

**Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет  
Факультет робототехніки та штучного інтелекту  
Кафедра автоматизації та безпілотних систем**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗАГОРТУВАННЯ ЦУКЕРОК**

**AUTOMATION OF THE CANDY WRAPPING PROCESS**

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи АВ - 41  
**Каштелян Марк Анатолійович**

---

(підпис)

Керівник: д.т.н., професор  
**Повстяной Олександр Юрійович**

---

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Гарант освітньої програми:  
к.т.н., доцент  
**Решетило О. М.**

---

(підпис)

Луцьк – 2026

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *робототехніки та штучного інтелекту*

Кафедра *автоматизації та безпілотних систем*

Ступінь вищої освіти: *бакалавр*

Галузь знань: *15 Автоматизація та приладобудування*

Спеціальність: *151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології*

Освітня програма: *«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О. Ю. Повстяной

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Каптеляна Марка Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація процесу загорткування цукерок

керівник роботи Повстяной Олександр Юрійович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 31 " 12 2025 року N 307/01-04

2. Строк подання студентом роботи 1.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи технологічний процес загорткування цукерок

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз об'єкта керування, Обґрунтування ФСА, Обґрунтування ТЗА, Обґрунтування та опис принципових електричних схем, Програмне забезпечення системи автоматизації, Дослідження динамічних характеристик котлоагрегатів. Економічне обґрунтування

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

графічний матеріал виконано у вигляді презентації, яка складається з 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 5</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 6</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 7</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 8</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>			
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 31.12.2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

N з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Аналіз об'єкта керування</i>	<i>20.02.2026 р.</i>	
2	<i>Обґрунтування вибору функціональної схеми</i>	<i>10.03.2026 р.</i>	
3	<i>Обґрунтування вибору ТЗА</i>	<i>20.03.2026 р.</i>	
4	<i>Обґрунтування і опис принципів електричних схем</i>	<i>1.04.2026 р.</i>	
5	<i>Програмне забезпечення систем автоматизації</i>	<i>10.04.2026 р.</i>	
6	<i>Розрахункова частина</i>	<i>20.04.2026 р.</i>	
7	<i>Економічне обґрунтування</i>	<i>1.05.2026 р.</i>	
8	<i>Оформлення роботи</i>	<i>1.06.2026 р.</i>	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Каштелян М. А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Повстяной О. Ю.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Каштелян М. А. Автоматизація процесу загортування цукерок. Рукопис.  
Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Метою роботи є аналіз технологічного процесу загортування цукерок, визначення факторів, які впливають на точність дозування та загортування з розробкою автоматизованої системи керування цим процесом.

Практична новизна полягає у проведеному комплексному аналізі дозування та загортування цукерок як об'єкта управління, визначенні основних операцій, що впливають на якість і точність, а також у розробці програмних регуляторів та обґрунтуванні оптимальних параметрів процесу.

Обсяг пояснювальної записки становить 50 друкованих сторінок. Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи складає 10 слайдів презентації.

Ключові слова: дозування, технологічні параметри, загортування, LabVIEW.

					А та БС - 004.00.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Каштелян М.			Автоматизація процесу загортування цукерок	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Повстяной О.					4	
Н. контр.		Лапченко Ю.С				ЛНТУ, гр. АВ-41		
Затв.		Гуменюк Л.О.						

## ANNOTATION

Kashtelyan M. Automation of the candy wrapping process. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Automation and computer-integrated technologies". Lutsk National Technical University, Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, eight chapters, conclusions, a list of used sources, and appendices.

The purpose of the work is to design an automation system for the technological process of obtaining carbon dioxide and water vapor using boiler units.

The practical novelty lies in the remote control, which allows operational personnel to start and stop the steam generator unit, as well as control its mechanisms from a centralized control point equipped with appropriate control and regulation means.

The volume of the explanatory note is 50 printed pages. The volume of the graphic part of the qualification work is 10 presentation slides.

Keywords: dosing, technological parameters, wrapping, LabVIEW

					А та БС - 004.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



# ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	
1.1 Загальна характеристика технологічного процесу загорткування цукерок.....	
1.2 Системи керування .....	
1.3 Параметри технологічного процесу .....	
1.4 Вимоги до системи автоматизації .....	
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	
4.1 Обґрунтування вибору датчиків.....	
4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів і регулюючих органів .....	
4.3 Обґрунтування вибору контролера .....	
4.4 Обґрунтування вибору джерела живлення.....	
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА САК РІВНЕМ СИПКОГО ПРОДУКТУ В БУНКЕРІ.	
5.1 Застосування методів імітаційного моделювання для дослідження асимптотичного руху дозатора та контролю рівня цукерок .....	
5.2 Системи управління процесом дозування харчових продуктів .....	
5.3 Застосування методології управління приводом у технологічному процесі пакування цукерок .....	
5.4 Рівень сипкого продукту у бункері, як координата процесу управління дозуванням та обгорткування .....	
5.5 Постановка завдання керування процесом дозування та	

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обгорткування цукерок.....	
РОЗДІЛ 6 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	
РОЗДІЛ 7 ПРОГРАМА ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНТРОЛЕРА.....	
7.1 Розробка функціонального графа процесу керування .....	
7.2 Розробка принципової схеми керування машиною-автоматом .....	
7.3 Розробка функціонального графа процесу керування машиною автоматом .....	
7.4 Розробка програмного забезпечення контролера .....	
РОЗДІЛ 8 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТКИ.....	

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Автоматизація технологічних процесів є важливим напрямом розвитку сучасної промисловості, зокрема в таких галузях, як харчова, хімічна, будівельна, де широко застосовуються сипкі матеріали. Процес загорткування є одним з ключових етапів виробництва, що визначає якість кінцевої продукції, ефективність використання ресурсів, зменшення відходів.

**Актуальність теми** обумовлюється низкою факторів:

1. Підвищення точності загорткування. Традиційні методи часто супроводжуються похибками, які призводять до зайвих витрат матеріалів або порушення рецептури. Автоматизовані системи, оснащені сучасними ваговими, об'ємними та поточними датчиками, забезпечують значне покращення точності.

2. Оптимізація енергоспоживання та продуктивності. Сучасні автоматизовані системи дозволяють знизити енергетичні витрати та скоротити час виконання технологічних операцій за рахунок застосування алгоритмів.

3. Покращення умов праці. Автоматизація загорткування зменшує фізичне навантаження на працівників та мінімізує їхній контакт з небезпечними або шкідливими речовинами.

4. Гнучкість і масштабованість. Автоматизовані системи забезпечують швидку адаптацію виробничих процесів до змін у кількості продукту, характеристиках та вимогах до кінцевої продукції.

5. Підвищення конкурентоспроможності. Впровадження автоматизації дозволяє підприємствам підтримувати стабільну якість продукції та знижувати витрати, отримуючи переваги на ринку.

6. Інтеграція з управлінськими системами. Сучасні автоматизовані рішення легко інтегруються з корпоративними інформаційними системами (MES, ERP), що забезпечує моніторинг та аналіз процесів у режимі реального часу.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Метою дослідження** є аналіз технологічного процесу загортування цукерок, визначення факторів, які впливають на точність загортування, та розробка автоматизованої системи керування цим процесом.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес загортування цукерок, а **предметом** – автоматизована система керування цим процесом. Методи, які використовуються, включають опис, порівняння, аналіз, синтез та системний підхід.

**Основні завдання роботи:**

- розробити автоматизовану систему управління на основі промислового контролера;
- проаналізувати технологічний процес як об'єкт керування;
- розробити функціональну схему системи;
- обрати відповідні датчики, виконавчі механізми та контролер;
- створити електричну схему підключення обладнання до контролера;
- розробити програмне забезпечення для системи;
- провести економічну оцінку ефективності впровадження системи.

Впровадження розробленої системи дозволить підвищити точність загортування цукерок та знизити енергоспоживання, що підтверджує її практичну значущість для автоматизації відповідного технологічного процесу.

**Практична значимість** полягає у проведеному комплексному аналізі загортування цукерок як об'єкта управління, визначенні основних операцій, що впливають на якість і точність, а також у розробці програмних регуляторів та обґрунтуванні оптимальних параметрів процесу.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1

### ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

#### 1.1 Загальна характеристика технологічного процесу загортування цукерок

У кондитерській промисловості найбільше широко поширені різні машини-напівавтомати й автомати для завертки карамелі, цукерок і ірису як найбільш масової продукції кондитерського виробництва. Ці машини звичайно складаються з наступних основних вузлів: живильника для виробів, живильника для обгорткового матеріалу, механізму подачі обгортки (щипців), механізму ножиців для відрізання обгортки, що транспортують пристроїв - ротора або транспортера, що загортають механізмів, привода.

Машини для загортування цукерок розрізняють по розташуванню робочого ротора (горизонтальному або вертикальному), по способах і видам завертки (із двосторонньої перекрутки кінців етикетки «у носок», в однобічну перекрутку - «бантик», в обтягування - при завертці у фольгу й ін.) і по способах живлення виробами (ручним або автоматичне) і обгортковим матеріалами (рулонним, флатовим або комбінованим).

