

**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  
ЕМУЛЬГУВАЛЬНОЮ ВАННОЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПЛАВЛЕНИХ  
СИРІВ**

**AUTOMATED EMULSIFYING BATH CONTROL SYSTEM FOR  
PROCESSED CHEESE PRODUCTION**

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

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи АВ - 41  
**Октисюк Денис Романович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент  
**Гуменюк Лариса Олександрівна**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

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

\_\_\_\_\_  
(підпис)

# 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

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Л. О. Гуменюк

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

\_\_\_\_\_ *Октисюка Дениса Романовича* \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ *Автоматизована система керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів* \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_ *Гуменюк Лариса Олександрівна, к.т.н., доцент* \_\_\_\_\_

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 12 " 05 2026 року N 249/01-02

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ *1.06.2026 р.* \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ *технологічний процес виробництва плавлених сирів* \_\_\_\_\_

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 Л. О.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 5</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 6</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 7</i>	<i>Гуменюк Л. 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 12.05.2026 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>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)

Октисюк Д. Р.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Гуменюк Л. О.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Октисюк Д. Р. Автоматизована система керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів. 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 розробка автоматизованої системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів, яка забезпечить сталу якість продукції; підвищення ефективності процесу; зниження виробничих втрат; покращення гігієни та дотримання нормативних вимог.

Практична новизна полягає у впровадженні нових технічних та функціональних можливостей, у переході від емпіричного керування до повністю автоматизованого, керованого параметрами, адаптивного керування, що значно підвищує якість продукції, ефективність та надійність процесу.

Обсяг пояснювальної записки становить 38 друкованих сторінок. Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи складає 7 слайдів презентації.

Ключові слова: емульгувальна ванна, плавлений сир, керування, ADAM-4000.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Октисюк Д. Р.			Автоматизована система керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Гуменюк Л.О.					4	
Н. контр.		Лапченко Ю.С				ЛНТУ, гр. АВ-41		
Затв.		Гуменюк Л.О.						

## ANNOTATION

Oktyshuk D. Automated emulsifying bath control system for processed cheese production. 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 objective of this work is to develop an automated control system for an emulsification bath used in the production of processed cheese, which will ensure consistent product quality; improve process efficiency; reduce production losses; and enhance hygiene and compliance with regulatory requirements.

The practical innovation lies in the introduction of new technical and functional capabilities, as well as in the transition from empirical control to fully automated, parameter-driven, adaptive control, which significantly improves product quality, process efficiency, and reliability.

The volume of the explanatory note is 38 printed pages. The volume of the graphic part of the master's work is 7 slides of the presentation.

Key words: emulsifying bath, processed cheese, control, ADAM-4000.

					АтаБС-028.00.00.00.000 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 .....	12
1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації .....	13
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ .....	15
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	16
3.1 Вибір давачів .....	16
3.2 Вибір виконавчих пристроїв .....	18
3.3 Вибір пристроїв управління .....	19
3.4 Вибір джерел живлення .....	20
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ .....	22
РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	23
5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління .....	23
5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера .....	23
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ...	28
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....	32
ВИСНОВОК .....	34
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	36
ДОДАТКИ .....	39

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Розробка автоматизованої системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів має важливе значення з технічних, економічних, гігієнічних та нормативних міркувань:

– якість плавленого сиру залежить від ряду параметрів, які потрібно жорстко контролювати, тоді, як ручне керування призводить до коливань, що безпосередньо впливають на якість кінцевого продукту. Автоматизована система забезпечує суворий контроль та повторюваність, що забезпечує стабільну якість від партії до партії;

– недостатньо контрольовані процеси призводять до збільшення виробничих втрат і відходів, тоді, як автоматизація запобігає цим проблемам, зменшує відходи, покращує вихід продукції та знижує витрати на сировину;

– ручний моніторинг уповільнює процес, натомість автоматизоване керування оптимізує тривалість циклів і дозволяє збільшити пропускну здатність лінії при нижчих експлуатаційних витратах;

– обладнання споживає значну кількість енергії. Автоматизація дозволяє оптимізувати цикли і контролювати роботу, що значно зменшить споживання пари, електроенергії та теплові втрати;

– технологічні процеси у харчовій промисловості повинні відповідати суворим санітарним стандартам. Автоматизація покращує гігієну завдяки зменшенню ручного контакту з обладнанням.

Таким чином, розробка автоматизованої системи керування емульгувальною ванною є актуальною, оскільки вона забезпечує стабільність якості продукції, зменшує втрати та споживання енергії, підвищує продуктивність та економічну ефективність, покращує гігієнічні умови та безпеку експлуатації, сприяє дотриманню нормативних вимог та контрольованості ланцюга постачання.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів, яка забезпечить сталу якість продукції; підвищення ефективності процесу; зниження виробничих втрат; покращення гігієни та дотримання нормативних вимог.

Об'єктом дослідження є технологічний процес плавлення сиру та емульгування маси в емульгувальній ванні.

Предметом дослідження є система автоматичного керування процесом – її параметри, алгоритми, датчики, виконавчі механізми та методи регулювання температури, в'язкості, тиску, швидкості перемішування та тривалості процесу.

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

Практична новизна полягає у впровадженні нових технічних та функціональних можливостей, у переході від емпіричного керування до повністю автоматизованого, керованого параметрами, адаптивного керування, що значно підвищує якість продукції, ефективність та надійність процесу.

У процесі виконання роботи необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз об'єкта керування;
- виконати розробку функціональної схеми автоматизації;
- виконати вибір технічних засобів автоматизації;
- виконати розробку схеми керування мікропроцесорними модулями;
- виконати розрахунок надійності системи керування;
- виконати розрахунок затрат для запуску автоматизованої системи

керування змішувальною ванною при виробництві плавлених сирів.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

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

Для виробництва плавленого сиру використовують свіжі натуральні сири, сирні обрізки, браковані бруски або суміші, іноді молочні інгредієнти (сироватковий порошок, вершкове масло, молочний жир, казеїнати, вершки).

