

**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»**

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОНТУРОМ  
ПРИГОТУВАННЯ ЗАЛИВОЧНОГО СОУСУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КОНСЕРВОВАНОЇ КВАСОЛІ**

**AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE FILLING SAUCE  
PREPARATION CIRCUIT OF THE CANNED BEAN PRODUCTION  
PROCESS**

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

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи АВ - 41  
**Колядюк Олександр Васильович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент  
**Гуменюк Павло Олександрович**

\_\_\_\_\_  
(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 комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

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

\_\_\_\_\_ Колядюка Александра Васильовича \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Автоматизована система керування контуром приготування  
\_\_\_\_\_ заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_ Гуменюк Павло Олександрович, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_

(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 виробництва квасолі \_\_\_\_\_

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,  
\_\_\_\_\_ Розрахунок надійності системи. Техніко-економічне обґрунтування \_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_ графічний матеріал виконано у вигляді презентації, яка складається з 7 слайдів \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Розділ 5</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Розділ 6</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Розділ 7</i>	<i>Гуменюк П. О.</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**

№ 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>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>1.05.2026 р.</i>	
8	<i>Оформлення роботи</i>	<i>1.06.2026 р.</i>	

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

Колядюк О. В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Гуменюк П. О.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Колядюк О. В. Автоматизована система керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2026.

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

Метою роботи є забезпечення стабільної якості продукції, ефективності процесу та безпеки шляхом автоматичного контролю ключових параметрів приготування соусу, тим самим мінімізуючи людські помилки, зменшуючи відхилення, оптимізуючи використання ресурсів та забезпечуючи моніторинг у режимі реального часу.

Практична новизна полягає у застосуванні адаптивних алгоритмів керування, що автоматично регулюють нагрівання, змішування та концентрацію на основі даних датчиків у реальному часі.

Обсяг пояснювальної записки становить 40 друкованих сторінок. Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи складає 7 слайдів презентації.

Ключові слова: заливочний соус, технологічні параметри, керування, ADAM-5000.

					АтаБС-006.00.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Колядюк О. В.			Автоматизована система керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Гуменюк П.О.					4	
Н. контр.		Лапченко Ю.С				ЛНТУ, гр. АВ-41		
Затв.		Гуменюк Л.О.						

## ANNOTATION

Kolyadiuk O. Automated control system for the filling sauce preparation circuit of the canned bean production process. Manuscript.

Qualification work for bachelor's degree in "Automation and computer-integrated technologies". Lutsk National Technical University, Lutsk, 2026.

The bachelor's thesis consists of an introduction, seven chapters, conclusions and suggestions, a list of references and appendices.

The goal of this project is to ensure consistent product quality, process efficiency, and safety by automatically monitoring key parameters in the sauce preparation process, thereby minimizing human error, reducing variations, optimizing resource utilization, and providing real-time monitoring.

The practical innovation lies in the use of adaptive control algorithms that automatically adjust heating, mixing, and concentration based on real-time sensor data.

The volume of the explanatory note is 40 printed pages. The volume of the graphic part of the master's work is 7 slides of the presentation.

Key words: filling sauce, process parameters, control, ADAM-5000.

					АтаБС-006.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ .....	9
1.1 Опис та аналіз об'єкта керування .....	9
1.2 Перелік задач контролю та керування процесом .....	11
1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації .....	12
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ .....	16
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	17
3.1 Вибір датчиків .....	17
3.2 Вибір виконавчих пристроїв .....	21
3.3 Вибір пристроїв управління .....	22
3.4 Вибір джерел живлення .....	22
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ .....	25
РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	26
5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління .....	26
5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера .....	27
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ .....	32
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....	34
ВИСНОВОК .....	36
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	38
ДОДАТКИ .....	41

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Технологічний процес виготовлення консервованої квасолі включає ряд етапів: замочування і варіння квасолі, приготування соусу та заливку підготовленої квасолі соусом у банках. Якість готових консерв залежить від якості виконання кожного з перерахованих етапів. У даній роботі розглядається етап приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі.

Розробка автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі є актуальною з ряду причин. Автоматичне дозування, нагрівання та змішування забезпечують стабільні показники, усуваючи коливання між партіями. Автоматизація зменшує ризик появи ненадійних композицій та забезпечує відповідність стандартам безпеки харчових продуктів. Автоматизація скорочує тривалість циклів, зменшує час простою, оптимізує термічні процеси та покращує пропускну здатність всієї лінії. Вона мінімізує відходи інгредієнтів, знижує споживання енергії та зменшує трудомісткість завдяки автоматизації повторюваних завдань. Автоматизований моніторинг дозволяє на ранній стадії виявляти відхилення, запобігаючи випуску бракованих партій та дозволяє синхронізувати приготування соусу з варінням бобів, розливом та стерилізацією, покращуючи роботу лінії та запобігаючи виникненню проблем.

Метою розробки автоматизованої системи керування контуром приготування соусу на лінії з виробництва консервованої квасолі є забезпечення стабільної якості продукції, ефективності процесу та безпеки шляхом автоматичного контролю ключових параметрів приготування соусу, тим самим мінімізуючи людські помилки, зменшуючи відхилення, оптимізуючи використання ресурсів та забезпечуючи моніторинг у режимі реального часу.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є технологічний процес приготування томатного соусу на лінії з виробництва консервованої квасолі, включаючи все пов'язане з ним обладнання: змішувальні резервуари, дозувальні системи, нагрівальні агрегати, датчики та пристрої управління.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та параметри керування, що використовуються для автоматизації процесу, а також програмні та апаратні компоненти, що забезпечують стабільну та ефективну роботу процесу.

Методи дослідження: аналіз існуючих процесів, системний підхід, структурно-функціональний метод.

Практична новизна полягає у застосуванні адаптивних алгоритмів керування, що автоматично регулюють нагрівання, змішування та концентрацію на основі даних датчиків у реальному часі.

У процесі виконання роботи необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
- виконати розробку функціональної схеми автоматизації;
- виконати вибір технічних засобів автоматизації;
- виконати розробку схеми керування мікропроцесорними модулями;
- виконати розрахунок надійності системи;
- виконати розрахунок затрат для запуску автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 1.1 Опис та аналіз об'єкта керування

Консервована квасоля зберігає більшу частину макро- та мікроелементів, що містяться у вареній сухій квасолі, оскільки термічна стерилізація не призводить до їх значного руйнування. Вона має тривалий термін зберігання без консервантів – безпека забезпечується термічною обробкою, а не добавками.

Ключова перевага з технологічної точки зору така, що консервовану квасолі не потрібно замочувати або довго варити, злиті боби можна одразу додавати до салатів, супів, соусів та готових страв. Така квасоля має високу засвоюваність, адже термічна обробка пом'якшує оболонку насіння та зменшує необхідність інтенсивного пережовування. Завдяки поєднанню складних вуглеводів, розчинної клітковини (що утворює в'язкість) та рослинного білка, консервована квасоля надає тривалу ситність для підтримки контролю ваги.