У цей час мають поширення машини-напівавтомати з горизонтально розташованим ротором для завертки виробів у подвійну перекрутку, рідше - у носок, з ручними й автоматичними живильниками для виробів, переважно з рулонними живильниками для обгорткових матеріалів.

Останнім часом стали одержувати поширення також більше зроблені й продуктивні машини-автомати з вертикально розташованим ротором, автоматичними живильниками для виробів і рулонних живильників для обгорткових матеріалів (завертка карамелі, ірису й карамельних таблеток у тюбики).

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Машини-автомати стаканчикового типу (рис. 1.1) являють собою посудини, які заміряють масу цукерок, що пропускається, за її об'ємом:

$$M=V \rho, \quad (1.1)$$

де  $M$  – маса цукерок, кг;

$V$  – об'єм цукерок, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – насипна густина, кг/м<sup>3</sup>.

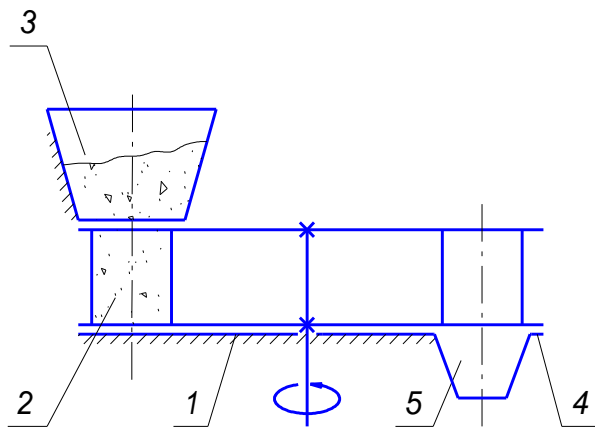
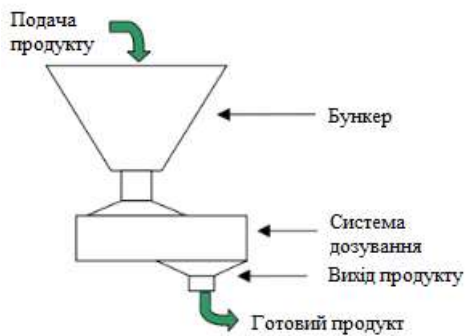


Рисунок 1.1 – Схема засипки та загортування стаканчиковим машиною-автоматом

Маса дозової порції цукерок регулюється шляхом зміни об'єму мірної ємності, що здійснюється шляхом корекції відстані між двома дисками за допомогою механізму 8 (рисунок 1.2).

Регулювання дози цукерок зазвичай виконується за допомогою

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



доза здійснюється заміна мірних склянок. Регулювання дози виконується серводвигуном без необхідності зупинки машини, часто безпосередньо з робочого місця контролю маси сипкого продукту. Використання дистанційного керування в останні роки суттєво розширило можливості застосування стаканчикових машин-автоматів на високопродуктивних пакувальних машинах.

## 1.2 Системи керування

Максимальна ефективність використання машин-автоматів досягається при застосуванні мікро-електронних обчислювальних машин (мікро-ЕОМ) в якості регулятора або його основи. Це дає змогу компенсувати вплив зовнішніх збурень, таких як параметри технологічного режиму, швидкість подачі та роботи дозатора, а також здійснювати дозування за заздалегідь заданою програмою. Крім того, така система забезпечує зручне відображення інформації оператору і передачу результатів дозування (наприклад, загального обсягу пропущеного сипкого продукту) на вищий рівень управління.

Керуючий контролер обчислює поточну продуктивність дозування та загортування цукерок та при необхідності формує коригувальний сигнал для регульованого частотного приводу (рисунок 1.3).

Система управління дозування та загортування, як правило, складається з трьох рівнів: рівня обробки даних, шафи контролю та управління, що включає дозатор як складову частину виконавчого механізму (ІМ).

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

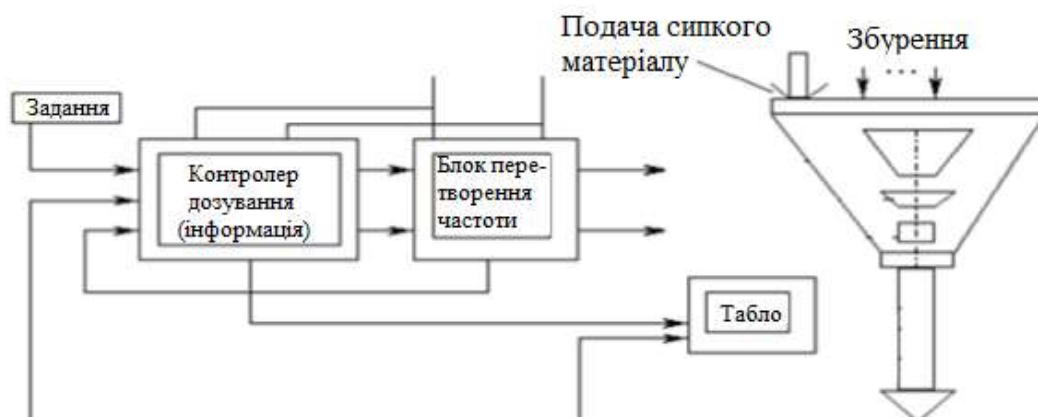


Рисунок 1.3 – Структура системи керування

При аналізі з позиції дворівневої мети управління необхідно відзначити, що теоретичні моделі, пов'язані з розрахунком режимів руху цукерок, не знайшли практичного застосування в програмному забезпеченні, яке використовують у контролерах для керування стаканчиковими машинами-автоматами.

Система управління фасувально-пакувальним автоматом на основі промислового комп'ютера з кольоровим рідкокристалічним монітором із сенсорним керуванням. Така конструкція забезпечує зручний та інтуїтивно зрозумілий алгоритм управління обладнанням.

### 1.3 Параметри технологічного процесу

Для досягнення найкращої якості загорткування цукерок необхідно дотримуватись параметрів технологічного процесу, що наведенні в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри технологічного процесу загорткування цукерок

№ з/п	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення	Відхилення
1	Рівень цукерок в бункерах	м	3,6	±0,1
2	Швидкість	м/с	0,3	±0,1

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3	Об'єм дозування цукерок	см <sup>3</sup>	30	±1
4	Швидкість приводу живильника бункера	м/с	0,3	±0,1
5	Температура зварювання шва обгортки	°С	160-200	±20
6	Тиск зварювання шва обгортки	МПа	0,3-0,7	±0,15
7	Ширина пакета	мм	90-140	±2
8	Вага наповнення пакета	гр.	200	±10

#### 1.4 Вимоги до системи автоматизації

Вимоги до системи автоматизації включають:

1. Автоматичний контроль і підтримання рівня цукерок в бункерах.
2. Контроль і регулювання швидкості роботи дозатора.
3. Забезпечення якісного та точного дозування цукерок.
4. Контроль і підтримка швидкості приводу живильника бункера.
5. Облік витрат цукерок.
6. Контроль і регулювання температури зварювання шва пакета.
7. Контроль і підтримання тиску зварювання шва пакета.
8. Контроль і забезпечення точності ваги наповнення пакета.
9. Автоматичне зупинення технологічного обладнання у разі виникнення небезпечних або аварійних ситуацій.

Крім того, система керування повинна здійснювати моніторинг стану увімкненого обладнання та сигналізувати про можливі його пошкодження.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Розробка параметричної моделі об'ємного дозатора машини-автомата для загортування цукерок розпочинається із переходу від описових, природно-мовних уявлень про процес дозування цукерок до формалізованих математичних та алгоритмічних залежностей. Ці залежності описують зв'язок між визначеними параметрами та процедурами перенесення й перетворення дозованої порції цукерок у просторово-часовому континуумі технологічного об'єкта (рисунок 2.1).

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

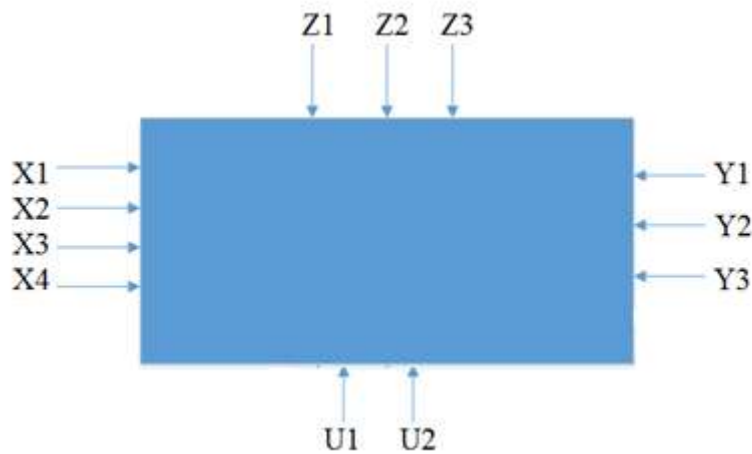


Рисунок 2.1 – Параметрична модель об'єкта керування

Дана схема є узагальненою і не містить конкретних значень множин чи змін координатного простору, що характеризують систему управління, а також не включає інформації про структуру системи керування.