Технологічний процес виготовлення плавленого сиру включає такі етапи [1]:

– подрібнення та змішування – натуральні сири подрібнюють і змішують у періодичній змішувальній машині. До складу суміші входять емульгуючі солі (зазвичай фосфати/цитрати натрію), вода, додаткові інгредієнти (за бажанням): молочні білки, жир, стабілізатори, спеції, ароматизатори;

– плавлення / емульгування – це ключовий етап переробки. Сирну суміш нагрівають до температури 75-95 °С протягом 3-10 хвилин при безперервному перемішуванні під вакуумом. Емульгуючі солі перетворюють параказеїнат кальцію на розчинний параказеїнат натрію, утворюючи однорідну, стабільну масу;

– гомогенізація та стабілізація емульсії – розплавлений сир перетворюється на однорідну масу, система «білок-жир-вода» стабілізується завдяки емульгуючим солям, а в'язкість та плавкість регулюються за допомогою температури та складу суміші;

– фасування та охолодження.

На етапі плавлення / емульгування подрібнена та змішана сирна суміш перетворюється на однорідну, термостабілізовану білково-жирно-водну емульсію [2]. Цей процес здійснюється в періодичних емульгувальних ваннах з паровою сорочкою [3] або в поточних теплообмінниках зі скребковою

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхнею. У даній роботі розробляється система керування емульгувальною ванною.

Метою системи керування емульгуванням є повне плавлення частинок сиру, активація емульгуючих солей та розчинення казеїну, утворення стабільної емульсії типу «олія у воді», видалення уловленого повітря (за допомогою вакууму) та регулювання кінцевої вологості, в'язкості та реологічних характеристик.

Попередньо змішану сирну суміш подають в емульгувальну ванну. При цьому контролюють масу партії, що необхідно для розрахунків подачі пари за принципом попереднього керування, початкову температуру продукту (зазвичай 15-25 °С) та рівень наповнення для уникнення перевантаження та недостатнього перемішування.

Непряме (через кожух) впорскування пари підвищує температуру продукту до 75-95 °С залежно від типу продукту. Вищі температури призводять до зниження в'язкості та інтенсивної гідратації білків. Температуру необхідно контролювати для мікробної безпеки та однорідності плавлення.

Значення температури залежать від типу продукту:

- плавлений сир для намазування: 75-80 °С,
- блоки плавленого сиру: 80-90 °С,
- скибочки з високою стабільністю: 90-95 °С.

Час плавлення становить 8-15 хв для котлів з паровою сорочкою та перемішуванням.

Також потрібно контролювати тиск пари у паровій сорочці, щоб уникнути підгоряння сиру. Типовий тиск пари становить 2-6 бар

Як тільки суміш досягає заданої температури, емульгуючі солі повністю активуються.

Час емульгування – це проміжок часу, протягом якого маса утримується при заданій температурі для досягнення повної гідратації білків, дії

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

емульгатора та утворення однорідної розплавленої маси зі стабільною дисперсією жиру. Він становить 5-12 хв при температурі 75-95 °С.

Метою емульгування є утворення однорідної емульсії, контроль кінцевої в'язкості, досягнення стабільності розплаву перед вивантаженням.

При цьому необхідно контролювати швидкість змішування, що регулюється за допомогою частотно-регульованого приводу (VFD). Вищі швидкості збільшують дисперсію, але створюють ризик надмірної аерації. Типові швидкості: 100-600 об/хв залежно від розміру варильної камери та геометрії лопатей.

Також потрібно контролювати в'язкість. Правильна в'язкість вказує на правильну дію солі, правильний вміст вологи, належну стабільність жирової емульсії. В автоматизованих системах керування використовуються не точні задані значення, а допустимі діапазони, що становлять 10-60 Па·с, залежать від типу продукту і забезпечують перекачуваність та ефективний теплообмін.

Контроль в'язкості дозволяє системі керування забезпечити належне плавлення та розчинення казеїну, уникнути відокремлення жиру (низька в'язкість), уникнути неповного емульгування (висока в'язкість), оптимізувати дозування емульгуючої солі, забезпечити однорідність продукту та його перекачуваність.

В'язкість не регулюється безпосередньо; натомість вона регулюється за допомогою регулювання температури та інтенсивності змішування. Отже, в'язкість є залежною змінною, що регулюється опосередковано.

Після досягнення необхідної в'язкості розплав необхідно дегазувати у вакуумі з метою видалення уловленого повітря, усунення піни, поліпшення текстури та стабільності при зберіганні, запобігання окисленню. Рівень вакууму зазвичай становить від -0,6 до -0,9 бара.

Типова тривалість витримки під вакуумом становить від 2 до 4 хв для різних сортів сиру, але не менше 2 хв, поки поверхня розплаву перестане пінитися і бульбашки будуть візуально відсутні.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення реакцій емульгування продукт є однорідним, без повітря, має кінцеву технологічну в'язкість і готовий до перекачування у форми, наповнювачі або екструзійну головку.

## 1.2 Перелік задач контролю та керування процесом

Для отримання якісних плавлених сирів необхідно дотримуватись параметрів керування емульгувальною ванною, які наведені в таблиці 1.1 [4].

Таблиця 1.1 – Параметри керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів

№	Назва параметра	Допустимі межі	Відхилення
1	Початкова температура, °С	15-25	± 2
2	Температура плавлення, °С	75-80	± 1
3	Час плавлення, хв	8-15	± 2
4	Тиск пари у паровій сорочці, бар	2-6	± 0,5
5	Швидкість перемішування, об/хв	100-600	± 50
6	В'язкість, Па·с	10-20	± 2
7	Час емульгування, хв	5-12	± 2
8	Рівень вакууму, бар	-0,6 до -0,9	± 0,1
9	Час витримки під вакуумом, хв	2-4	± 0,5

Завдання автоматизації при керуванні емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів такі:

- контроль рівня маси в емульгувальній ванні;
- контроль і регулювання температури плавлення;
- контроль і регулювання часу плавлення;
- контроль і регулювання тиску у паровій сорочці;
- контроль і регулювання швидкості перемішування;
- контроль в'язкості сиру;
- контроль і регулювання часу емульгування;
- контроль і регулювання рівня вакууму у паровій сорочці;

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- контроль і регулювання часу витримки під вакуумом.