На відміну від свіжих овочів, поживний склад консервованої квасолі залишається стабільним протягом усього терміну зберігання, оскільки ферментативний розпад зупиняється під час стерилізації, окислювальні зміни мінімізуються завдяки герметичному закриттю та середовищу з низьким вмістом кисню [1].

Технологічні параметри виготовлення консервованої квасолі повинні відповідати ДСТУ 6074:2009 [2].

Важливим етапом приготування консервованої квасолі є підготовка заливочного соусу на основі томатної пасти. У змішувальний бак подається томатна паста, цукор, сіль, спеції та ароматизатори, олія, загущувачі та інше, залежно від рецептури. Суміш перемішують і доводять до кипіння [3].

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заливочний соус варять при постійному перемішуванні протягом 10 хв. Після цього готовий соус подається у ємність для дозування у банки.

Рецептура соусу може відрізнятись, залежно від виробника. Розглянемо типовий склад заливочного соусу при приготуванні консервованої квасолі.

Залежно від технічних умов (ТУ) або рецептури консервованих бобів, до томатної пасти можуть додавати такі інгредієнти:

- томатна паста або концентрат (28-30 % сухих речовин). Після розведення кінцевий вміст розчинних сухих речовин становить 8-10 °Brix,
- сіль (зазвичай 1,0-1,8 % залежно від рецептури),
- цукор (для регулювання смаку та збалансування кислотності),
- регулятори кислотності (зазвичай лимонна кислота) для досягнення  $\text{pH} \leq 4,2$ , зазвичай 4,0-4,2 (регулювання pH забезпечує безпечну термічну обробку та довготривалу стабільність продукту),
- спеції та ароматизатори (за бажанням): чорний перець (мелений), лавровий лист, духмяний перець (мелений), мелена паприка, цибульне пюре або екстракт моркви, сушений часник та інше,
- вода – додають, щоб отримати кінцевий об'єм 100 л і забезпечити необхідну в'язкість.

Контроль в'язкості є бажаним, оскільки він впливає на прокачуваність соусу, точність розливу в банки, розподіл бобів у банці, теплообмін під час стерилізації, сприйняття споживачем густоти соусу. Значні коливання в'язкості можуть спричинити проблеми з розливом і непостійність якості продукції. В'язкість томатних соусів для консервованої квасолі зазвичай становить 600-1500 мПа·с (сантипуаз) залежно від рецептури.

Всі інгредієнти дозуються за допомогою дозувальних систем, а потім змішуються в змішувальному баку з сорочкою. В сорочку подається гаряча пара під тиском 0,2-0,4 МПа. Цей діапазон тиску забезпечує достатній теплообмін через сорочку, стабільне нагрівання продукту, безпечну експлуатацію стандартного харчового парового обладнання.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Готовий соус нагрівають до 90-95 °С для повного розчинення доданих твердих речовин для забезпечення мікробної стабільності перед розливом.

Гарячий соус дозується в банки, вже наповнені попередньо приготованими бобами.

## 1.2 Перелік задач контролю та керування процесом

В таблиці 1.1 приведено параметри керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі з розрахунку на 100 л соусу. Ці показники відповідають стандартним промисловим рецептурам томатного соусу з вмістом сухих речовин 10-12 %, що має збалансовану кислотність та приправленість.

Таблиця 1.1 – Параметри керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі

№	Назва параметра	Допустимі межі	Відхилення
1	Кількість томатної пасти, кг	12-18	± 0,5
2	Кількість солі (NaCl), кг	1,2-1,5	± 0,1
3	Кількість цукру, кг	0,7-1,0	± 0,1
4	Лимонна кислота, кг	0,08-0,12	± 0,01
5	Спеції, кг	1,5-2,5	± 0,1
6	Кислотність, рН	4,0-4,2	± 0,1
7	Температура приготування соусу, °С	90-95	± 3
8	Час приготування соусу, хв.	7-10	± 1
9	Тиск пари для нагрівання сорочки, МПа	0,2-0,4	± 0,1
10	В'язкість, мПа·с	600-1500	± 50

Задачі автоматизації при керуванні контуром приготування заливочного соусу:

– контроль і регулювання кількості складових;

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- контроль і регулювання температури приготування соусу;
- контроль і регулювання кислотності;
- контроль і регулювання часу приготування соусу;
- контроль і регулювання тиску пари для нагрівання сорочки;
- контроль і регулювання в'язкості соусу;
- сигналізація про відхилення.

### 1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації

Для автоматизованого керування процесом приготування соусу на лінії з виробництва консервованої квасолі змінні можна класифікувати відповідно до стандартної термінології керування технологічними процесами.

1. Вхідні (керовані) змінні – це змінні, які система керування змінює для впливу на процес:

- кількість води  $M_{\text{води}}$  регулює в'язкість соусу та кінцевий об'єм,
- кількість томатної пасти  $M_{\text{томат}}$  регулює концентрацію сухих речовин,
- кількість солі та цукру  $M_{\text{сіль-цукор}}$  регулює рецептуру,
- кількість лимонної кислоти  $M_{\text{кислоти}}$  регулює рН.

Ці змінні регулюються автоматично за допомогою приводів, таких як регулювальні клапани, дозувальні насоси та частотні перетворювачі.

Вихідні (регульовані) величини – це параметри технологічного процесу, які необхідно підтримувати на заданих рівнях:

- температура соусу  $T_c$ ,
- кислотність соусу рН,
- в'язкість соусу  $\mu$ ,
- органолептичні характеристики Орг.

Датчики безперервно вимірюють ці змінні та надсилають сигнали до системи керування.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Керуючі параметри – це сигнали, що генеруються контролером для регулювання керованих змінних:

- температура приготування соусу  $T_{\text{пригот}}$ ,
- час приготування соусу  $t$ ,
- тиск пари  $P$ ,
- швидкість змішувача  $V_{\text{зміш}}$  (впливає на однорідність та теплообмін).

Ці дії виконуються ПЛК або контролером технологічного процесу з використанням таких алгоритмів, як ПІД-регулювання.

Збурюючі фактори – це неконтрольовані фактори, які впливають на технологічний процес і призводять до відхилень від бажаного результату:

- відхилення в концентрації томатної пасти від різних постачальників  $C_{\text{томат}}$ ,
- коливання температури води  $T_{\text{води}}$ ,
- коливання тиску пари в паровій мережі  $P_{\text{мережі}}$ ,
- відхилення в точності дозування інгредієнтів  $T_{\text{очн}}$ .

Ці збурення повинні компенсуватися системою управління для підтримки стабільних умов процесу.

Схема взаємозв'язків параметрів системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі показана на рисунку 1.1.

Недотримання заданих технологічних параметрів під час приготування соусу може негативно вплинути як на роботу системи управління, так і на якість та безпеку кінцевого продукту.