Варіативність кількісних показників доз на виході зумовлена статистичною природою властивостей цукерок на вході дозатора. Нерівномірність подачі та неоднорідність складу цукерок залежать від його фізико-хімічних характеристик.

Вхідні параметри системи включають:

- X1 — розмір часток;
- X2 — об'ємна витрата цукерок  $q_1$ , м<sup>3</sup>;
- X3 — коефіцієнт витікання  $Cd$ ;
- X4 — вологість  $W$ , %.

Керуючі впливи представлені:

- U1 — швидкість подачі цукерок в бункер  $\omega_1$ , рад/с;
- U2 — швидкість обертання стаканчикowego дозатора  $\omega_2$ , рад/с.

Вихідними параметрами є:

- Y1 — продуктивність  $Q$ , упакованих одиниць за хвилину;
- Y2 — масова (об'ємна) витрата сипкого продукту  $q_2$ , м<sup>3</sup>;

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- $Y_3$  — рівень сипкого продукту в бункері  $h$ , м.

До збурюючих факторів відносяться:

- $Z_1$  — зміна щільності  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- $Z_2$  — зміна коефіцієнта витікання  $Cd$ ;
- $Z_3$  — зміна швидкості обертання стаканчикowego дозатора  $\omega_2$ , рад/с.

Спроектвану параметричну модель процесу витікання та загорткування цукерок наведено на рисунку 2.2.

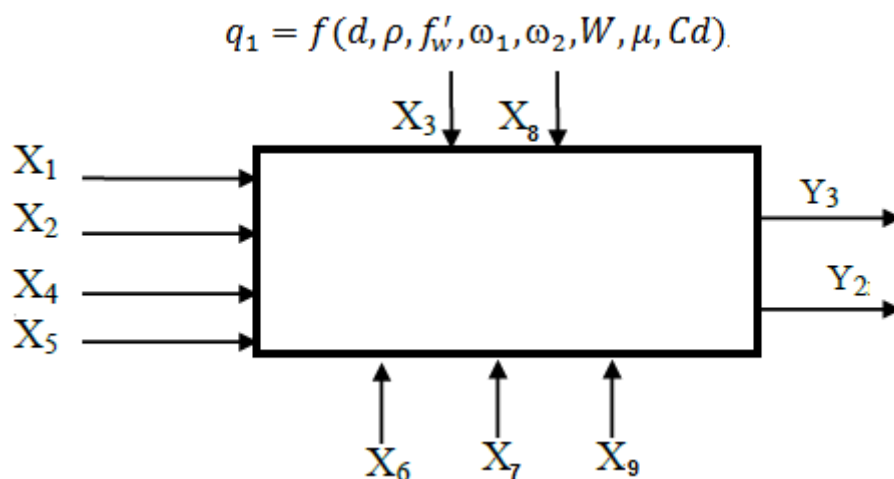


Рисунок 2.2 – Параметрична модель процесу витікання та загорткування цукерок:

$\mu$  – гранулометричний склад (0,02-0,04 мк) (X1);

$q_1$  – витрата подачі цукерок (м<sup>3</sup>/с) (X2);

$Cd$  – коефіцієнт витікання цукерок (0,1-0,6) (X3);

$W$  – вологість цукерок (4-6 %) (X4);

$d$  – розмір випускного отвору бункера (0,08-0,11 м) (X5);

$\omega_1$  – швидкість подачі цукерок в бункер (рад/с) (X6);  $v$

$uc$  – швидкість витікання цукерок (0,03-0,4 м/с) (X7);

$\rho$  – щільність цукерок (300-600 кг/м<sup>3</sup>) (X8);

$f_w'$  – коефіцієнт тертя (0,5-0,7) (X9);

$q_2$  – витрата сипкого продукту на виході із бункера цукерок, (м<sup>3</sup>) (Y2);

$h$  – рівень цукерок в бункері (0,2-1 м) (Y3)

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розмір діаметра випускного отвору бункера  $d$ , вологість  $W$  і щільність цукерок  $\rho$ , а також коефіцієнт витікання цукерок  $Cd$  та коефіцієнт тертя  $f_w'$  є основними властивостями при витіканні та загортунні цукерок з бункера стаканчикової машини-автомата в процесі дозування та загортуння.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### РОЗДІЛ 3

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

На основі технологічної схеми дозування та загортування цукерок була розроблена функціональна схема автоматизації, представлена на листі 2 тієї ж частини роботи.

Рулон з поліетиленою плівкою (1) завантажується в апарат. Плівка (4) вручну заводиться через направляючі ролики (3) в протягуючий транспортер (11) та фіксується натяжним механізмом (2). Величина натягу контролюється датчиком наявності BS 1-1, сигнал з якого надходить на відповідний канал модуля дискретного вводу контролера. У разі відсутності сигналу жорсткість пружини натяжного механізму регулюється вручну.

Після цього на відповідному каналі модуля дискретного виводу подається сигнал живлення на пускач NS 1-9, що запускає електродвигун приводу протягуючого транспортера (11). Плівка проходить через приймаючу лійку (8), формуючи трубу. Далі на каналі дискретного виводу контролера подається сигнал живлення на пускач NS 1-6 для активації нагрівного елемента механізму поздовжнього зварювання (10). Температура в зоні зварювання контролюється датчиком TE 1-7, сигнали якого надходять на аналоговий ввід контролера. Регулювання температури здійснюється вмиканням або вимиканням живлення нагрівного елемента.

Після цього рукав переміщується до механізму поперечного зварювання. На відведених каналах дискретного виводу подаються сигнали живлення на пускачі NS 1-10 та NS 1-11, які забезпечують живлення приводів електродвигуна механізму підводу губок і нагрівного елемента поперечного зварювання (12). Температура в зоні поперечного зварювання контролюється за допомогою датчика TE 1-12 через аналоговий вхід контролера. Регулювання здійснюється шляхом вмикання/вимикання живлення нагрівного елемента. Далі

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подається сигнал на пускач NS 1-10 для живлення приводу механізму відводу губок.

Запаяний з однієї сторони рукав транспортується протягуючим транспортером (11) на задану відстань.

Одночасно цукерки з бункера (5) самопливом наповнює мірний стакан (7), розміщений у комірці дозуючого ротора (6). Рівень цукерок в бункері контролюється датчиком нижнього рівня LE 1-3, сигнал із якого через модуль дискретного вводу контролера інформує оператора світловим сигналом про необхідність поповнення бункера і припинення технологічного процесу до його заповнення.

На відповідному каналі дискретного виводу контролера подається сигнал живлення до пускача NS 1-10, що активує привід електродвигуна дозуючого ротора (6). Ротор провертається на заданий кут, після чого цукерки із мірного стакана (7) потрапляє самопливом у приймаючу лійку (8) та формується пакет. Об'єм фасування програмно задається як кратність об'єму мірного стакана.

Потім знову подаються сигнали живлення на пускачі NS 1-10 та NS 1-11 для управління механізмом підводу губок і нагрівним елементом поперечного зварювання (12). Температура зварювання контролюється датчиком TE 1-12, а регулювання здійснюється включенням/виключенням живлення нагрівного елемента. Після цього подається сигнал на пускач NS 1-10 для приводу механізму відводу губок.

Далі через відповідний канал подається сигнал живлення на пускач NS 1-14 для керування приводом механізму підводу та відводу ножа розрізання (13).

Готовий фасований пакет (14) потрапляє на стрічку відповідного транспортера (15). Сигнал живлення подається на пускач NS 1-15, який запускає електродвигун транспортера (15) для транспортування пакета до тари. Процес повторюється циклічно згідно з заданим алгоритмом.

#### РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.1 Обґрунтування вибору датчиків

В системі подачі для контролю натягування плівки використовуються вимикач з роликом L51K13MEP124 Emas.

Для контролю нижнього рівня цукерок в бункері використовується датчик рівня СУМ-1 У-2.

Основні характеристики:

- струм комутації ~ 220 – 2 А;
- зусилля спрацьовування – 0,5 Н;
- кількість спрацьовування – 30000;
- ступінь захисту: IP66.

Для вимірювання температури використовується датчик температури ТСП1-3-Pt100-B-3-80-6-40-Д-(-50-250) діаметром– 6 мм, довжиною зовнішньої частини – 40 мм та ступенем захисту IP57.

#### 4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів

Для запуску електродвигунів приводів машини-автомата використовуються магнітні пускачі ПМ 0-16-01 В7.

