

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*бакалавр*

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу  
дозрівання сирів

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Лесюк О. З.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Приймак М.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2026

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Осухівська Г.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
«25» квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

студента Лесюка Олега Зеновійовича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів

Керівник роботи доктор технічних наук, професор каф. КС Приймак Микола Володимирович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Структурна схема

2. Блок схема роботи

3. Схема електрична принципова

4. Результати роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>			

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>26.06</i>	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Лесюк Олег Зеновійович*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Приймак Микола Володимирович*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Лесюк О. З. Комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: комп'ютерна система, дозрівання сирів, ESP32, моніторинг, мікроклімат, автоматизація.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено комп'ютерну систему моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів. Проведено аналіз технологічних особливостей дозрівання твердих сирів та визначено основні параметри, що впливають на якість готової продукції. Обґрунтовано вибір апаратних і програмних засобів для реалізації системи.

Розроблено структурну та принципову електричну схеми системи на базі мікроконтролера ESP32. Для контролю технологічних параметрів передбачено використання датчиків температури, вологості, концентрації вуглекислого газу та кислотності. Підтримання необхідних умов дозрівання забезпечується шляхом автоматичного керування вентиляцією, зволоженням та обігрівом камери.

Реалізовано програмне забезпечення збору, обробки та архівування даних, а також віддалений моніторинг за допомогою мобільного застосунку Blynk. Створено експериментальний зразок системи та описано особливості його функціонування.

## ANNOTATION

Lesiuk O. Computer System for Monitoring and Control of the Cheese Ripening Process: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 – computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: computer system, ripening of cheeses, ESP32, monitoring, microclimate, automation.

In the bachelor's qualification work, a computer system for monitoring and controlling the ripening process of cheeses was developed. The technological features of ripening of hard cheeses were analyzed and the main parameters that affect the quality of the finished product were determined. The choice of hardware and software for implementing the system was justified.

A functional and principle electrical circuit of the system based on the ESP32 microcontroller was developed. To control the technological parameters, the use of temperature, humidity, carbon dioxide concentration and acidity sensors is provided. Maintaining the necessary ripening conditions is ensured by automatically controlling ventilation, humidification and heating of the chamber.

Software for collecting, processing and archiving data, as well as remote monitoring using the Blynk mobile application, was implemented. An experimental sample of the system was created and the features of its functioning were described.

## ЗМІСТ

ВСТУП	.....	8
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ ТЕХІЧНОГО ЗАВДАННЯ	10
1.1	Аналіз процесу дозрівання сирів як об'єкта моніторингу та контролю...	10
1.2	Аналіз факторів, що впливають на процес дозрівання сирів.....	12
1.3	Аналіз сучасних систем моніторингу та керування камерами дозрівання сирів	15
1.3.1	Система керування камерами дозрівання сирів Drevos.....	16
1.3.2	Система керування камерами дозрівання сирів Standard Tech.....	17
1.3.3	ІоТ-системи моніторингу мікроклімату харчових виробництв.....	18
1.3.4	Порівняльний аналіз існуючих рішень.....	20
1.4	Постановка задач кваліфікаційної роботи.....	21
РОЗДІЛ 2	ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	22
2.1	Розробка узагальненої структури комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів.....	22
2.2	Обґрунтування вибору апаратного забезпечення.....	23
2.2.1	Вибір мікроконтролерної платформи.....	24
2.2.2	Вибір датчиків контролю параметрів дозрівання сирів.....	25
2.2.3	Вибір виконавчих механізмів системи.....	30
2.2.4	Вибір засобів відображення та реєстрації інформації.....	33
2.3	Розробка електричної принципової схеми.....	35
2.4	Обґрунтування вибору програмного забезпечення.....	39

					КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Лесюк О. З.				Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірів	Приймак М.В.				6		
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.	Тиш Є.В.						
Затверд.	Осухівська Г.М.						
					Комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	41
3.1 Розробка алгоритму роботи системи .....	41
3.2 Реалізація програмного забезпечення системи.....	46
3.3 Реалізація експериментального зразка та тестування системи.....	52
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..	61
4.1 Надзвичайні ситуації, викликані пожежами, вибухами, техногенними та природними причинами.....	61
4.2 Організація безпечної роботи електроустановок .....	63
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Виробництво твердих сирів є складним технологічним процесом, кінцева якість якого значною мірою визначається умовами дозрівання. Саме на цьому етапі відбуваються фізико-хімічні та біохімічні процеси, які формують структуру, смак, аромат і споживчі властивості готового продукту. Відхилення параметрів мікроклімату від встановлених технологічних режимів можуть призвести до нерівномірного дозрівання, появи дефектів поверхні, втрати маси продукції та зниження її якості.