Відхилення температури: занадто низька температура призведе до неповного проварювання, поганого розчинення інгредієнтів, недостатнього знищення мікроорганізмів, а занадто висока – до погіршення смаку та кольору, надмірного випаровування, можливого підгоряння соусу. Для системи керування тривале відхилення може спричинити безперервні цикли корекції або нестабільність контуру регулювання температури.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

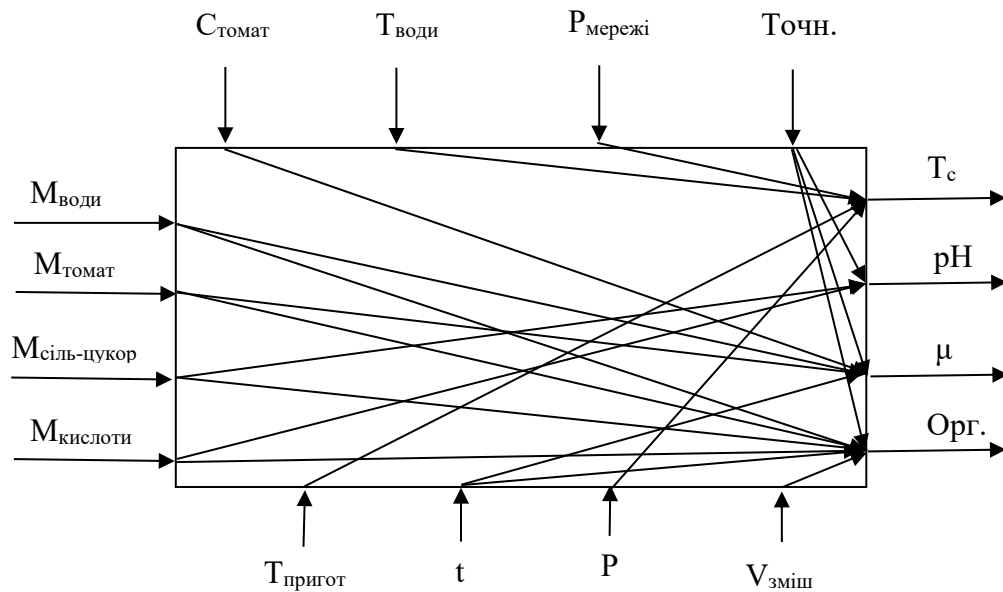


Рисунок 1.1 – Схема взаємозв'язків параметрів системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі

Відхилення рівня кислотності: занадто високий рівень рН призведе до підвищеного мікробіологічного ризику та зниженої стабільності при зберіганні, а занадто низький рівень рН – до надмірно кислого смаку та можливої корозії обладнання. Система контролю може спрацьовувати сигнали тривоги або запускати коригувальне дозування лимонної кислоти, що збільшує мінливість технологічного процесу.

Надмірна або недостатня в'язкість: низька в'язкість призведе до поганого покриття квасолі та нерівномірного розподілу в банці, а висока в'язкість – до труднощів з перекачуванням, змішуванням та наповненням. Це може спричинити перевантаження насосів та змішувачів, що вплине на продуктивність системи.

Нестабільність тиску пари: низький тиск призведе до недостатньої швидкості нагрівання, а високий тиск – до ризику перегріву та втрат енергії. Контури регулювання можуть стати нестабільними через коливання умов теплообміну.

Недостатнє перемішування призводить до неоднорідного складу, що спричиняє неточні показання датчиків (температура, рН), які спотворюють роботу системи управління.

Таким чином, недотримання технологічних параметрів призводить до нестабільності контуру регулювання, необхідності частих коригувальних заходів, спрацьовування сигналів тривоги, збільшення енергоспоживання, надмірного навантаження на обладнання та нестабільної якості продукції, що в кінцевому підсумку може призвести до випуску бракованих партій або зупинки виробництва.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

**РОЗДІЛ 2**  
**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ**  
**АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**

У змішувальний бак з резервуарів подаються томатна паста, цукор, сіль, прянощі, лимонна кислота. Маса інгредієнтів контролюється датчиками маси відповідно WE 1-1, WE 2-1, WE 3-1, WE 4-1, WE 5-1. Клапан 1-4, 2-4, 3-4, 4-4, 5-4 відкриваються відповідно пускачами NS 1-3, NS 2-3, NS 3-3, NS 4-3, NS 5-3. Вода у бак закачується насосом, двигун якого включається пускачем NS 6-3 до спрацювання датчика рівня LE 6-1 або датчика концентрації QE 7-1. Якщо значення рівня виходить за задані межі, то спрацьовує сигналізація на щиті керування. Мішалку для перемішування інгредієнтів у баку запускає двигун 7-4, що включається пускачем NS 7-3.

Через вентиль 8-4, що відкривається пускачем NS 8-3, у сорочку подається гаряча пара під тиском, що контролюється датчиком тиску PE 8-1. Якщо значення тиску виходить за задані межі, то спрацьовує сигналізація на щиті керування. Температура соусу контролюється датчиком температури TE 9-1, а в'язкість соусу контролюється віскозиметром VE 10-1.

Після досягнення заданої в'язкості соус насосом перекачується на наступний етап виготовлення консервованої квасолі. Насос вмикає двигун 11-4, який включається пускачем NS 11-3. Витрата соусу вимірюється датчиком витрати FE 11-1.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### РОЗДІЛ 3

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

### АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 3.1 Вибір датчиків

Датчик маси.

В автоматизованій системі керування для масового дозування та контролю томатної пасти, солі, цукру, спецій та лимонної кислоти можна використовувати різні варіанти датчиків.

Тензодатчики для гравіметричного дозування (порційне / за принципом втрати ваги) – використовуються для вимірювання ваги інгредієнтів у бункерах або змішувачах під час порційного дозування. Тензодатчики широко застосовуються в системах дозування харчових інгредієнтів і легко підключаються до аналогових входів ПЛК або перетворювачів ваги.

Для солі, цукру, лимонної кислоти, спецій використаємо тензодатчики з меншим діапазоном (5-10 кг), що забезпечують вищу відносну точність. Оберемо тензодатчик АТО-ГРВ100D [4]. Технічні характеристики тензодатчика АТО-ГРВ100D наведено в додатку А.1.

Для безперервного дозування томатної пасти при перекачуванні рекомендовано використовувати кориолісові масові витратоміри, які безпосередньо вимірюють масовий потік і широко застосовуються у харчовій промисловості для дозування.

Харчові кориолісові масові витратоміри вимірюють справжній масовий потік без компенсації змін щільності/в'язкості. Відмінно підходять для дозування компонентів соусів, де точність вимірювання маси має вирішальне значення.

Для дозування томатної пасти оберемо кориолісовий масовий витратомір Krohne OPTIMASS MFS 7000 [5]. Технічні характеристики витратоміра Krohne OPTIMASS MFS 7000 наведено в додатку А.2.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчик рівня.

Для контролю рівня соусу в змішувальному баку потрібно підібрати датчик рівня, що має аналоговий вхід для безперервного вимірювання рівня, а також дискретний вихід для сигналізації про перелив або спрацьовування тривоги.

Для контролю рівня в резервуарі для соусу були проаналізовані такі типи датчиків.