Основні технічні характеристики:

- вид монтажу – на DIN-рейку;
- електрична зносостійкість – 300000;
- кількість контактів – 3 + 1N/C;
- кількість механічних процесів – 3000000;
- напруга котушки – 24 В;
- напруга – 380 В;
- напруга ізоляції – 660 В;
- струм АС-3 – 16 А;

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ступінь пиловолого захисту – IP26;
- споживана потужність – 15 ВА;
- струм – 16 А;
- переріз – 2,5-3,5 мм<sup>2</sup>;
- стійкість – 6 kV;

### 4.3 Обґрунтування та вибір контролера

Для управління автоматизованою системою керування пакувальної машини-автомата в автоматичному режимі вибрано модулі контролера ADAM серії 4000.

Обрано наступні модулі контролера, зважаючи кількості вхідних та вихідних сигналів і їх виду. Це відображено на функціональній схемі автоматизації, а саме:

- модуль аналогового вводу ADAM-4017 ;
- модуль дискретного вводу-виводу ADAM-4050;
- модуль перетворення інтерфейсів ADAM-4520.

### 4.4 Обґрунтування вибору джерела живлення

Потужність, яку споживає модуль аналогового вводу ADAM-4017, рівна 2,3 Вт.

Потужність, яку споживає модуль дискретного вводу/виводу ADAM-4050, рівна 1,4 Вт.

Потужність, яку споживає модуль перетворення інтерфейсів ADAM-520 рівна 2,2 Вт.

Загальну потужність розрахункову отримаємо  $P = 4,6 \text{ Вт}$  джерела живлення напругою 24 В.

Можна порахувати мінімальне навантаження за струмом, яке має

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити блок живлення:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2,9}{24} = 0,12 \text{ A.}$$

За цими отриманими розрахунковими даними обираємо блок живлення MeanWell MDR-100-24.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРОБКА САК РІВНЕМ ЦУКЕРОК В БУНКЕРІ

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.1 Застосування методів імітаційного моделювання для дослідження асимптотичного руху дозатора та контролю рівня цукерок

Основними методами вимірювання рівня цукерок у бункерах об'ємних дозаторів машин-автоматів є акустичні та ємнісні методи, які використовуються для формування сигналу, що характеризує обсяг продукту в бункері. Зазвичай для регулювання рівня застосовується позиційний алгоритм управління з використанням логічного виходу спеціалізованого регулювального контролера.

Проте при застосуванні простих методів контролю та логічного керування рівнем цукерок виникають обмеження, зокрема неможливість контролю утворення застійних зон у бункері та покращення цукерок в упаковках за рахунок регулювання режиму руху. Такі завдання можуть бути розв'язані за допомогою керуючих приладів із розширеними властивостями, серед яких важливою є здатність моделювати процес зміни рівня цукерок в бункері дозатора.

Рівень цукерок як параметр стану об'ємного дозатора машини-автомата можна в першому наближенні описати двома базовими ланками, що моделюються простими диференціальними рівняннями.

Каналом взаємодії між швидкістю обертання дозатора машини-автомата і рівнем цукерок є:

$$ACd \frac{d^2 \omega_1}{dt^2} + B \frac{d\omega_2}{dt} = Cdh, \quad (5.1)$$

де  $A$  – коефіцієнт поперечної площі перерізу бункера машини-автомата,

$B$  – коефіцієнт процесу закінчення цукерок,

$C_d$  – коефіцієнт витікання цукерок з вихідного отвору дозатора машини-

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автомата,

$\omega_1$  – швидкість обертання ротора дозатора,

$h$  – рівень цукерок.

По каналу «швидкість обертання приводу завантаження – рівень сипкого продукту»:

$$T_1 \frac{d^2 \omega_1}{dt^2} + T \frac{d\omega_2}{dt} = kh, \quad (5.2)$$

де  $T, T_1$  – постійні інерційності процесу завантаження,

$k$  – коефіцієнт заповнення бункера дозатора машини-дозавтора,

$\omega_2$  – швидкість обертання приводу завантаження.

Отже, управління рівнем цукерок в бункері за його перерізом може здійснюватися як результат координації систем управління швидкістю приводів завантаження та вивантаження матеріалу. Такий підхід дозволяє моделювати процес руху цукерок у бункері як ітеративну процедуру врахування взаємного впливу двох простих динамічних ланок. Одна з цих ланок описує вихідну частину бункера і має властивість самовирівнювання, тоді як інша, що відповідає за заповнення бункера, цієї властивості не має.

Методика визначення параметрів моделі управління рівнем цукерок в бункері включає визначення статичних характеристик бункера за двома каналами: «рівень продукту — швидкість приводу дозатора» та «рівень продукту — швидкість приводу завантажувального конвеєра».

Точка перетину цих характеристик дає початкові значення для встановлення заданих швидкостей обертання приводів і рівня цукерок.

При фіксованій швидкості обертання ротора дозатора, що визначається заданою продуктивністю машини, оцінюються ступінь загасання і період коливань рівня продукту при збуреннях, викликаних змінами швидкості

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витікання цукерок.

Розроблено параметричну модель об'ємного дозування цукерок, представлену на рисунку 5.1.

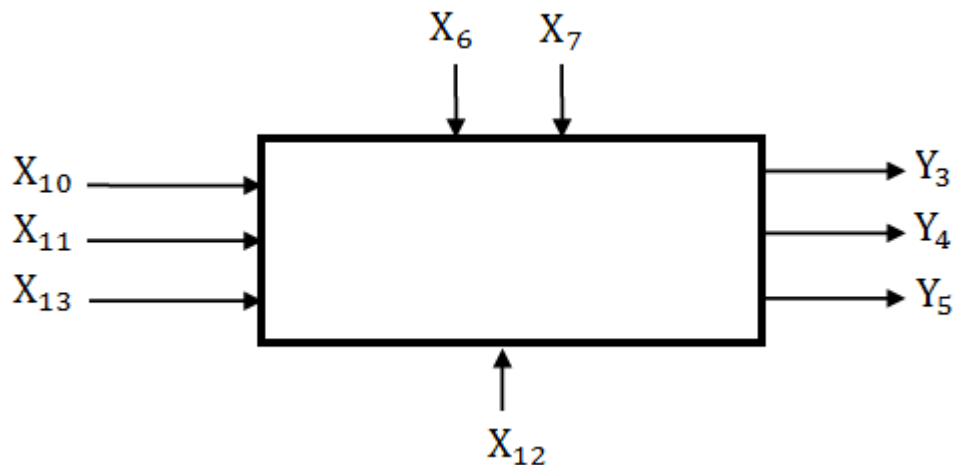


Рисунок 5.1 – Параметрична модель об'ємного дозування цукерок:  
 $\omega_1$  – швидкість подачі цукерок, рад/с ( $X_6$ );  $v_{ис}$  – швидкість витікання цукерок ( $X_7$ )  
 $q_2$  – витрата цукерок, що поступає в машину, м<sup>3</sup>/с ( $X_{10}$ );  $\omega_2$  – швидкість обертання дозатора машини-автомата, рад/с ( $X_{11}$ );  $X_{фм}$  – емпіричні коефіцієнти, що визначаються видом цукерок ( $X_{12}$ );  $E$  – коефіцієнт, що визначається налагодженням машини-автомата, ( $X_{13}$ );  $h$  – рівень цукерок в бункері машини, 0,2-1м ( $Y_3$ );  $q_3$  – об'єм порції цукерок в стакані дозатора, м<sup>3</sup> ( $Y_4$ );  $Q$  – продуктивність машини-автомата (30-60 упак/хв.) ( $Y_5$ )

## 5.2 Системи управління процесом дозування цукерок

У кожній операції технологічного процесу існує певний критерій якості, який може включати такі показники, як якість продукції, максимальна вигода, продуктивність або інші параметри оцінки.

Завдання системи автоматичного регулювання (САР) полягає у підтриманні змінних параметрів процесу на рівні, що забезпечує знаходження вихідного параметра в межах, визначених критерієм якості регулювання.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для процесу дозування цукерок висуваються такі вимоги:

- точність у стабільних режимах роботи;
- стійкість системи керування;
- якість перехідних процесів.

Точність дозування та загорткування залежить від багатьох чинників, серед яких:

- нерівномірна подача цукерок до механізму дозування;
- вібрації механізму дозування та загорткування;
- різноманітні властивості цукерок (питома вага, розмір частинок, неоднорідність, насипна густина, гігроскопічність, плинність, здатність до утворення засмічень);
- неперіодичні зміни властивостей цукерок.

Система керування вважається стійкою, якщо перехідний процес загасає з часом. У контексті управління процесом дозування до критеріїв ефективності відноситься продуктивність об'ємного дозатора.

Основні характеристики дозатора включають:

- тип цукерок;
- кількість мірних склянок;
- діапазон варіювання обсягу мірної склянки;
- продуктивність;
- споживана потужність;
- маса й габарити обладнання;
- тип пакувального матеріалу.