### 1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації

Вхідні параметри:

- кількість продукту в емульгувальній ванні для регулювання з прогнозуванням рівня ( $W_{prod}$ ),
- температура продукту ( $T_{prod}$ ),
- температура пари в сорочці ( $T_{steam}$ ).

Вихідні параметри – це бажані стани процесу, які система прагне підтримувати або досягти. Вони визначають критерії успішності контуру регулювання:

- цільова в'язкість  $\eta^*$  (наприклад, 10-20 Па·с при 75-80 °С),
- цільова температура  $T_{melt}^*$  (наприклад, 75-85 °С),
- стабільний тиск в паровій сорочці  $P_{steam}^*$ .

Керуючі параметри:

- час плавлення ( $t_{melt}$ ),
- час емульгування ( $t_{emul}$ ),
- час витримки під вакуумом ( $t_{vac\_hold}$ ),
- тиск пари в сорочці ( $P_{steam}$ ),
- швидкість обертання мішалки ( $N_{mix}$ ).

Збурення – це неконтрольовані змінні, що впливають на систему:

- варіативність сировини (різна вологість сиру, коливання співвідношення жиру та білка, коливання рН або вмісту солі) впливає на час плавлення, в'язкість та стабільність емульсії ( $Var$ ),
- коливання подачі пари (зміни тиску подачі, накопичення конденсату в сорочці) впливає на швидкість нагрівання та стабільність температури ( $\Delta P$ ),

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– непослідовність завантаження партії (нерегулярна робота подавального насоса, утворення піни або захоплення повітря під час завантаження) порушує роботу рівня та вакууму (Load),

– порушення роботи вакуумної системи (знос насоса або засмічення конденсатопроводу, зовнішні витоки повітря) заважають досягненню цільового значення  $-0,9$  бар (Vac).

Схема взаємозв'язків параметрів системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів показана на рисунку 1.1.

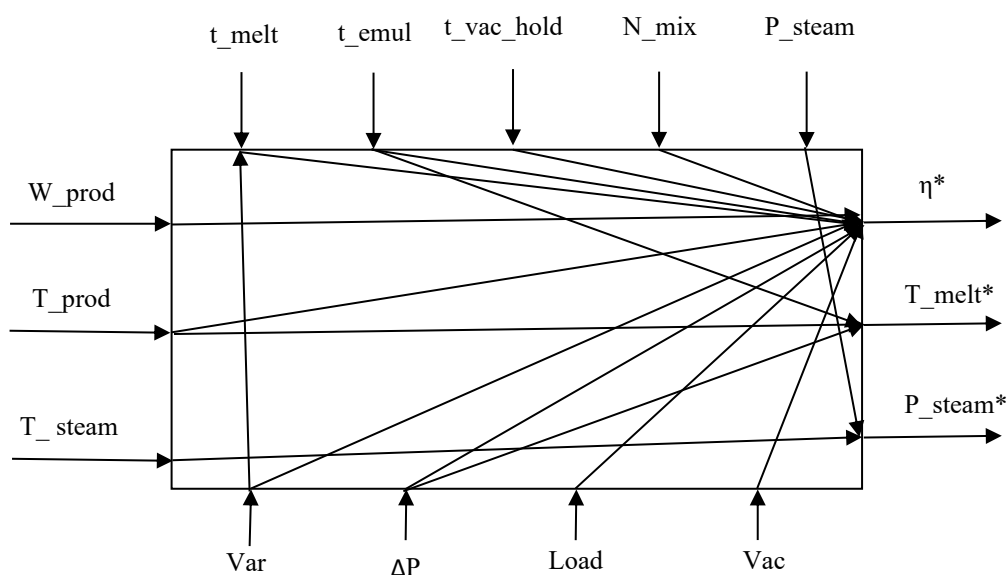


Рисунок 1.1 – Схема взаємозв'язків параметрів системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів

Етап плавлення / емульгування регулюється за допомогою суворо контрольованих теплових, механічних та фізико-хімічних параметрів. Оскільки ці параметри піддаються вимірюванню та передбачувано реагують на сигнали від виконавчих механізмів (парові клапани, швидкість перемішування, вакуумні насоси), цей етап чудово підходить для автоматизації та розширеного управління технологічним процесом (АРС).

## РОЗДІЛ 2

### ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Попередньо змішану сирну суміш подають в емульгувальну ванну. При цьому контролюють масу партії датчиком маси WE 1-1. Коли маса досягає заданого значення, вентиль 2 перекриває подачу суміші. Також датчиком рівня LE 2-1 контролюється рівень суміші в емульгувальній ванні. Коли рівень досягає заданого значення, вентиль 2 перекриває подачу суміші. Якщо значення маси або рівня перевищує задане, спрацьовує сигналізація.

Надлишковий тиск та вакуум створюється насосом, що вмикається двигуном 5. Тиск пари у паровій сорочці контролюється датчиком тиску PE 3-1. Якщо значення тиску перевищує задане, спрацьовує сигналізація.

Температура контролюється датчиком температури TE 4-1. Коли температура досягає заданої, відкривається клапан відведення пари 6. Якщо значення температури перевищує задане, спрацьовує сигналізація.

Двигун 9 включає мішалку в емульгувальній ванні. Час плавлення і емульгування контролюється таймером KE 5-1.

В'язкість розплавленої сирної маси контролюється датчиком в'язкості VE 6-1. В'язкість регулюється за допомогою регулювання температури та часу змішування. Якщо значення в'язкості перевищує задане, спрацьовує сигналізація.

Після завершення емульгування продукт перекачується на фасування насосом, що вмикається двигуном 12, витрата контролюється датчиком витрати FE 7-1.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### РОЗДІЛ 3

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для вибору датчиків та пристроїв, придатних для реалізації необхідних функцій керування в автоматизованій системі керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів, необхідно враховувати оптимальний баланс між продуктивністю, дотриманням гігієнічних вимог та співвідношенням ціни та якості. Також важливо, щоб засоби були придатні для використання в харчових промислових умовах, де гігієна та надійність технологічного процесу мають важливе значення.