Ультразвуковий датчик рівня Ultrasonic Water Tank Level Sensor – безконтактний датчик з міцним корпусом із захистом за стандартом IP; ідеально підходить для гігієнічного вимірювання рівня рідини без прямого контакту з соусом (зменшує ризик забруднення). Має хороше співвідношення ціни та якості для загальних промислових резервуарів.

Вибухозахищений датчик рівня 4-20 мА, сертифікований за АТЕХ (ATEX Explosion-Proof) – компактний датчик рівня з аналоговим виходом; підходить для корозійних або агресивних середовищ. Надає додаткові дискретні виходи (комутаційні) для сигналізації високого/низького рівня.

Гідростатичний датчик рівня Qdy30A – занурювальний гідростатичний датчик рівня з входом 4-20 мА; добре підходить для безперервного вимірювання рівня в резервуарах з рідиною та має просту установку.

Промисловий датчик рівня з нержавіючої сталі – безперервний датчик з надійним виходом 4-20 мА та міцною конструкцією для застосування у харчовій промисловості.

Датчик рівня рідини Wrt-136 – компактний гідростатичний датчик з високою точністю і середньою ціною категорією.

Високотемпературний датчик рівня – призначений для роботи при підвищених температурах; підходить для резервуарів, що нагріваються до температур, близьких до температур приготування їжі.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Промисловий ємнісний датчик рівня – датчик безперервного вимірювання рівня; підходить для рідин із різними діелектричними властивостями (такими, як соус і вода), хоча зазвичай коштує дорожче.

Якщо розглядати цінові характеристики, то найкращими бюджетними варіантами є гідростатичні датчики рівня Qdy30A та Wrt-136 – прості та економічно вигідні для безперервного зворотного зв'язку щодо рівня соусу. Більш надійним пристроєм середнього класу є ультразвуковий датчик рівня Ultrasonic – безконтактне вимірювання зменшує витрати на технічне обслуговування. Промислову якість забезпечують промисловий датчик рівня з нержавіючої сталі та високотемпературний датчик рівня – вони більш довговічні та придатні для середовищ харчової промисловості, але і значно дорожчі.

Для змішувального резервуара з томатним соусом оберемо безконтактний ультразвуковий датчик рівня Ultrasonic Water Tank Level Sensor FST700-CS01, оскільки він не контактує з продуктом, що спрощує очищення та знижує ризик забруднення [6]. Технічні характеристики датчика рівня Ultrasonic Water Tank Level Sensor FST700-CS01 наведено в додатку А.3.

Датчик рН.

Для контролю кислотності соусу оберемо онлайн-датчик рН BOQU PH5804 [7]. Він використовується для безперервного вимірювання в режимі реального часу в змішувальному резервуарі, має конструкцію, придатну для харчової промисловості. Технічні характеристики датчика кислотності BOQU PH5804 наведено в додатку А.4.

Датчик тиску.

Для приготування соусу потрібно використовувати датчик тиску для парового нагрівання сорочки під тиском  $\sim 0,2-0,4$  МПа. Цим вимогам відповідає датчик тиску Danfoss MBS 1700 [8]. Виконання з нержавіючої сталі та міцна конструкція роблять його придатним для використання в

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічних середовищах харчової промисловості. Технічні характеристики датчика тиску Danfoss MBS 1700 наведено в додатку А.5.

Датчик температури.

Для нагрівання соусів краще використовувати терморезистори, ніж термопари, оскільки терморезистори забезпечують вищу точність і стабільність у діапазоні 50-100 °С, що відповідає параметрам приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі. Для контролю температури соусу оберемо термометр опору ОВЕН ДТС065-РТ100 [9]. Технічні характеристики термометра опору ОВЕН ДТС065-РТ100 наведено в додатку А.6.

Датчик в'язкості.

Для безперервного онлайн-моніторингу в'язкості соусу у системі автоматизованого керування рекомендовано використовувати датчики в'язкості, що забезпечують аналогові входи та можливість взаємодії з ПЛК, а також підтримку дискретної сигналізації. Вбудовані датчики забезпечують аналогові входи і розроблені спеціально для інтеграції з промисловими контролерами. Для онлайн контролю в'язкості соусу оберемо датчик в'язкості Aquametro Viscomaster™ [10]. Технічні характеристики датчика в'язкості Aquametro Viscomaster™ наведено в додатку А.7.

Датчик витрати.

Для контролю витрати соусу під час його перекачування на наступний етап виробничої лінії використовуємо витратоміри. Оберемо датчики, що мають аналогові входи, придатні для підключення до входів ПЛК/ІО, а також забезпечують оптимальне співвідношення ціни та продуктивності для промислової автоматизації.

Ультразвуковий датчик витрати з накладним кріпленням встановлюється безконтактно, з діапазоном вимірювання витрати 0-3000 мл/хв, що підходить для моніторингу витрати соусу. Він використовує метод встановлення за допомогою зовнішнього затискача, що забезпечує легке та

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидке встановлення без розрізання або руйнування труби, що зменшує витрати та час на встановлення. Безконтактна конструкція ультразвукового датчика витрати для труб, що кріпиться за допомогою затискача, не впливає на потік рідини всередині труби, тому немає втрати тиску. Ультразвуковий датчик витрати не потребує безпосереднього контакту з рідиною, оскільки для вимірювання потоку використовується ультразвукова технологія, що запобігає забрудненню рідини та зносу обладнання.

Для контролю витрати соусу оберемо ультразвуковий датчик витрати на затискачі АТО-AFD6106 від АТО Flow Meter [11]. Технічні характеристики датчика витрати АТО-AFD6106 наведено в додатку А.8.

### **3.2 Вибір виконавчих пристроїв**

Електромагнітні клапани.

Електромагнітні клапани використовуються для відкриття / закриття ліній подачі інгредієнтів. Для автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі використаємо перетискний електромагнітний клапан ODE 21Z25B1S65 [12]. Технічні характеристики електромагнітного клапана ODE 21Z25B1S65 наведено в додатку Б.1.

Регулювальні клапани.

Регулювальні клапани використовуються для контролю дозування води, для регулювання потоку пари і для регулювання потоку продукту перед насосами використаємо дросельні клапани FESTO GRLA-3/8-QS-8-D [13]. Технічні характеристики дросельного клапана FESTO GRLA-3/8-QS-8-D наведено в додатку Б.2.

Частотні перетворювачі.

Для керування двигунами насосів у системах дозування та перекачування соусів і для регулювання швидкості перемішування

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються частотні перетворювачі. Це підвищує енергоефективність, забезпечує плавність роботи та зменшує механічне навантаження. Використаємо частотні перетворювачі Delta Electronics VFD015B21A [14]. Технічні характеристики частотних перетворювачів Delta Electronics VFD015B21A наведено в додатку Б.3.

Пускачі.

Для двигунів насосів і мішалки використаємо пускачі Аско ПМ 1-12-10 [15]. Технічні характеристики пускачів Аско ПМ 1-12-10 наведено в додатку Б.4.