Першочерговим критерієм управління обирається задана продуктивність технологічної лінії з урахуванням обмежень щодо допустимих коливань маси цукерок у упаковці.

$$Q = Q_{\text{зад}} \pm \Delta Q, \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (m_i - m_{\text{зад}})^2} \leq \Pi, \quad (5.4)$$

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $Q$  – продуктивність, упаковок/хв;

$Q_{\text{зад}}$  – задана продуктивність, упаковок/хв;

$\Delta Q$  – допустимі відхилення продуктивності;

$N$  – число циклів дозування;

$\Pi$  – задана похибка дозатора машини-автомата, кг;

$m_i$  – порція цукерок.

### 5.3 Застосування методології управління приводом у технологічному процесі загорткування

Рухи багатьох технологічних об'єктів у процесі пакування цукерок обумовлюють необхідність застосування адаптивного управління виконавчими електромеханічними системами на етапі дозування.

У технологічному процесі пакування цукерок використовуються різні приводи як виконавчі механізми. Об'ємні дозатори складаються з живильника, пристроїв для визначення обсягу порції цукерок, що проходить через живильник, та елементів регулювання.

Забезпечення необхідних умов витікання цукерок реалізується шляхом керування приводами через параметри електроприводу системи об'ємного дозування. Нестационарний характер збурень технологічних факторів у процесі ускладнює загальне керування дозуванням. Труднощі у налаштуванні призводять до функціональних обмежень, пов'язаних зі зниженням стабільності роботи дозатора в межах необхідних параметрів.

Для контролю роботи приладів використовується блок управління як модуль, на якому задаються параметри роботи. В якості критеріїв завдання обираються продуктивність об'ємного дозатора та швидкість приводу живильника, що подають цукерки. Регулювання продуктивності здійснюється шляхом зміни швидкості подачі дозованого обсягу.

Для подачі цукерок у бункер об'ємного дозатора застосовується

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стрічковий конвеєр із приводом (Д1) з постійною швидкістю. Електродвигун (Д2) відповідає за об'ємний привід дозатора пакувальної машини.

Залежно від роботи стрічкового конвеєра необхідно переналаштовувати швидкість обертання приводу живильника для режимів старту, роботи і зупинки системи. Для швидкості обертання приводу подачі цукерок у бункер визначається перехідна характеристика вхідної зони бункера стаканчикової машини-автомата при збуреннях з боку подачі, а також визначається швидкість обертання приводу завантажувального конвеєра.

При фіксованій швидкості обертання стаканчикової машини-автомата, що відповідає заданій продуктивності, оцінюються ступінь загасання та період коливань рівня сипкого продукту в бункері за наявності збурень, спричинених змінами швидкості витоку цукерок.

Управління швидкістю обертання приводів конвеєра і дозатора здійснюється у робочій зоні їх механічних характеристик. Передатна функція двигуна за каналом «частота мережі живлення – швидкість обертання» включає добуток двох компонентів.

$$W_{эд(s)} = \frac{K_{дв}}{T_3s + 1}, \quad W_{мех(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (5.5)$$

Перша описує електромеханічну складову, друга – механічну складову. Обидві ланки – аперіодичні ланки першого порядку.

#### 5.4 Рівень цукерок у бункері, як координата процесу управління дозуванням та загортування

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При проектуванні системи управління дозаторами цукерок процес переміщення матеріалу розглядається як квазіперіодичне утворення та руйнування склепінь у всьому об'ємі. Для забезпечення стабільності меж стійкості руху цукерок на кордонах різних зон течії в процесі керування дозуванням пропонується впровадження цілі управління, спрямованої на стабілізацію режиму витікання цукерок з бункера пакувальної машини через регулювання рівня.

$$\omega_{1\text{зад}} - \omega_{2\text{зад}} = F4(Q_{\text{зад}}, h_{\text{пр}}, L), h_{\text{пр}} = h_{\text{зад}} \pm \Delta h, \quad (5.6)$$

$h_{\text{пр}}$  – проміжна координата;

$F4$  – функція різниці розрахункових значень швидкостей приводів живильника та дозатора;

$L$  – набір збурень об'ємного дозатора.

Додатково до параметрів процесу враховуються розміри бункера, зокрема його діаметр і висота, матеріал стінок, а також діаметр і форма випускного отвору дозатора.

Припускається, що на основі розв'язання відповідного рівняння для заданих властивостей цукерок і певної конструкції дозатора можна забезпечити стійкість режиму витікання матеріалу. Це досягається без утворення нерівномірних («стовбурових») потоків та застійних зон у об'ємі бункера, за умови стабілізації рівня цукерок.

Отже, як координату для керування можна розглядати рівень цукерок в бункері, який підтримується в межах, що запобігають утворенню застійних зон, враховуючи певний тип стаканчикowego дозатора та фізико-механічні властивості матеріалу.

Основними методами контролю рівня цукерок в бункерах об'ємних дозаторів є акустичні та ємнісні методи, які формують сигнал вимірювання

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівня. Як правило, для регулювання рівня застосовується позиційний закон управління з використанням логічного виходу спеціалізованого керуючого контролера.

### 5.5 Постановка завдання керування процесом дозування цукерок

Завдання полягає у розробці умов та програмного коду для керування рівнем цукерок у бункері стаканчикowego дозатора (рисунок 5.2), а також управління приводами конвеєрних та дозувальних пристроїв з урахуванням компенсації впливу факторів, що впливають на процес дозування. Для цього застосовуються класичні методи регулювання на основі ПІ-контролера.

Реалізація програми виконана у вигляді послідовності взаємопов'язаних функціональних блоків у середовищі Matlab (рисунок 5.3), що дозволяють моделювати та оцінювати вплив зовнішніх збурень, пов'язаних із фізико-механічними властивостями сипких продуктів і механічними характеристиками налаштувань приводів відповідних пристроїв.

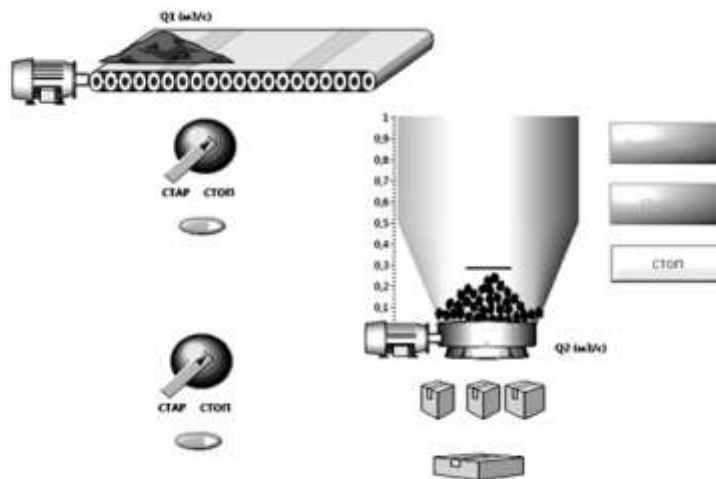


Рисунок 5.2 – Технологічна схема дозування цукерок

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

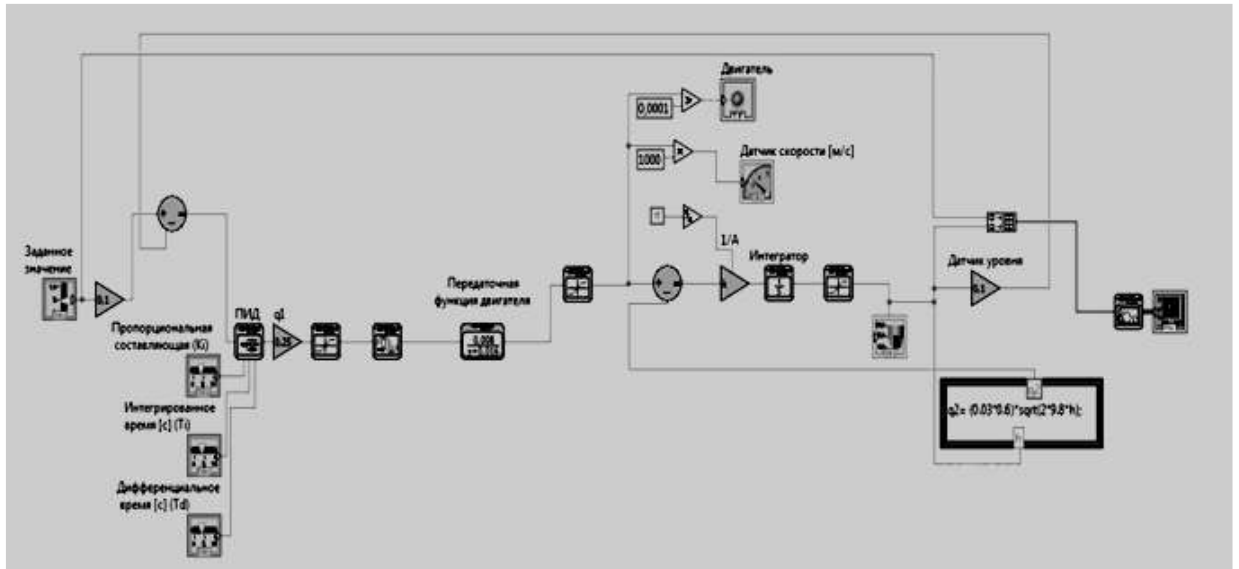


Рисунок 5.3 – Блок-діаграма управління рівнем цукерок

Панель програмно-апаратного комплексу технологічного процесу дозування цукерок розроблена у середовищі LabVIEW приведена на рисунку 5.4.