### 3.1 Вибір датчиків

Датчик рівня. Для безперервного контролю рівня сирної маси в емульгувальній ванні з перемішуванням та високим вмістом пари оберемо радіолокаційний датчик рівня (з направленою хвилею або FMCW) – безконтактний радіолокаційний датчик рівня з виходом 4-20 мА/HART для безперервного вимірювання рівня навіть за наявності пари, піни та перемішування [5]. Радар є надійним у технологічних котлах та резервуарах і не піддається впливу тиску/пари. Датчик має хороший баланс гігієни, точності та стабільності для в'язких середовищ. Технічні характеристики датчика рівня JFR3 FMCW приведені в додатку А.1.

Датчик температури. Контроль температури плавлення та емульгування має вирішальне значення для передбачуваної поведінки при плавленні та зміни в'язкості. У харчових технологічних процесах для забезпечення точності та стабільності перевагу надають безперервному вимірюванню за допомогою RTD. Оберемо гігієнічний датчик з нержавіючої сталі iTHERM TrustSens TM371 від Endress+Hauser,

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

придатний для прямого занурення в технологічний процес та очищення методом СІР [6]. Це самокалібрувальний термометр зі зчитуванням температури (RTD) для гігієнічних процесів, що забезпечує постійну точність та відповідність вимогам без переривання виробництва. Розроблений для критично важливих гігієнічних/асептичних застосувань у харчовій промисловості та виробництві напоїв, відповідає гігієнічним та харчовим вимогам, має сертифікацію приладів: CE/EAC, CRN, CSA, вибухозахист АTEX/IECEx. Технічні характеристики датчика температури iTHERM TrustSens TM371 приведені в додатку А.2.

Датчик тиску. Для управління паровою сорочкою та регулювання вакууму необхідне точне вимірювання тиску. Оберемо перетворювач тиску з нержавіючою вимірювальною мембраною ПД100-111/171/181 [7]. Цей датчик придатний для вимірювання тиску в паровій сорочці при високій температурі. Технічні характеристики датчика тиску ПД100-111/171/181 приведені в додатку А.3.

Датчик в'язкості. Для автоматизованого контролю в'язкості неньютонівських рідин, таких як плавлені сири кращими є процесні вбудовані віскозиметри. Оберемо віскозиметр широкого діапазону вбудованого процесу Rheonics SRV. Він забезпечує безперервне вимірювання в'язкості в режимі реального часу, що використовується в промислових харчових процесах, надійний в широкому діапазоні температур та в'язкості [8]. Технічні характеристики віскозиметра Rheonics SRV приведені в додатку А.4.

Реле часу. Для моніторингу / налаштування часу оберемо багатофункціональне модульне аналогове реле часу CRM-93H UNI 12-240 AC/DC [9]. Технічні характеристики реле часу CRM-93H UNI 12-240 AC/DC приведені в додатку А.5.

Датчик витрати. Плавлений сир є в'язким, містить жир, білок, емульгуючі солі, перекачується при температурі 70-85 °С і вимагає високої санітарної (гігієнічної) конструкції. Тому доцільні лише дві технології

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витратомірів: масовий Коріолісовий (найкраща точність, справляється з в'язкістю) або позитивний витісняючий (економічно ефективний, надійний для густих продуктів). Тому оберемо масовий витратомір Коріоліса Endress+Hauser Promass F 300 [10]. Він спеціально розроблений для харчових продуктів з високою в'язкістю, включаючи сир, вершки, йогурт, шоколад, сиропи, повністю гігієнічний, має високу точність незалежно від в'язкості чи профілю потоку. Технічні характеристики витратоміра Endress+Hauser Promass F 300 приведені в додатку А.6.

Датчик маси. Контролю маси партії попередньо змішаної сирної суміші, що подається в емульгувальну ванну, вимагає високої точності ( $\pm 0,02-0,05\%$ ), гігієнічного дизайну, здатності працювати в умовах вібрації та сумісності з платформним або резервуарним зважуванням. Тому оптимальним вибором є тензодатчик для зважування резервуарів з конструкцією з нержавіючої сталі. Оберемо компресійний тензодатчик Minebea Intec PR 6201, який розроблено спеціально для гігієнічного зважування резервуарів та ємностей, має високу точність, стійкий до вібрації та температурного дрейфу, що важливо в молочних/сирних процесах, виготовлений з нержавіючої сталі, має широкий діапазон вантажопідйомності: від 500 кг до 75 000 кг [11]. Технічні характеристики тензодатчика Minebea Intec PR 6201 приведені в додатку А.7.

### 3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для плавного регулювання швидкості обертання мішалки та плавного регулювання двигунів насосів потрібно використати частотний перетворювач. VFD забезпечує як функції керування, так і функції захисту для змішувачів у середовищах СІР. Для точного регулювання швидкості двигуна та інтеграції зворотного зв'язку оберемо частотний перетворювач GD27-1R5G-S2-B [12]. Технічні характеристики перетворювача GD27-1R5G-S2-B приведені в додатку А.8.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для відведення пари з сорочки емульгувальної ванни потрібно обрати дросельний клапан з нержавіючої сталі. Оберемо гігієнічний дросельний клапан GEMÜ 487 Victoria, який є надійним, широко використовується в харчовій та переробній промисловості, має відмінну сумісність з парою і низьку втрату тиску [13]. Технічні характеристики дросельного клапана GEMÜ 487 Victoria приведені в додатку А.9.

Пускачі забезпечують надійну та захищену роботу всіх двигунів у системі автоматизації емульгувальної ванни. Пускачі двигунів забезпечують:

- контрольоване живлення двигунів (плавний, безпечний запуск насосів, змішувачів),
- захист від перевантаження (запобігання перегріву та перегорання двигунів),
- захист від короткого замикання (разом з автоматичними вимикачами/запобіжниками),
- вимкнення двигунів у разі аномального струму або втрати фази,
- інтерфейс з ПЛК для автоматичного керування (зворотний зв'язок при пуску/зупинці).

Для безпечного запуску, зупинки та захисту електродвигунів оберемо пускач електромагнітний 3RV2011-0DA15 SIEMENS SIRIUS [14]. Технічні характеристики пускача 3RV2011-0DA15 SIEMENS SIRIUS приведені в додатку А.10.