### 3.3 Вибір пристроїв управління

З функціональної схеми видно, що керування контуром приготування заливочного соусу використовуються такі комунікаційні канали:

- аналогові входи – 11;
- дискретні входи – 0;
- аналогові виходи – 1;
- дискретні виходи – 8.

Тому вибираємо:

- модулі аналогового вводу ADAM-5017 – 2 шт. [16];
- модулі аналогового виводу ADAM-5024 – 1 шт. [17];
- модулі дискретного виводу ADAM-5056 – 1 шт. [18];
- модуль перетворення інтерфейсів ADAM-5510E – 1 шт. [19].

Їх технічні характеристики наведено в додатках В.1-В.4.

### 3.4 Вибір джерел живлення

Розрахуємо блок живлення, необхідний для керування контуром приготування заливочного соусу.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо сумарний постійний струм датчиків та вимірювальних приладів:

- тензодатчик АТО-GPB100D:  $5 \times 20 \text{ мА} = 100 \text{ мА}$ ,
- витратомір Krohne OPTIMASS MFS 7000: 500 мА,
- датчик рівня Ultrasonic Water Tank Level Sensor FST700-CS01: 60 мА,
- датчик рН BOQU PH5804: 20 мА,
- датчик тиску Danfoss MBS 1700: 20 мА,
- термометр опору ОВЕН ДТС065-РТ100: 25 мА,
- датчик в'язкості Aquametro Viscomaster™: 250 мА,
- датчик витрати АТО-AFD6106: 40 мА.

Всього датчики:

$$100 + 500 + 60 + 20 + 20 + 25 + 250 + 40 = 1015 \text{ мА} \approx 1,02 \text{ А.}$$

Модулі контролера ADAM:

$$\text{ADAM-5017: } 2 \times 50 \text{ мА} = 100 \text{ мА,}$$

$$\text{ADAM-5024: } 70 \text{ мА,}$$

$$\text{ADAM-5056: } 100 \text{ мА,}$$

$$\text{ADAM-5510E: } 400 \text{ мА.}$$

Підсистема ADAM загалом:

$$100 + 70 + 100 + 400 = 670 \text{ мА} = 0,67 \text{ А.}$$

Загальне постійне навантаження:

$$I_{\text{заг}} = 1,02 \text{ А} + 0,67 \text{ А} = 1,69 \text{ А.}$$

Застосуємо запас міцності. Для вимірювальних приладів стандартний запас міцності становить 25 %:

$$I_{\text{запас}} = 1,69 \times 1,25 = 2,11 \text{ А.}$$

Додамо резерв на пускові / пікові навантаження (20 %):

$$I_{\text{резерв}} = 2,11 \times 1,20 = 2,53 \text{ А.}$$

Отже, кінцева необхідна номінальна потужність блоку живлення буде становити:

$$P = 24 \text{ В} \times 3 \text{ А} = 72 \text{ Вт.}$$

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оберемо блок живлення на DIN-рейку Mean Well HDR-100-24N [20].  
Технічні характеристики блоку живлення Mean Well HDR-100-24N наведено в додатку В.5.

Специфікація засобів автоматизації наведена в додатку Г.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Після аналізу технологічного процесу, вибору мікроконтролера та модулів вводу-виводу проведемо опис схеми з'єднань модулів контролера.

Модулі контролера підключені до блоку живлення БЖ на +10...+30 В змінного струму, який живиться від загальної мережі +220 В. На схемі є 4 модулі контролера: 2 модулі ADAM-5017, 1 модуль ADAM-5024, 1 модуль ADAM-5056. Для забезпечення сталого струму 4-20мА контролери підключені послідовно.

Всі датчики аналогові, тому вони підключаються до модулів ADAM-5017 по двохпровідній схемі (підключення здійснюється паралельно). Вихідний сигнал датчиків становить 4-20 мА.

До першого модуля ADAM-5017 підключені датчики маси (WE 1-1, WE 2-1, WE 3-1, WE 4-1, WE 5-1), датчик рівня (LE 6-1), датчик концентрації (QE 7-1) і датчик тиску (PE 8-1). До другого модуля ADAM-5017 підключені датчик температури (TE 9-1), датчик в'язкості (VE 10-1) і датчик витрати (FE 11-1).

Регулюючий виконавчий механізм з аналоговим виходом (NS 8-3) підключений до модуля ADAM-5024.

Виконавчі механізми з дискретними виходами підключені до модуля ADAM-5056 по однопровідній схемі – один контакт на вихід модуля, інший на живлення +24В.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління

Алгоритм приготування заливочного соусу починається з відкриття клапанів пускачами NS 1-3, NS 2-3, NS 3-3, NS 4-3, NS 5-3 і запуску двигуна насоса подачі води пускачем NS 6-3. При цьому відбувається зчитування інформації з датчиків маси WE 1-1, WE 2-1, WE 3-1, WE 4-1, WE 5-1. Для датчиків маси перевіряється умова  $WE_i = WE_{i\text{зад}}$ . Якщо умова не виконується, процес зважування триває, якщо умова виконується – пускачі закривають відповідні клапани.

Також відбувається зчитування інформації з датчика рівня LE 6-1 і паралельно з датчика концентрації QE 7-1. Для датчика рівня перевіряється умова  $LE\ 6-1 = LE_{\text{тах}}$ , якщо умова не виконується, вода продовжує поступати в бак, якщо умова виконується – пускач вимикає двигун насоса. Для датчика концентрації перевіряється умова  $QE\ 7-1 = QE_{\text{зад}}$ , якщо умова не виконується, вода продовжує поступати в бак, якщо умова виконується – пускач вимикає двигун насоса подачі води.

Далі пускач NS 7-3 запускає двигун мішалки, а пускач NS 8-3 відкриває клапан подачі гарячої пари 8-4. При цьому відбувається паралельно зчитування з датчика тиску PE 8-1, з датчика температури TE 9-1 і з датчика в'язкості VE 10-1. Перевіряються умови  $PE\ 8-1 < PE_{\text{зад}}$  і  $TE\ 9-1 < TE_{\text{зад}}$ . Якщо умови виконуються, то триває процес нагрівання соусу з одночасним перемішуванням. Якщо умови не виконуються, то пускач NS 8-3 закриває клапан подачі гарячої пари.

Одночасно перевіряється умова  $VE\ 10-1 = VE_{\text{зад}}$ . Якщо умова не виконується, то процес уварювання соусу триває, а якщо умова виконується – пускач NS 7-3 зупиняє двигун мішалки, а пускач NS 8-3 закриває клапан подачі гарячої пари.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього пускач NS 11-3 запускає двигун насоса для перекачування соусу. Перевіряється умова FE 11-1 = FE<sub>зад</sub>. Якщо умова не виконується – процес перекачування соусу триває, а якщо умова виконується – пускач NS 11-3 зупиняє двигун насоса.

Блок-схема алгоритму побудована згідно ДСТУ ISO 5807:2016 [21].

## 5.2. Розробка програми

Програма розроблена у середовищі ADAMView.