Рисунок 5.4 – Панель програмно-апаратного комплексу для дозування цукерок

Лицьова панель системи включає об'ємний стаканчиковий дозатор, бункер

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для зберігання цукерок, панель управління з табло, конвеєр для подачі цукерок, приводи живильника та дозатора, фасувально-пакувальний вертикальний автомат і графічний індикатор.

Запуск програми здійснюється через лицьову панель, де задаються контрольовані параметри: проміжна координата рівня цукерок в бункері пакувальної машини, а також швидкості приводів живильника і дозатора.

На панелі також відображаються фізико-механічні властивості цукерок такі як щільність, коефіцієнт витікання і коефіцієнт сипкості.

Процес дозування відображається на графічних індикаторах, де представлено зміни рівня цукерок залежно від варіацій щільності та коефіцієнта витікання, а також об'єм продукту у часі.

У разі нестабільності процесу дозування здійснюється регулювання швидкості подачі та дозування цукерок для підтримання встановленого рівня цукерок в бункері пакувального автомата. Корекція процесу виконується за допомогою ПІ-контролера.

## РОЗДІЛ 6

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розробимо принципову електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера серії ADAM-4000 та розмістимо у графічній частині.

Датчики для вимірювання температури мають вихід струма 4-20 мА.

До модулів ADAM-4017 для підключення датчиків використовується 2-провідна схема. Виходи давачів будемо підключати на відповідні входи модулів – Vin+ та Vin- (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 – Підключення датчиків до контролера ADAM-4017

Датчик	Вхід модуля
TE 1-7	Vin0(V0)
TE 1-12	Vin1(V1)

Використовуємо модуль дискретного вводу-виводу ADAM-4050 для підключення датчика наявності, рівня і пускачів (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 – Підключення датчиків до модуля контролера ADAM-4050

Датчик	Вхід модуля	Виконавчий механізм	Вихід модуля
BS 1-1	DI0	NS 1-5	DO0
LE1-3	DI1	NS 1-6	DO1
		NS 1-9	DO2
		NS 1-10	DO3
		NS 1-11	DO4
		NS 1-14	DO5
		NS 1-15	DO6

Використаємо модуль перетворення інтерфейсу RS-435 в RS-232 ADAM

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4520 для підключення до контролера.

Всі модулі контролера живляться від PS-15-24 напруги 24 В зі силою струму 0,625 А та під'єднаний до мережі змінного струму 220 В.

## РОЗДІЛ 7

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ПРОГРАМА ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНТРОЛЕРА

## 7.1 Розробка функціонального графа процесу керування

Функціональний граф роботи пакувального автомата наведений на рисунку 7.1.

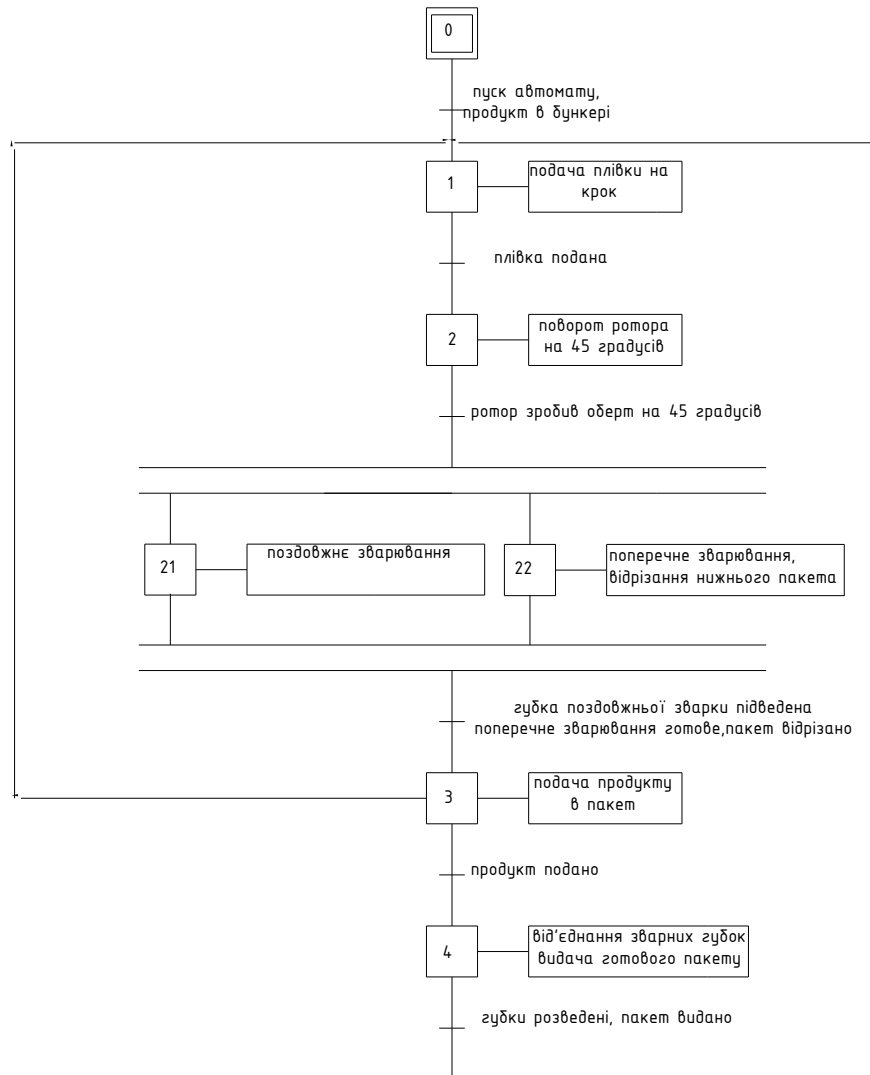


Рисунок 7.1 – Граф функціональний пакувального автомата

Автоматичний пакувальний пристрій починає роботу після натискання

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кнопки «Пуск». Поліетиленова плівка розмотується з рулону, проходить через направляючі ролики і подається на рукавоутворювач, після чого транспортується між трубою та рукавоутворювачем, обгортаючи трубу.

Для зварювання поздовжнього шва, що утворюється після рукавоутворювача, використовується губка поздовжнього зварювання, яка приводиться в рух відповідним механізмом. Зварювання поперечного шва пакета здійснюється передньою та задньою губками поперечної зварки. Відділення пакета від рукава відбувається за допомогою ножів, розміщених на задній губці.

В середині станини розташований керуючий пристрій, що синхронізує роботу виконавчих механізмів: задає час увімкнення та вимкнення протягуючих транспортерів, час подачі повітря для охолодження зварних швів, імпульси для зварювання поздовжніх і поперечних швів, початок процесу дозування, а також визначає зону дії фотоелемента. Привід складається з електродвигуна, клиноремінного варіатора і редуктора, які передають рух на вертикальний вал.

Зварювання поліетиленової плівки виконується термоімпульсним методом за допомогою спеціальної стрічки. Зварні губки охолоджуються водою, що подається через кран із водопровідної мережі, а охолодження зварних швів забезпечується подачею стисненого повітря з пневмосистеми.

Відрізані пакети падають на транспортер, який виводить їх із робочої зони пакувального автомата.

## 7.2 Розробка принципової схеми керування машиною-автоматом

Для більш детального розгляду технічних аспектів необхідно перейти до вищого рівня деталізації опису технологічної операції. Цей перехід передбачає вибір технічних засобів керування, зокрема приводів і датчиків.

Позначення приводів здійснюється великими латинськими літерами з додаванням знаків напрямку дії «+» або «-» (наприклад, А+, А-, В+, В- і т.д.).

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчики позначаються малими латинськими літерами, причому наявність верхньої риски вказує на відсутність спрацювання датчика (наприклад, a1, ā1, b1, b̄1, d1, d̄1).

За результатами цього етапу розробляється принципова схема пакувального автомата.

Вибір приводів для технологічної машини, схема якої наведена на кресленні:

- механізм А забезпечує подачу плівки крок за кроком;
- механізм В відповідає за поворот ротора на 45°;
- поздовжнє зварювання виконується зварною губкою С, поперечне — губками D, при цьому одночасно відбувається відрізання нижнього пакета;
- механізм Е контролює видачу продукту в пакети.