### 3.3 Вибір пристроїв управління

Для автоматизованої системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів вибираємо мікроконтролер ADAM 4000 серії.

Підраховавши кількість аналогових і дискретних входів-виходів на функціональній схемі, оберемо такі модулі контролера:

- модуль аналогового вводу ADAM-4017 – 1 шт. [15];

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- модуль дискретного виводу ADAM-4056S – 1 шт. [16];
- модуль перетворення інтерфейсів ERS232 в ERS485 ADAM-4520 [17].

Технічні характеристики модулів мікроконтролера приведені в додатку А.11-А.13.

### 3.4 Вибір джерел живлення

Розрахуємо потужність блоку живлення, для цього з технічних характеристик випишемо для всіх компонентів типове споживання енергії (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Типові значення споживання енергії компонентів

Компонент	Кількість	Типове значення	Обране значення
Датчик рівня JFR3 FMCW	1	2,0-3,0 Вт (24 В, 80-120 мА)	3,0 Вт
Датчик температури іTHERM TrustSens TM371	1	0,7-1,0 Вт (24 В, 30-40 мА)	1 Вт
Датчик тиску ПД100	1	0,75 Вт (24 В, 30 мА)	0,75 Вт
Датчик в'язкості Rheonics SRV	1	3,0 Вт (24 В, 120-130 мА)	3,0 Вт
Реле часу CRM-93H UNI	1	0,5 Вт (24 В, 20 мА)	0,5 Вт
Витратомір F 300	1	6-11 Вт	10 Вт
Тензодатчик PR 6201 (з підсилювачем)	1	0,5-1,0 Вт	1,0 Вт
ADAM-4017	1	1,2 Вт	3,2 Вт
ADAM-4056S	1	1 Вт	
ADAM-4520	1	1 Вт	
Клапан GEMÜ 487	2	5 Вт	10 Вт
Пускач 3RV2011-0DA15	5	3 Вт	15 Вт

Згідно таблиці 3.1 загальна потужність становить  $P_{\text{заг}} = 48$  Вт.

При проектуванні систем керування зазвичай використовується резерв 30-50 % для надійності, зниження номінальних характеристик через нагрівання та пікових струмів. Застосуємо 50 %:

$$P_{\text{блоку живлення}} = 48 \cdot 1,5 \approx 72 \text{ Вт.}$$

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таким чином, мінімальний номінальний струм живлення має бути: 24 В постійного струму, щонайменше 3,0 А ( $\approx 72-80$  Вт).

Виходячи з співвідношення ціни та якості, промислової надійності та цілодобової роботи, оберемо блок живлення Siemens 6EP1332-1SH71 24 В постійного струму, 4 А, 96 Вт [18]. Цей блок живлення комфортно підтримує навантаження 48 Вт з резервом 50%, пропонує високий час напрацювання на відмову та відповідає системі автоматизації, яка розробляється. Технічні характеристики блоку живлення Siemens 6EP1332-1SH71 приведені в додатку А.14.

Специфікація засобів автоматизації наведена в додатку Б.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Модулі підключені до загального блоку живлення Siemens 6EP1332-1SH71 на +24В постійного струму, що живиться від загальної мережі 220В. Контролери з'єднані між собою паралельно по інформаційному каналу, за допомогою інтерфейсу RS-485(Data+,Data-).

Програмування здійснюється з допомогою IBM PC сумісного модуля ADAM-4520 (що має RS-485 та RS-232 інтерфейс), в який записується програма і система працює в автономному режимі без ЕОМ.

Датчики під'єднуються до модуля ADAM-4017 по двох провідній схемі. Аналогові датчики WE 1-1, LE 2-1, PE 3-1, TE 4-1, KS 5-1, VE 6-1, FE 7-1 підключені відповідно на Vin 0, Vin 1, Vin 2, Vin 3, Vin 4, Vin 5, Vin 6 входи модуля ADAM-4017.

Пускачі під'єднуються до модуля ADAM-4056S по однопровідній схемі – один контакт на вихід модуля, інший – на живлення. Пускачі NS 1-3, NS 3-3, NS 3-5, NS 5-3, NS 7-3 підключаються відповідно до виходів DO 0, DO 1, DO 2, DO 3, DO 4.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління

Пускач NS 1-3 відкриває заслінку для подачі сирної суміші в емульгувальну ванну. Маса контролюється датчиком маси WE 1-1, коли маса дорівнює заданій, пускач NS 1-3 закриває заслінку. Рівень суміші в емульгувальній ванні контролюється датчиком рівня LE 2-1. Коли рівень перевищує заданий, пускач NS 1-3 закриває заслінку.

Пускач NS 3-3 включає двигун насоса для подачі пари у парову сорочку. Тиск пари контролюється датчиком тиску PE 3-1, коли тиск перевищує заданий, пускач NS 3-3 виключає двигун насоса. Температура контролюється датчиком температури TE 4-1, коли температура досягає заданої, пускач NS 3-5 відкриває заслінку для відведення пари.

Пускач NS 5-3 включає двигун мішалки. Час плавлення і емульгування контролюється таймером KE 5-1. В'язкість розплавленої сирної маси контролюється датчиком в'язкості VE 6-1. Коли значення в'язкості досягає заданої, пускач NS 5-3 виключає двигун мішалки.

Пускач NS 7-3 включає двигун насоса для перекачування продукту на фасування. Витрата контролюється датчиком витрати FE 7-1, коли витрата досягає заданої, пускач NS 7-3 виключає двигун насоса.

Блок-схема алгоритму побудована згідно ДСТУ ISO 5807:2016 [19].

#### 5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера

Програма розроблена у середовищі ADAMView.