Для зчитування інформації з аналогових датчиків використовуються блоки аналогового вводу AI. Алгоритми дій описуються в блоках SCR на мові програмування Basic Script, до них через блоки дискретного виводу DO та аналогового виводу AO підключаються пускові пристрої.

У вікні проектування завдання встановлюємо п'ять блоків аналогового вводу AI1, AI2, AI3, AI4 та AI5. До них підключаємо відповідно датчики маси WE 1-1, WE 2-1, WE 3-1, WE 4-1, WE 5-1. Встановлюємо блок Basic-скрипт і у ньому прописуємо програму (лістинг 5.1):

Лістинг 5.1 – Програма зчитування даних з датчиків маси

```
Sub SCR1()  
  set WE1 = GetTag("TASK1", "AI1")  
  set WE2 = GetTag("TASK1", "AI2")  
  set WE3 = GetTag("TASK1", "AI3")  
  set WE4 = GetTag("TASK1", "AI4")  
  set WE5 = GetTag("TASK1", "AI5")  
  if WE < WEзад then  
    outputi 0,0  
    outputi 1,0  
    outputi 2,0
```

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
outputi 3,0
outputi 4,0
outputi 5,0
outputi 6,0
else
outputi 0,1
outputi 1,1
outputi 2,1
outputi 3,1
outputi 4,1
outputi 5,1
outputi 6,1
end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.1

На нульовий вихід блоку SCR1 підключаємо дискретний блок DO1, до якого підключаємо пускач NS 1-3. На перший вихід блоку SCR1 підключаємо дискретний блок DO2, до якого підключаємо пускач NS 2-3. На другий вихід блоку SCR1 підключаємо дискретний блок DO3, до якого підключаємо пускач NS 3-3. На третій вихід блоку SCR1 підключаємо дискретний блок DO4, до якого підключаємо пускач NS 4-3. На четвертий вихід блоку SCR1 підключаємо дискретний блок DO5, до якого підключаємо пускач NS 5-3.

У вікні проектування завдання встановлюємо два блоки аналогового вводу AI6, AI7, до яких підключаємо відповідно датчик рівня LE 6-1 і датчик концентрації QE 7-1. Встановлюємо блок Basic-скрипт і у ньому прописуємо програму (лістинг 5.2):

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг 5.2 – Програма зчитування даних з датчиків рівня і концентрації

---

```
Sub SCR2()
  set LE1 = GetTag("TASK1", "AI6")
  set QE1 = GetTag("TASK1", "AI7")
  if LE < LEmax
    outputi 0,1
  else
    outputi 0,0
  end if
  if QE < QEзад
    outputi 0,1
  else
    outputi 0,0
  end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.2

На нульовий вихід блоку SCR2 підключаємо блок дискретного виводу DO6, до якого підключаємо пусковий пристрій NS 6-3.

У вікні проектування завдання встановлюємо два блоки аналогового вводу AI8, AI9, до яких підключаємо відповідно датчик тиску PE 8-1 і датчик температури TE 9-1. Встановлюємо блок Basic-скрипт і у ньому прописуємо програму (лістинг 5.3):

Лістинг 5.3 – Програма зчитування даних з датчиків тиску і температури

---

```
Sub SCR3()
  set PE1 = GetTag("TASK1", "AI8")
  set TE1 = GetTag("TASK1", "AI9")
  if PE < PEmax
```

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
outputi 0,1
  else
outputi 0,0
  end if
if TE < TEзад
  outputi 0,1
  else
outputi 0,0
  end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.3

На нульовий вихід блоку SCR3 підключаємо блок аналогового виводу АО1, до якого підключаємо пусковий пристрій NS 8-3.

У вікні проектування завдання встановлюємо блок аналогового вводу АІ10, до якого підключаємо датчик в'язкості VE 10-1. Встановлюємо блок Basic-скрипт і у ньому прописуємо програму (лістинг 5.4):

Лістинг 5.4 – Програма зчитування даних з датчика в'язкості

---

```
Sub SCR4()
set VE1 = GetTag("TASK1", "AI10")
if VE < VEзад
  outputi 0,1
  else
outputi 0,0
  end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.4

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На нульовий вихід блоку SCR4 підключаємо блок дискретного виводу DO7, до якого підключаємо пусковий пристрій NS 7-3.

У вікні проектування завдання встановлюємо блок аналогового вводу AI11, до якого підключаємо датчик витрати FE 11-1. Встановлюємо блок Basic-скрипт і у ньому прописуємо програму (лістинг 5.5):