Датчики та їх функції:

- датчик a1 повідомляє про завершення подачі плівки на один крок;
- датчик b1 сигналізує про завершення обертання ротора на 45°;
- датчик c1 вказує на підведення поздовжньої зварної губки та початок зварювання;
- датчик d1 інформує про готовність поперечної зварки і відрізання нижнього пакета;
- датчик e1 фіксує наявність продукту в пакеті;
- датчики c0 та d0 показують, що зварні губки розведені і готовий пакет падає на відповідний транспортер.

Розроблена принципова схема керування пакувальним автоматом представлена на рисунку 7.2.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

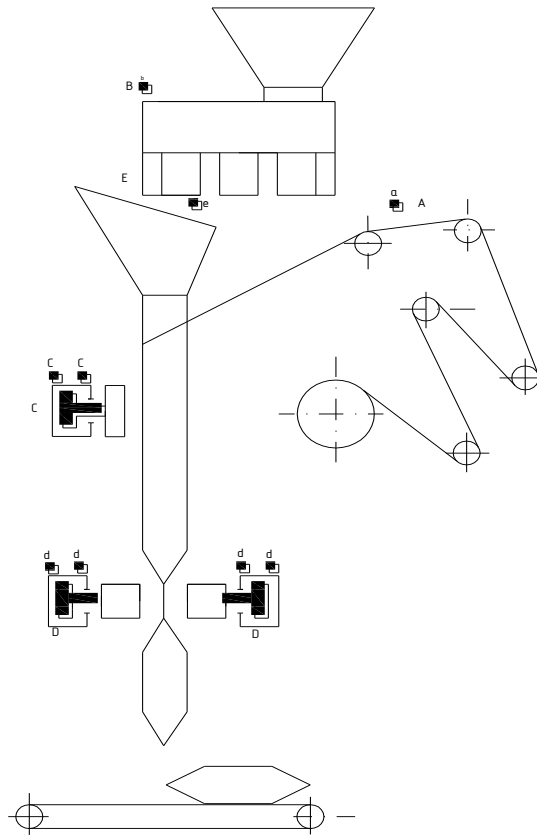


Рисунок 7.2 – Принципова схема керування пакувальним автоматом

### 7.3 Розробка функціонального графа процесу керування пакувальним автоматом

Можна детально описати процес керування пакувальною машиною та здійснити технічну реалізацію цього процесу керування при використанні програмованих контролерів з їх програмуванням.

Даний процес керування описаний послідовністю етапів в циклі. Проходження циклу поетапно контролюється переходами між цими етапами.

На рисунку 7.3 наведений розроблений функціональний граф керування пакувальним автоматом.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

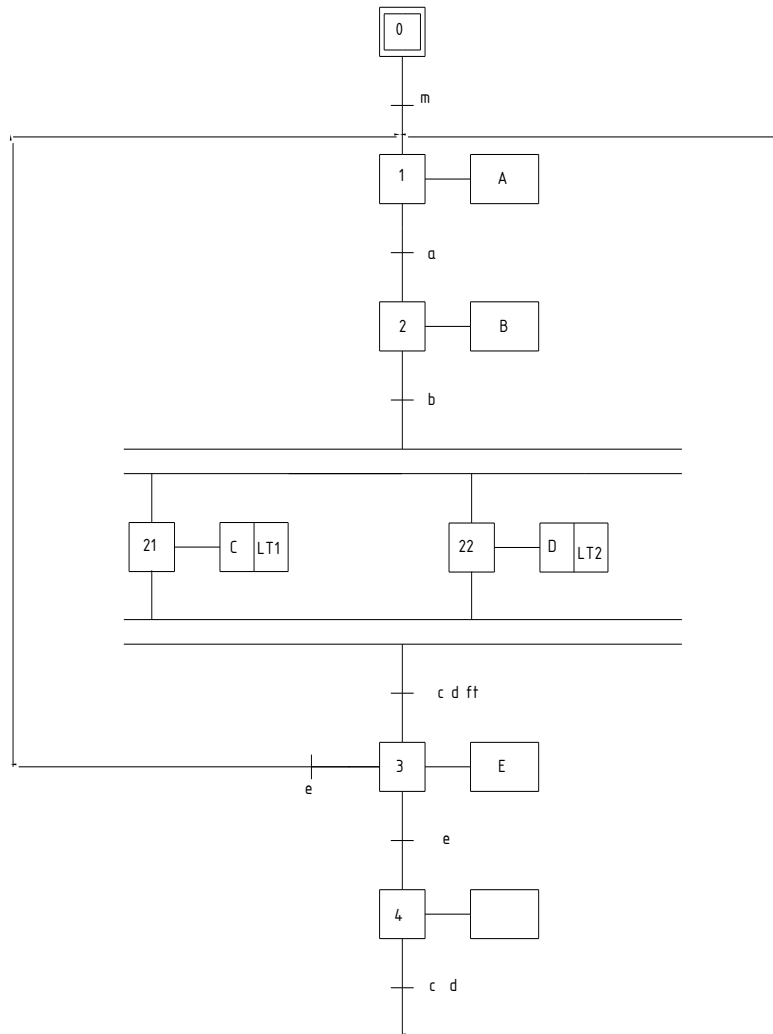


Рисунок 7.3 – Функціональний граф керування пакувальним автоматом

Починаючи з етапу 0, сигнал «пуск» активує роботу автомату за таким алгоритмом:

- Етап 1: відбувається подача плівки приводом А, після чого виконується перевірка датчика а1, який сигналізує про успішну подачу плівки. Після підтвердження здійснюється перехід до етапу 2.

- Етап 2: виконується поворот ротора приводом В на 45°, після чого перевіряється спрацювання датчика b1, що підтверджує завершення обертання. Далі запускаються два паралельні етапи.

- Етап 21: здійснюється поздовжнє зварювання плівки за допомогою

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварної губки С, що контролюється датчиком с1.

- Етап 22: відбувається поперечне зварювання плівки губками D та одночасне відрізання нижнього пакета, яке фіксується датчиком d1. Після підтвердження підведення губки поздовжнього зварювання і закінчення відрізання нижнього пакета здійснюється перехід до етапу 3.

- Етап 3: продукт приводом E подається у пакет. Якщо продукт не подано, датчик e1 не спрацьовує, що викликає повернення до початку циклу з повторенням дій до моменту подачі продукту. Якщо ж датчик e1 спрацьовує, відбувається перехід до етапу 4.

- Етап 4: розводяться зварні губки, а готовий пакет подається на відповідний транспортер. Після спрацювання датчиків с0 і d0 цикл завершується, і пакувальна машина повертається до початкового положення для повторення процесу.

#### 7.4 Розробка програмного забезпечення контролера

Для написання програми використано середовище розробки AdamView, яке є безкоштовним.

Аналогові датчики температури підключаються до входів типу AI (Analog Input), а виконавчі механізми — до виходів типу Digital Output. Виходи з'єднуються з відповідними пускачами NS.

- Сигнал з датчика температури TE 1-7 подається на вхід блока AI0, звідки надходить на блок BasicScript.
- Сигнал з датчика температури TE 1-1 подається на вхід блока AI1, з якого також переходить на блок BasicScript.

Дискретні датчики рівня та наявності підключаються до блоків Digital Input, а виконавчі механізми — до DO. Виходи, як і раніше, з'єднуються з відповідними пускачами NS.

- Сигнал з датчика наявності BS 1-1 подається на вхід DI0, а далі

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надходить на блок BasicScript.

- Сигнал з датчика рівня LE 1-1 подається на DI1, з якого також переходить на блок BasicScript.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**РОЗДІЛ 8**  
**РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**  
**АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**

Вартість контрольно-вимірювальних приладів, засобів автоматизації, монтажу, наладки і транспортні витрати – це капітальні витрати.

Вартість куплених виробів, апаратури і приладів заносимо в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Вартість КВАП

Назва	Тип	Кількість	Вартість одиниці	Загальна вартість
Вимикач	L51Ф13МЕР124	2	357,22	657,22
Тензометричний датчик	СУМ-1У	1	783,00	783,00
Датчик температури	WIKА А-10	2	1402,07	2204,14
Магнітний пускач	ПМ 0-16-01 В7	7	375,00	2632,00
Модуль вводу	АDАМ-4017	1	1215,90	1215,90
Модуль вводу/виводу	АDАМ-4050	1	5037,80	5037,80
Модуль перетворення	АDАМ-4520	1	624,60	624,60
Блок живлення	MEAN WELL 10 ВТ, 24 В, 0,84 А	1	595,98	595,98
Всього:				35492,64

За даними таблиці вартість КВАП = 35492,64 грн.

Транспортно-заготівельні витрати – це 25 % оптової ціни контрольно-вимірювальних і інших приладів та автоматизації засобів.

Витрати на монтаж системи автоматизації лінії приймаються в розмірі 45% від вартості КВАП.