Для зчитування інформації з датчиків використовуємо блоки аналогового вводу AI.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У вікні проєктування встановлюємо два блоки аналогового вводу AI1 і AI2. До кожного з них підключаємо відповідно датчик маси WE 1-1 і датчик рівня LE 2-1. Встановлюємо блок Basic-Script і у ньому прописуємо наступну програму (лістинг 5.1):

Лістинг 5.1 – Програма зчитування даних з датчика маси і рівня

---

```
Sub SCR1()
  set WE = GetTag("TASK1", "AI1")
  if WE < WE зад. then
    outputi 0,1
  else
    outputi 0,0
  end if
  set LE = GetTag("TASK1", "AI2")
  if LE < LE зад. then
    outputi 0,1
  else
    outputi 0,0
  end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.1

Встановлюємо один блок дискретного виводу DO1, до нього підключаємо пусковий пристрій NS 1-3.

У вікні проєктування встановлюємо один блок аналогового вводу AI3. До нього підключаємо датчик тиску PE 3-1. Встановлюємо блок Basic-Script і у ньому прописуємо наступну програму (лістинг 5.2):

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Лістинг 5.2 – Програма зчитування даних з датчика тиску

---

```
Sub SCR2()  
  set PE = GetTag("TASK1", "AI3")  
  if PE < PE зад. then  
    outputi 0,1  
  else  
    outputi 0,0  
  end if  
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.2

Встановлюємо один блок дискретного виводу DO2, до нього відповідно підключаємо пусковий пристрій NS 3-3.

У вікні проектування встановлюємо один блок аналогового вводу AI4. До нього підключаємо датчик температури TE 4-1. Встановлюємо блок Basic-Script і у ньому прописуємо наступну програму (лістинг 5.3):

## Лістинг 5.3 – Програма зчитування даних з датчика температури

---

```
Sub SCR3()  
  set TE = GetTag("TASK1", "AI4")  
  if TE < TE зад. then  
    outputi 0,1  
  else  
    outputi 0,0  
  end if  
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.3

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлюємо один блок дискретного виводу DO3, до нього відповідно підключаємо пусковий пристрій NS 3-5.

У вікні проектування встановлюємо два блоки аналогового вводу AI5 і AI6. До кожного з них підключаємо відповідно датчик часу KS 5-1 і датчик в'язкості VE 6-1. Встановлюємо блок Basic-Script і у ньому прописуємо наступну програму (лістинг 5.4):

Лістинг 5.4 – Програма зчитування даних з реле часу і в'язкості