Лістинг 5.5 – Програма зчитування даних з датчика витрати

---

```
Sub SCR5()  
  set FE1 = GetTag("TASK1", "AI11")  
  if FE < FEзад  
    outputi 0,1  
  else  
    outputi 0,0  
  end if  
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.5

На нульовий вихід блоку SCR5 підключаємо блок дискретного виводу DO8, до якого підключаємо пусковий пристрій NS 11-3.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ

Інтенсивність відмов приймемо однаковою для всіх елементів контуру. Згідно ДСТУ EN 62061:2014 [22]  $\lambda = 0,05 \cdot 10^{-6} \div 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Приймемо  $\lambda = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Загальний розрахунковий час роботи приймемо 1 робочий рік у дві 8-годинні зміни, тобто  $t = 5840$  годин.

Ймовірність безвідмовної роботи елементів визначимо за формулою (6.1) [23]:

$$P_i = e^{-\lambda t}, \quad (6.1)$$

де  $\lambda$  - інтенсивність виникнення відмов,  $\text{год}^{-1}$ ,

$t$  - час безвідмовної роботи.

Отже, ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента дорівнює:

$$P_i = e^{-1,3 \cdot 10^{-6} \cdot 5840} = e^{-0,007592} \approx 0,99244.$$

Тоді ймовірність виникнення відмов кожного елемента дорівнює:

$$Q_i = 1 - P_i = 0,00756.$$

Ці базові значення будемо використовувати для всіх компонентів.

Розглянемо схему підключення елементів у загальній структурі:

- 1 гілка: послідовно підключені пускач і витратомір;
- 2 гілка: послідовно підключені пускач і тензодатчик;
- 3, 4 і 5 гілки такі ж, як і 2;
- 6 гілка: до пускача паралельно підключені датчик рівня і датчик кислотності;
- 7 гілка: 1-6 гілки підключені паралельно;
- 8 гілка: паралельно підключені 2 пускачі;
- 9 гілка: паралельно підключені датчик тиску, термометр опору і датчик в'язкості;

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– вся система: послідовно підключені гілки 7, 8, 9, пускач і датчик витрати.

Розрахуємо надійність кожної гілки.

Гілки 1-5 кожна:

$$P_{1-5} = P_i^2 = 0,99244^2 = 0,98495,$$

$$Q_{1-5} = 1 - P_{1-5} = 1 - 0,98495 = 0,01505.$$

Гілка 6: пускач у послідовному з'єднанні з паралельними датчиками (рівня і рН):

– паралельний блок:

$$P_{//} = 1 - Q_i^2 = 1 - 0,00756^2 = 1 - 5,72 \cdot 10^{-5} = 0,9999428,$$

– загалом:

$$P_6 = P_i \cdot P_{//} = 0,99244 \cdot 0,9999428 = 0,992383,$$

$$Q_6 = 1 - P_6 = 1 - 0,992383 = 0,007617.$$

Гілка 7:

$$Q_7 = Q_{1-5}^5 \cdot Q_6 = 0,01505^5 \cdot 0,007617 = 5,88 \cdot 10^{-12},$$

$$P_7 = 1 - Q_7 = 1 - 5,88 \cdot 10^{-12} = 0,9999999999941 \approx 1,0.$$

Гілка 7 є майже повністю надійною, оскільки поєднує багато паралельних ділянок.

Гілка 8:

$$P_8 = 1 - Q_i^2 = 1 - 0,00756^2 = 0,9999428,$$

$$Q_8 = 1 - P_8 = 1 - 0,9999428 = 5,72 \cdot 10^{-5}.$$

Гілка 9:

$$Q_9 = Q_i^3 = 0,00756^3 = 4,3 \cdot 10^{-7},$$

$$P_9 = 1 - Q_9 = 1 - 4,3 \cdot 10^{-7} = 0,999999567.$$

Загальна надійність системи:

$$P_{\text{заг}} = P_7 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_1^2 = 1,0 \cdot 0,9999428 \cdot 0,999999567 \cdot 0,99244^2 = 0,98437.$$

Це означає, що за 1 робочий рік експлуатації у дві 8-годинні зміни, ймовірність того, що вся автоматизована система керування контуром приготування заливочного соусу працюватиме без збоїв, становить 98,4 %.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 7

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для розрахунку коштів, необхідних для запуску автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі зведемо вартість обладнання в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок вартості КВП і А [4-20]

№ з/п	Назва приладу	Тип приладу	Кількість	Вартість одного приладу, грн.	Загальна вартість приладів, грн.
1	Датчик маси	ATO-GPB100D	5	4834	24171
2	Датчик маси	Krohne OPTIMASS MFS 7000	1	110000	110000
3	Датчик рівня	Ultrasonic Water Tank Level Sensor FST700-CS01	1	7020	7020
4	Датчик кислотності	BOQU PH5804	1	22000	22000
5	Датчик тиску	Danfoss MBS 1700	1	5400	5400
6	Датчик температури	ОВЕН ДТС065-PT100	1	1000	1000
7	Датчик в'язкості	Aquametro Viscomaster™	1	26300	26300
8	Датчик витрати	ATO-AFD6106	1	40740	40740
9	Електромагнітний клапан	ODE 21Z25B1S65	5	5000	25000
10	Дросельний клапан	FESTO GRLA-3/8-QS-8-D	3	400	1200
11	Частотний перетворювач	Delta Electronics VFD015B21A	3	15 600	46800
12	Пускач	Аско ПМ 1-12-10	9	340	3060
13	Блок живлення	Mean Well HDR-100-24N	1	1200	1200
14	Контролер	ADAM-5017	2	10400	20800
15	Контролер	ADAM-5024	1	4400	4400
16	Контролер	ADAM-5056	1	5300	5300
17	Контролер	ADAM-5510E	1	17700	17700
	ВСЬОГО				362090

Отже, загальна вартість обладнання становить  $V_{\text{КВПіА}} = 362090$  грн.

Капітальні витрати на автоматизацію включають, крім вартості КВП і А, ще також транспортні витрати, витрати на монтажні роботи та витрати на налагодження обладнання (формула 7.1) [24]:

$$V = V_{\text{КВПіА}} + V_{\text{тр}} + V_{\text{м}} + V_{\text{н}}, \quad (7.1)$$

де  $V_{\text{КВПіА}}$  – загальна вартість приладів та засобів автоматизації;

$V_{\text{тр}}$  – транспортні витрати;

$V_{\text{м}}$  – витрати на монтаж;

$V_{\text{н}}$  – витрати на налагодження обладнання.

Транспортні витрати складають приблизно 25 % від вартості КВП і А:

$$V_{\text{тр}} = 362090 \cdot 0,25 = 90523 \text{ грн.}$$

Витрати на монтажні роботи складають до 45 % від вартості КВП і А:

$$V_{\text{м}} = 362090 \cdot 0,45 = 162941 \text{ грн.}$$

Витрати на налагодження обладнання складають 10 % вартості КВП і А:

$$V_{\text{н}} = 362090 \cdot 0,1 = 36209 \text{ грн.}$$

Отже, загальні витрати на автоматизацію, за формулою (7.1), становлять:

$$V = 362090 + 90523 + 162941 + 36209 = 651762 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальні вкладення для запуску автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі становлять 651762 грн.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У процесі виконання роботи вирішено такі задачі.

Виконано аналіз об'єкта керування. Розглянута рецептура виробництва соусу. Визначено параметри керування контуром приготування заливочного соусу і задачі автоматизації при керуванні контуром. Визначено вхідні, вихідні і керуючі параметри, а також збурюючі фактори. Розроблена схема взаємозв'язків параметрів.

Виконано опис функціональної схеми автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу.

Підібрано технічні засоби автоматизації:

– датчики – витратомір Krohne OPTIMASS MFS 7000 для дозування томатної пасти, тензодатчик АТО-GPB100D для дозування солі, цукру, лимонної кислоти і спецій, датчик рівня Ultrasonic Water Tank Level Sensor FST700-CS01 для контролю рівня в резервуарі для соусу, датчик кислотності BOQU PH5804 для контролю кислотності соусу, датчик тиску Danfoss MBS 1700 для парового нагрівання сорочки, термометр опору ОВЕН ДТС065-РТ100 для контролю температури соусу, датчик в'язкості Aquametro Viscomaster™ для онлайн контролю в'язкості соусу, датчик витрати АТО-AFD6106 для контролю витрати соусу.