Вартість налагодження апаратури – це 10 % вартості КВАП.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна вартість:

$$B = B_3 + B_{\text{тр}} + B_{\text{м}} + B_{\text{н}}, \quad (8.1)$$

$B_3$  – загальна вартість приладу,

$B_{\text{тр}}$  – транспортні витрати,

$B_{\text{м}}$  – витрати на монтаж,

$B_{\text{н}}$  – витрати на налагодження апаратури.

Для інших приладів і результати робимо так само і заносимо в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Загальна вартість ТЗА

Назва приладу	Загальна вартість, грн.	Транспор тні витрати	Витрати на монтаж	Витрати на налаго- дження	Всього
1	2	3	4	5	6
Кінцевий вимикач	657,22	164,305	295,749	657,22	1774,49
Тензометрични й датчик	780,00	195	351	780,00	2106,00
Датчик	2204,14	551,035	991,863	2204,14	5951,18
Пускач	2632,00	658	1184,4	2632,00	7106,40
Модуль вводу	12415,90	3103,975	5587,155	12415,9 0	33522,93
Модуль вводу/виводу	5087,80	1271,95	2289,51	5087,80	13737,06

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 8.2

1	2	3	4	5	6
Модуль перетворення	6124,60	1531,15	2756,07	6124,60	16536,42
Блок живлення	590,98	147,745	265,941	590,98	1595,65
Всього	30492,64	7623,16	13721,69	30492,64	92330,13

Загальна вартість впровадження розробленої автоматизованої системи керування пакувальною машиною становить 92330,13 грн.

Проведений розрахунок економічної ефективності автоматизованої системи керування пакувальною машиною показав, що для впровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом дозування цукерок необхідно придбати технічні засоби автоматизації на суму 35492,64 грн.

При цьому, загальні капітальні затрати на автоматизацію становлять 92330,13 грн.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі здійснено розроблено параметричну модель об'ємного дозатора та параметричну модель процесу витікання сипкого продукту.

На основі технологічної схеми дозування та обгорткування цукерок створено функціональну схему автоматизованої системи керування даним процесом.

Створено параметричну модель об'ємного дозування та обгорткування цукерок у середовищі LabVIEW, технологічну схему дозування та обгорткування цукерок, блок-діаграму управління рівнем цукерок та лицьову панель технологічного процесу дозування та обгорткування.

Розроблено принципову електричну схему підключення датчиків і виконавчих пристроїв до модулів контролера серії ADAM-4000.

Створено функціональний графік процесу управління, принципову схему керування машиною та функціональний граф процесу керування машиною-автоматом. Для керування процесом дозування та обгорткування цукерок з робочого місця оператора на основі структурної схеми програми контролера реалізовано проєкт у середовищі AdamView.

Проведений економічний розрахунок показав, що вартість придбання технічних засобів автоматизації для впровадження розробленої системи становить 35 492,64 грн, а загальні капітальні витрати на автоматизацію — 92 330,13 грн.

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. How to dry spices: the solutions proposed by IFT. URL: <https://www.iftmantova.com/en/news/4070/how-to-dry-spices-the-solutions-proposed-by-ift> (дата звернення: 20.05.2026).
2. Drying of herbs and spices. URL: [https://orgprints.org/id/eprint/35090/3/Module%204.2\\_Training%20herbs.pdf](https://orgprints.org/id/eprint/35090/3/Module%204.2_Training%20herbs.pdf) (дата звернення: 20.05.2026).
3. Linshuang L., Liuping C., Dongjin P. and others. Evaluation of different drying methods on the quality of Cinnamomum cassia barks by analytic hierarchy process method. Heliyon, 2024, Volume 10, Issue 14, p. 34-60. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e34608.
4. Siemens SITRANS LR200 Radar Level Transmitter URL: [https://www.ebay.com/itm/306643451337?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ebay.com/itm/306643451337?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення 15.03.2026).
5. RTD PT100 Temperature Sensor, 4-20mA Transmitter URL: <https://www.processparameters.co.uk/pt100-temperature-sensors/rtd-pt100-temperature-sensor-ip68-kne-terminal-head-4-20ma-transmitter-ppl3-p/> (дата звернення 15.05.2026).
6. Absolute and gauge pressure Cerabar PMC51 URL: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure/pressure-transmitter-cerabar-pmc51b?t.tabId=product-overview> (дата звернення 15.04.2026).
7. Humidity and Temperature Transmitters HMT120/130 URL: <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmt120-130> (дата звернення 15.03.2026).
8. Weighing Terminal IND780 URL: [mt.com](https://www.mt.com) (дата звернення 15.04.2026).
9. Контакттор Schneider Electric LC1D25BD URL: <https://octopart.com/part/schneider->

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

electric/LC1D25BD?gad\_source=1&gad\_campaignid=20641106837&gbraid=0AA  
AADZKcp\_Av6JNcyKCmbqBwAlqelgzD&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPI  
IefE\_z7A7b\_OqJzVNG7pmH3pOiHMj8KEbZZ7QBHubm5c\_hkGmwx7GUMEaA  
gcYEALw\_wcB (дата звернення 15.03.2026).

10. Altivar 312 Variable Frequency Drives VFD – Schneider Electric URL:  
<https://electrocontrol.com.ua/ua/preobrazovateli-chastoty/preobrazovatel-chastoty-schneider-electric-altivar-312-atv312-22kvt-240v-1f-atv312hu22m2> (дата  
звернення 15.05.2026).

11. ADAM-5000/TCP URL: [https://www.tme.eu/ua/details/adam-5000l\\_tcp-be/sistemi-ta-moduli-vvedennia-vivedennia/advantech/?brutto=0&currency=USD&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=UKRAINA%20%5BPMAX%5D%20UK&utm\\_content=&campaign\\_id=20545768065&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=20551720772&gbraid=0AAAAADyyIhIgIV1p63P28eO7uuzRPWWkG&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPIIefEnlQVO7EAUrFcdkroumkqjm7BQ36aa2UsD0sNYUTUs-vAcnZBSWawaAgDfEALw\\_wcB](https://www.tme.eu/ua/details/adam-5000l_tcp-be/sistemi-ta-moduli-vvedennia-vivedennia/advantech/?brutto=0&currency=USD&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=UKRAINA%20%5BPMAX%5D%20UK&utm_content=&campaign_id=20545768065&gad_source=1&gad_campaignid=20551720772&gbraid=0AAAAADyyIhIgIV1p63P28eO7uuzRPWWkG&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPIIefEnlQVO7EAUrFcdkroumkqjm7BQ36aa2UsD0sNYUTUs-vAcnZBSWawaAgDfEALw_wcB) (дата звернення 15.03.2026).

12. ADAM-5017P URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5017p/mod\\_a45eeab2-46a3-4dc1-9052-7851c3f49582](https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5017p/mod_a45eeab2-46a3-4dc1-9052-7851c3f49582) (дата звернення 15.03.2026).

13. ADAM-5013 URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5013/mod\\_746ad359-b2b5-414f-a85f-08f66fd99d8c](https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5013/mod_746ad359-b2b5-414f-a85f-08f66fd99d8c) (дата звернення 15.03.2026).

14. ADAM-5024 URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5024/mod\\_c573b64b-843a-46d6-90a0-96031d8539c0](https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5024/mod_c573b64b-843a-46d6-90a0-96031d8539c0) (дата звернення 15.03.2026).

15. ADAM-5056 URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/5cfc579f-6e33-48c3-9a90-fa6997bbdc5b/adam-5056d/mod\\_4e43775b-9438-4c04-ad6b-c98ce000eade](https://www.advantech.com/en-us/products/5cfc579f-6e33-48c3-9a90-fa6997bbdc5b/adam-5056d/mod_4e43775b-9438-4c04-ad6b-c98ce000eade) (дата звернення 15.03.2026).

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Mean Well MDR-100-24 – 100W URL: [https://ledbox.ua/ua/p885804575-blok-pitaniya-mean.html?source=merchant\\_center&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=17177772414&gbraid=0AAAAADoIb0cB-hnt2GFNPL49RzPaU-x86&gclid=Cj0KCQjwlLDQBhDjARIsAPIIefFRXOHTTjIJIqEVjO9\\_V0iZJeV62C-PqwbgWpmQ90iynqM51mfiMxwaAlbJEALw\\_wcB](https://ledbox.ua/ua/p885804575-blok-pitaniya-mean.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=17177772414&gbraid=0AAAAADoIb0cB-hnt2GFNPL49RzPaU-x86&gclid=Cj0KCQjwlLDQBhDjARIsAPIIefFRXOHTTjIJIqEVjO9_V0iZJeV62C-PqwbgWpmQ90iynqM51mfiMxwaAlbJEALw_wcB) (дата звернення 15.03.2026).

17. Приймак Б. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи: Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 310 с.

18. Dorf R., Bishop R. Modern control systems, Addison-Wesley. URL: [https://www.muslimuniversity.edu.af/uploads/library/Modran%20control%20System\\_904.pdf](https://www.muslimuniversity.edu.af/uploads/library/Modran%20control%20System_904.pdf) (дата звернення 20.04.2026)

					А та БС – 005.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		