```
Sub SCR4()  
  set KS = GetTag("TASK1", "AI5")  
  if KS < KS зад. then  
    outputi 0,1  
  else  
    outputi 0,0  
  end if  
  set VE = GetTag("TASK1", "AI6")  
  if VE < VE зад. then  
    outputi 0,1  
  else  
    outputi 0,0  
  end if  
End Sub
```

кінець лістингу 5.4

Встановлюємо один блок дискретного виводу DO4, до нього відповідно підключаємо пусковий пристрій NS 5-3.

У вікні проектування встановлюємо один блок аналогового вводу AI7. До нього підключаємо датчик витрати FE 7-1. Встановлюємо блок Basic-Script і у ньому прописуємо наступну програму (лістинг 5.5):

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг 5.5 – Програма зчитування даних з датчика витрати

---

Sub SCR5()

set FE = GetTag(“TASK1”, “AI7”)

if FE < FE зад. then

outputi 0,1

else

outputi 0,0

end if

End Sub

---

кінець лістингу 5.5

Встановлюємо один блок дискретного виводу DO5, до нього відповідно підключаємо пусковий пристрій NS 7-3.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Для розрахунку поділимо функціональну схему на контури:

1 контур – послідовно з'єднані тензодатчик, пускач, клапан, датчик рівня,

2 контур – послідовно з'єднані датчик тиску, пускач, частотний перетворювач, пускач, клапан, датчик температури,

3 контур – послідовно з'єднані реле часу, пускач, частотний перетворювач, датчик в'язкості,

4 контур – послідовно з'єднані витратомір, пускач, частотний перетворювач,

5 контур – паралельно з'єднані 1 контур і 2 контур,

6 контур – послідовно з'єднані 5 контур, 3 контур і 4 контур.

Для послідовного з'єднання надійність розраховується за формулою 6.1, а для паралельного – за формулою 6.2 [20]:

$$P_{\text{посл}} = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (6.1)$$

$$P_{\text{парал}} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i, \quad (6.2)$$

де  $P_i$  – це надійність окремих елементів.

Оскільки виробники рідко публікують точні значення коефіцієнта відмов ( $\lambda$ ) або значення середнього часу між відмовами (MTBF) для конкретних моделей, використаємо типові показники MTBF промислових датчиків, виконавчих механізмів та керуючої електроніки в автоматизованих технологічних середовищах (таблиця 6.1).

Значення надійності елементів  $P_i$  розраховуємо за формулою 6.3:

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_i = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (6.3)$$

де  $\lambda$  – це інтенсивність виникнення відмов, год<sup>-1</sup>, яка у свою чергу визначається за формулою 6.4:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}. \quad (6.4)$$

де *MTBF* – значення середнього часу між відмовами.

Зведемо у таблицю 6.1 розрахунки інтенсивності виникнення відмов елементів за формулою 6.4 та розрахунки надійності елементів за формулою 6.3. За час *t* прийемо 5000 годин – це приблизно рік роботи у дві зміни.

Таблиця 6.1 – Типові значення середнього часу між відмовами *MTBF*

Компонент	Типове значення <i>MTBF</i> (год.)	Інтенсивність виникнення відмов $\lambda_i$ (год <sup>-1</sup> )	Ймовірність безвідмовної роботи $P_i$
Датчик рівня JFR3 FMCW	60 000	$1,67 \cdot 10^{-5}$	0,858
Датчик температури iTHERM TrustSens TM371	80 000	$1,25 \cdot 10^{-5}$	0,895
Датчик тиску ПД100	80 000	$1,25 \cdot 10^{-5}$	0,895
Датчик в'язкості Rheonics SRV	50 000	$2 \cdot 10^{-5}$	0,836
Реле часу CRM-93H UNI	100 000	$1 \cdot 10^{-5}$	0,909
Витратомір F 300	100 000	$1 \cdot 10^{-5}$	0,909
Тензодатчик PR 6201	80 000	$1,25 \cdot 10^{-5}$	0,895
ADAM-4017	50 000	$2 \cdot 10^{-5}$	0,836
ADAM-4056S	50 000	$2 \cdot 10^{-5}$	0,836
ADAM-4520	50 000	$2 \cdot 10^{-5}$	0,836
Частотний перетворювач GD27-1R5G-S2-B	40 000	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0,804
Клапан GEMÜ 487	50 000	$2 \cdot 10^{-5}$	0,836
Пускач 3RV2011-0DA15	70 000	$1,43 \cdot 10^{-5}$	0,879

Використаємо формули послідовного/паралельного з'єднання (6.1-6.2) та значення надійності елементів  $P_i$  з таблиці 6.1, розрахуємо надійність контурів.

1 контур:

$$P_1 = 0,895 \cdot 0,879 \cdot 0,836 \cdot 0,858 \approx 0,763.$$

2 контур:

$$P_2 = 0,895 \cdot 0,879^2 \cdot 0,804 \cdot 0,836 \cdot 0,895 \approx 0,573.$$

3 контур:

$$P_3 = 0,909 \cdot 0,879 \cdot 0,804 \cdot 0,836 \approx 0,640.$$

4 контур:

$$P_4 = 0,909 \cdot 0,879 \cdot 0,804 \approx 0,743.$$

5 контур:

$$P_5 = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) = 1 - (1 - 0,563) \cdot (1 - 0,373) \approx \\ \approx 1 - (0,437 \cdot 0,627) \approx 1 - 0,274 \approx 0,826.$$

6 контур:

$$P_6 = P_5 \cdot P_3 \cdot P_4 = 0,726 \cdot 0,540 \cdot 0,643 \approx 0,653.$$

Тобто, ймовірність того, що система керування працюватиме без відмов будь-яких компонентів протягом 1 року, становить приблизно 65 %, враховуючи передбачувану типову надійність промислових компонентів.

Розрахунок було виконано для неперервної роботи обладнання протягом року. Але насправді на виробництві будь-яке обладнання проходить ряд заходів, що підвищують надійність його роботи. Зокрема, для підвищення середнього часу між відмовами МТBF на виробництві застосовують:

– заходи щодо захисту електричного та контрольного обладнання: примусова вентиляція, регулювання вологості для запобігання конденсації, підтримка стабільної температури навколишнього середовища; пристрої захисту від перенапруги на лініях живлення; екрановані сигнальні кабелі з витою парою;

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– заходи щодо захисту датчиків та технологічних приладів: механічний захист; профілактичне калібрування; регулярне очищення на місці;

– заходи щодо захисту приводів, клапанів та механічних підсистем: технічне обслуговування клапанів та приводів; захист двигунів та частотних перетворювачів; уникнення різких перепадів температури в паровій сорочці, в корпусах датчиків, в сидлах клапанів;

– покращення програмного забезпечення та логіки керування: запровадження функцій відмовостійкого керування; контрольовані профілі для стрибків тиску в паровій сорочці, різких змін швидкості змішування;

– оперативні та організаційні заходи: програми профілактичного обслуговування; навчання персоналу; комплектування запасними частинами; аналіз першопричин відмов.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 7

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для визначення затрат для закупівлі та обслуговування елементів системи керування знайдемо вартість обладнання (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 – Розрахунок вартості приладів [5-18]

№ з/п	Назва приладу	Тип приладу	Кількість	Вартість одного приладу, грн.	Загальна вартість приладів, грн.
1	Датчик рівня	JFR3 FMCW	1	56070	56070
2	Датчик температури	iTHERM TrustSens TM371	1	55000	55000
3	Датчик тиску	ПД100-111/171/181	1	3540	3540
4	Реле часу	CRM-93H UNI 12-240 AC/DC	1	1826	1826
5	Датчик витрати	Endress+Hauser Promass F 300	1	102000	102000
6	Датчик в'язкості	Rheonics SRV	1	15200	15200
7	Тензодатчик	Minebea Intec PR 6201	1	47000	47000
8	Частотний перетворювач	GD27-1R5G-S2-B	3	7930	23790
9	Клапан	GEMÜ 487 Victoria	2	37000	74000
10	Пускач	3RV2011-0DA15 SIEMENS SIRIUS	5	2138	10690
11	Модуль контролера	ADAM-4017	1	9300	9300
12	Модуль контролера	ADAM-4056S	1	5615	5615