– виконавчі пристрої – електромагнітні клапани ODE 21Z25B1S65, дросельні клапани FESTO GRLA-3/8-QS-8-D, частотні перетворювачі Delta Electronics VFD015B21A, пускачі Аско ПМ 1-12-10;

– пристрої управління – модулі аналогового вводу ADAM-5017, модулі аналогового виводу ADAM-5024, модулі дискретного виводу ADAM-5056, модуль перетворення інтерфейсів ADAM-5510E;

– блок живлення на DIN-рейку Mean Well HDR-100-24N.

Складена специфікація засобів автоматизації.

Виконано опис схеми з'єднань модулів контролера.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблено алгоритм функціонування системи керування контуром приготування заливочного соусу та програму у середовищі ADAMView.

Розраховано, що, за заданих вхідних умов, ймовірність безвідмовної роботи автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу протягом року експлуатації у дві 8-годинні зміни становить 98,4 %.

Загальні вкладення для запуску автоматизованої системи керування контуром приготування заливочного соусу технологічного процесу виробництва консервованої квасолі становлять 651762 грн.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Квасоля. URL: <https://www.ecorod.ua/produksiia/entry/view/41-kvasolia> (дата звернення: 20.02.2026).
2. ДСТУ 6074:2009 Консерви. Квасоля консервована. Технічні умови. [Чинний від 2009-10 01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2009.
3. Шевченко А. О., Прасол С. В., Михайлов Б. В. Забезпечення переробки квасолі у консервовану продукцію із удосконаленням процесу замочування. URL: <https://www.ecorod.ua/produksiia/entry/view/41-kvasolia> (дата звернення: 20.02.2026).
4. Digital Load Cell 2kg 5kg 10kg With RS485 RS232 Output. URL: [https://www.ato.com/digital-load-cell?srsltid=AfmBOooGnKFe0SrDga43mRwd\\_bMry2A8LNIkHCaldlqJoZ1hb7DH1ne](https://www.ato.com/digital-load-cell?srsltid=AfmBOooGnKFe0SrDga43mRwd_bMry2A8LNIkHCaldlqJoZ1hb7DH1ne) (дата звернення: 20.03.2026).
5. Коріолісовий витратомір Krohne optimass mfs 7000. URL: <https://esm.com.ua/1742367220?srsltid=AfmBOoqlsuzcOnqFmolgOtaC85xLu6xqSILNWFwTjCBS8SFtx-ywIzIB> (дата звернення: 20.03.2026).
6. FST700-CS01 Ultrasonic Water Tank Level Sensor. URL: [https://www.firstratesensor.com/product/FST700-CS01-Ultrasonic-Water-Tank-Level-Sensor-90.html?\\_gl=1\\*17162i9\\*\\_up\\*MQ..\\*\\_gs\\*MQ..&gclid=CjwKCAjwg\\_nNBhAGEiwAiYPYA8GbDp3qGAKAMWE1xYqZzrRUIEVE66-N3jRQebEA074JNB95qK7ВухоСВYQQAвD\\_BwE&gbraid=0AAAAAAp0fz\\_E9ov4Vaax6BU8DUMM0klVzZ](https://www.firstratesensor.com/product/FST700-CS01-Ultrasonic-Water-Tank-Level-Sensor-90.html?_gl=1*17162i9*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=CjwKCAjwg_nNBhAGEiwAiYPYA8GbDp3qGAKAMWE1xYqZzrRUIEVE66-N3jRQebEA074JNB95qK7ВухоСВYQQAвD_BwE&gbraid=0AAAAAAp0fz_E9ov4Vaax6BU8DUMM0klVzZ) (дата звернення: 20.03.2026).
7. Industrial Online pH Sensor. URL: <https://www.boquinstruments.com/industrial-online-ph-senso-product/> (дата звернення: 20.03.2026).
8. Датчик тиску MBS 1700 0–6 бар, G 1/2 (060G6104). URL: [https://privod.kiev.ua/ua/datchik\\_davleniya\\_mbs\\_1700\\_0\\_6\\_bar\\_g\\_1\\_2\\_060g6104](https://privod.kiev.ua/ua/datchik_davleniya_mbs_1700_0_6_bar_g_1_2_060g6104) (дата звернення: 20.03.2026).

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Термометр опору ОВЕН ДТС065-PT100.B3.160. URL: <https://elektrologistik.com.ua/ua/p2787192469-termometr-oporu-oven.html> (дата звернення: 20.03.2026).

10. Viscomaster™ / Viscomaster™ Dynamic. URL: [https://www.aquametro-oil-marine.com/files/aquametro/downloads/7425e\\_MBA\\_VCS%20Sensor\\_2501.pdf](https://www.aquametro-oil-marine.com/files/aquametro/downloads/7425e_MBA_VCS%20Sensor_2501.pdf) (дата звернення: 20.03.2026).

11. Clamp-on Ultrasonic Flow Sensor, 0-3000ml/min, RS485/4-20mA. URL: <https://www.ato.com/clamp-on-ultrasonic-flow-sensor?srsltid=AfmBOorEnZCG1klRSinvwns-PmUae0Aj0H3VdheAWWSAgx8umWRZIHnF> (дата звернення: 20.03.2026).

12. Перетискний електромагнітний клапан ODE 21Z25B1S65 нормально закритий під трубку Ø6x3,5 мм. URL: <https://armashop.ua/perezhimnoy-elektromagnitnyy-klapan-ode-21z25b1s65-normalno-zakrytyy-pod-trubku-6x35-mm/> (дата звернення: 10.04.2026).

13. Дросель FESTO GRLA-3/8-QS-8-D. URL: <https://www.festo.com/ua/uk/a/193150/?q=%D0%94%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BB%D1%8C+FESTO+GRLA-3%2F8-QS-8-D%7E%3AfestoSortOrderScored> (дата звернення: 10.04.2026).

14. Перетворювач частоти Delta Electronics, 1,5 кВт, 230В, 1ф., векторний, загальнопромисловий, VFD015B21A. URL: <https://delta-electronics.com.ua/ua/p12101711-preobrazovatel-chastoty-delta.html> (дата звернення: 10.04.2026).

15. Пускач Аско ПМ 1-12-10 (LC1-D1210). URL: <https://220volt.com.ua/ua/puskatel-asko-pm-1-12-10-lc1-d1210/> (дата звернення: 10.04.2026).

16. ADAM-5017-A4E. URL: <https://ipc2u.ua/products/adam-5017-a4e> (дата звернення: 20.04.2026).

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Програмований логічний контролер ADAM-5024.  
URL: <https://www.sea.com.ua/ua/promyshlennye-kompyutery/programmiruemye-logiceskie-kontrollery/adam-5024-2/> (дата звернення: 20.04.2026).

18. ADAM-5056-AE Advantech. URL: <https://ua.all.biz/uk/cyfrovyj-modul-vvedennya-vild-adam-5050-g24900792> (дата звернення: 20.04.2026).

19. Контролер Advantech ADAM-5510. URL: <https://www.proxis.ua/uk/product/programmable-controller-Advantech-ADAM-5510/> (дата звернення: 20.04.2026).

20. HDR-100-24N Mean Well Блок живлення На DIN-рейку. URL: <https://meanwell.in.ua/acdc/din/hdr-100-24n> (дата звернення: 20.04.2026).

21. ДСТУ ISO 5807:2016 (ISO 5807:1985, IDT). Обробляння інформації. Символи та угоди щодо документації стосовно даних, програм та системних блок-схем, схем мережевих програм та схем системних ресурсів. [Чинний від 10.10.2016]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

22. ДСТУ EN 62061:2014 Безпечність машин. Функціональна безпека електричних, електронних і програмованих електронних систем контролю, пов'язаних з безпекою (EN 62061:2005, EN 62061:2005/A1:2013, EN 62061:2005/AC:2010, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 34 с.

23. Основи надійності та діагностики інформаційних систем: навч. посіб. / В. В. Вишнівський та ін. Київ: Державний університет телекомунікацій, 2022. 184 с.

24. Економіка виробничого підприємства: навчальний посібник / за ред. І. М. Петровича. Київ: Знання, 2022. 405 с.

					АтаБС-013.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		