CRC Press.

25. O'Donnell, C. P., & Kemsley, J. K. (1997). Handbook of food packaging. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers.

26. Mathlouthi, M. (2006). Food packaging and shelf life: A practical guide. Boca Raton, FL: CRC Press.

27. Пальчевський Б. О. Модульні пакувальні машини: навч. посіб. / Б. О. Пальчевський. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2004. – 240 с.

28. Пальчевський Б. О. Модульні пакувальні машини: теорія, проектування, експлуатація: монографія / Б. О. Пальчевський. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2007. – 472 с.

29. Пальчевський Б. О., Крестьянполь О. А., Валецький Б. П. Основи САПР пакувального обладнання: навч. посіб. / Б. О. Пальчевський, О. А. Крестьянполь, Б. П. Валецький. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2008. – 160 с.

30. Пальчевський Б. О., Бондарчук Д. В. Модульні пакувальні машини: навч. посіб. / Б. О. Пальчевський, Д. В. Бондарчук. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – 240 с.