13	Модуль контролера	ADAM-4520	1	3800	3800
14	Блок живлення	Siemens SIMATIC S7-1200 PM1207	1	6140	6140
	ВСЬОГО				413971

Вартість приладів дорівнює:  $V_{\text{прил}} = 413971$  грн.

Транспортно-заготівельні витрати приймемо в розмірі 25 % від вартості приладів:

$$V_{\text{тр-заг}} = 413971 \cdot 0,25 = 103493 \text{ грн.}$$

Витрати на монтаж роботи приймемо в розмірі 50 % від вартості приладів:

$$V_{\text{монт}} = 413971 \cdot 0,5 = 206986 \text{ грн.}$$

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Вартість налагодження апаратури приймемо в розмірі 20 % вартості приладів:

$$B_n = 413971 \cdot 0,2 = 82794 \text{ грн.}$$

Капітальні затрати на автоматизацію системи керування визначимо як суму вартості приладів, їх монтажу та налагодження із врахуванням транспортно-заготівельних витрат:

$$B = B_{\text{прил}} + B_{\text{тр-заг}} + B_{\text{монт}} + B_n = 413971 + 103493 + 206986 + 82794 = 807243$$

Таким чином, затрати на автоматизовану систему керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів становлять 807243 грн.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У процесі виконання роботи було вирішено такі задачі.

Виконано аналіз об'єкта керування. Детально розглянуто етап плавлення / емульгування. Визначені параметри керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів. Визначені завдання автоматизації. Визначені вхідні, вихідні, керуючі параметри та збурюючі фактори у системі керування емульгувальною ванною. Розглянута схема взаємозв'язків параметрів системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів.

Розроблена і детально описана функціональна схема автоматизованої системи керування.

Підібрано технічні засоби автоматизації: датчики рівня, температури, тиску, в'язкості, часу, витрати, маси, частотний перетворювач, дросельний клапан, пускач електромагнітний. Для автоматизованої системи керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів обрано модулі мікроконтролера ADAM 4000 серії: модуль аналогового вводу ADAM-4017; модуль дискретного виводу ADAM-4056S; модуль перетворення інтерфейсів ADAM-4520. Розраховано потужність блоку живлення і обрано блок живлення Siemens 6EP1332-1SH71. Цей блок живлення підтримує розраховане навантаження, забезпечує високий час напрацювання на відмову та відповідає розробленій системі автоматизації.

Детально описані принципові електричні схеми підключення датчиків і пускачів до модулів контролера.

Розроблено алгоритм функціонування системи керування, побудовано блок-схему алгоритму. Розроблене програмне забезпечення програмованого логічного контролера.

Виконано розрахунок надійності системи керування та запропоновано заходи, що підвищують надійність її роботи.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховані затрати на автоматизовану систему керування емульгувальною ванною при виробництві плавлених сирів становлять 807243 грн.

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія виробництва плавленого сиру. URL: <https://agrofrost.com.ua/uk/tekhnologiya-virobnictva-plavlenogo-s/> (дата звернення: 20.03.2026).

2. Що таке емульгування і як воно працює. URL: <https://www.mixing-tank.com/uk/%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%B3-2/%D1%89%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B5-%D0%B5%D0%BC%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%96-%D1%8F%D0%BA-%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%8E%D1%94/?srsltid=AfmBOoqeoH9Kd9vju3c5vOB1o1XWDF6R5zT2EeiRygBW3AJriGoCYcTj> (дата звернення: 20.03.2026).

3. Змішувальний бак з сорочкою: Пояснення особливостей, використання та переваг. URL: <https://www.mixing-tank.com/uk/%d0%b1%d0%bb%d0%be%d0%b3-2/%d0%b7%d0%bc%d1%96%d1%88%d1%83%d0%b2%d0%b0%d0%bb%d1%8c%d0%bd%d0%b8%d0%b9-%d0%b1%d0%b0%d0%ba-%d0%b7-%d1%81%d0%be%d1%80%d0%be%d1%87%d0%ba%d0%be%d1%8e-%d0%be%d1%81%d0%be%d0%b1%d0%bb%d0%b8%d0%b2%d0%be/> (дата звернення: 20.03.2026).

4. Аналіз технологічної схеми виробництва плавлених сирів. URL: <https://studfile.net/preview/9014294/page:3/> (дата звернення: 20.03.2026).

5. Радарний датчик рівня JFR3 FMCW. URL: [https://remix.in.ua/ua/p2117986837-radarnyj-datchik-urovnya.html?srsltid=AfmBOoqHKjNdDp5gMtaQxY0IYZGIXDfccCn5M3bi4EMsO--n\\_VPtCMsn](https://remix.in.ua/ua/p2117986837-radarnyj-datchik-urovnya.html?srsltid=AfmBOoqHKjNdDp5gMtaQxY0IYZGIXDfccCn5M3bi4EMsO--n_VPtCMsn) (дата звернення: 20.04.2026).

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. iTHERM TrustSens TM371 Compact thermometer. URL: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/temperature-measurement-thermometers-transmitters/sanitary-rtd-trustsens-tm371?t.tabId=product-overview> (дата звернення: 20.04.2026).

7. ПД100-111/171/181. Перетворювачі (датчики) тиску загальнопромислові з нержавіючою вимірювальною мембраною. URL: <https://aqteck.ua/ua/datchyky/pd100-di-111-171-181-datchyky-tysku-zagalnopromyslovi> (дата звернення: 20.04.2026).

8. SRV Wide-range inline process Viscometer. URL: <https://rheonics.com/products/srv/> (дата звернення: 20.04.2026).

9. Багатофункціональне модульне аналогове реле часу CRM-93H UNI 12-240 AC/DC. URL: <https://voltelectro.com.ua/ua/p19221328-rele-vremeni-analogovye.html> (дата звернення: 20.04.2026).

10. Кориолісовий витратомір Proline Promass F 300 Endress+Hauser. URL: <https://trigla.net.ua/ua/p544383224-koriolisovuj-rashodomer-proline.html> (дата звернення: 20.04.2026).

11. Тензодатчик Inteco®. URL: <https://sartorius.com.ua/tenzometriczni-datchiki/rezervuarni-i-bunkerni-vagi/tenzodatchik-inteco/> (дата звернення: 20.04.2026).

12. GD27-1R5G-S2-B Перетворювач частоти INVT GD27-1R5G-S2-B. URL: [https://chastotnik.ua/invt-r-gd27-1r5g-s2-b?utm\\_source=google&utm\\_medium=срс&utm\\_campaign=dsa-categories&utm\\_content=195197224235](https://chastotnik.ua/invt-r-gd27-1r5g-s2-b?utm_source=google&utm_medium=срс&utm_campaign=dsa-categories&utm_content=195197224235) (дата звернення: 20.04.2026)

13. GEMÜ 487. URL: <https://gemu.stl-grupp.com/production/butterfly-valves/item/gemu-487.html> (дата звернення: 20.04.2026).

14. 3RV2011-0DA15 SIEMENS SIRIUS (0,09 кВт, 0,32 А, 400 В) автомат захисту двигуна. URL: <https://systemax.ua/ua/avtomatika/avtomati-zashhiti-dvigatelja/3rv20/3rv2011-0da15.html> (дата звернення: 20.04.2026).

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Модуль АЦП Advantech ADAM-4017. URL: <https://www.proxis.ua/uk/product/8-ch-analog-input-module-advantech-ADAM-4017/> (дата звернення: 20.04.2026).

16. Дискретний модуль введення / Vivod ADAM-4056S. URL: <https://ekzot.all.biz/uk/dyskretnyj-modul-vvedennya-vivod-adam-4056s-g24901307> (дата звернення: 20.04.2026).

17. ADAM-4520. URL: <https://www.tkc.kiev.ua/adam-4520.html> (дата звернення: 20.04.2026).

18. 6EP1332-1SH71 Блок живлення на Din-рейку Siemens SIMATIC S7-1200 PM1207 24 В, 2,5 А. URL: <https://meanwell.kiev.ua/ua/p9580969-6ep1332-1sh71-blok.html> (дата звернення: 20.04.2026).

19. 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.

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

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

					АтаБС-028.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		