Традиційно контроль умов дозрівання сирів здійснюється шляхом періодичних вимірювань температури та вологості повітря. Такий підхід не забезпечує безперервного спостереження за технологічним процесом і не дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів середовища. Використання сучасних засобів автоматизації та технологій Інтернету речей дає можливість реалізувати системи постійного моніторингу із функціями автоматичного керування та дистанційного контролю.

Для забезпечення стабільного перебігу процесу дозрівання необхідно підтримувати визначені значення температури, відносної вологості, повітрообміну, кислотності та інших параметрів середовища. Контроль цих показників дозволяє створити оптимальні умови для розвитку мікрофлори та протікання ферментативних процесів, що безпосередньо впливають на якість готового продукту. Водночас автоматизоване керування технологічними параметрами сприяє зменшенню впливу людського фактора та підвищенню ефективності виробництва.

Сучасні мікроконтролерні платформи забезпечують широкі можливості для створення недорогих та функціональних систем автоматизації. Використання бездротових засобів зв'язку дозволяє організувати віддалений доступ до інформації про стан технологічного процесу та отримувати повідомлення про виникнення аварійних або позаштатних ситуацій. Це особливо актуально для невеликих виробництв і фермерських господарств, де

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування промислових систем автоматизації часто є економічно недоцільним.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів, яка забезпечує автоматичний контроль параметрів мікроклімату, керування виконавчими механізмами та можливість віддаленого моніторингу технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати аналіз процесу дозрівання сирів та існуючих технічних рішень, обґрунтувати вибір апаратних і програмних засобів, розробити структуру системи, реалізувати програмне забезпечення збору та обробки даних, а також створити експериментальний зразок розробленої системи.

					<i>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Аналіз процесу дозрівання сирів як об'єкта моніторингу та контролю

Виробництво сиру є багатостадійним технологічним процесом, що включає підготовку молока, внесення заквасок і ферментних препаратів, формування сирного зерна, пресування, соління та дозрівання. Саме етап дозрівання визначає остаточні органолептичні характеристики продукту, зокрема його смак, аромат, консистенцію та структуру.

Під час дозрівання в сирній масі відбувається комплекс взаємопов'язаних фізичних, біохімічних і мікробіологічних процесів. Під дією ферментів молочнокислих бактерій та сичужних препаратів здійснюється поступове розщеплення білків, жирів і вуглеводів. У результаті утворюються сполуки, які формують характерний смак і аромат певного виду сиру.

Тривалість дозрівання залежить від сорту продукції та може становити від декількох тижнів до декількох місяців. Для окремих видів твердих сирів цей період досягає одного року і більше. Упродовж усього часу продукт потребує підтримання визначених умов навколишнього середовища, оскільки швидкість біохімічних процесів безпосередньо залежить від параметрів мікроклімату [2].

У процесі дозрівання відбувається поступова зміна фізичних властивостей сирної маси. Зменшується вміст вологи, ущільнюється структура продукту, змінюються показники кислотності та активності мікрофлори. Одночасно відбувається накопичення речовин, що формують смакові та ароматичні характеристики готового продукту.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Лесюк О. З.			<b>Аналіз технічного завдання</b>	<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Перевірів		Приймак М.В.					10	12
Реценз.						<b>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</b>		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

Послідовність процесів, що відбуваються під час дозрівання сирів, наведена на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Основні етапи процесу дозрівання твердих сирів

Особливістю процесу дозрівання є його висока чутливість до зовнішніх умов. Відхилення параметрів середовища від рекомендованих значень призводить до зміни швидкості ферментативних реакцій, нерівномірного розвитку мікрофлори та погіршення якості продукції. Надмірне підвищення температури може спричинити прискорене дозрівання та появу дефектів структури, тоді як недостатня температура уповільнює перебіг біохімічних процесів. Аналогічно зміна вологості впливає на інтенсивність втрати маси продукту та стан його поверхні.

Під час дозрівання сирна головка не є однорідним об'єктом. Процеси, що відбуваються у центральній частині продукту, можуть відрізнятися від процесів у поверхневих шарах. Саме тому необхідно забезпечувати рівномірність умов навколишнього середовища та стабільність технологічного режиму протягом усього періоду дозрівання.

З точки зору автоматизації процес дозрівання сирів можна розглядати як багатопараметричний технологічний об'єкт, стан якого визначається сукупністю параметрів середовища та внутрішніх характеристик продукту. Контроль цих параметрів дозволяє забезпечити стабільність технологічного процесу та отримання продукції із заданими якісними показниками [3].

## 1.2 Аналіз факторів, що впливають на процес дозрівання сирів

Одним із основних параметрів, що визначає швидкість дозрівання сирів, є температура. Вона впливає на активність молочнокислих бактерій та ферментів, які забезпечують протікання процесів протеолізу і ліполізу. Для більшості твердих сирів рекомендована температура дозрівання знаходиться в межах від 8 до 14 °С. Зі збільшенням температури швидкість біохімічних реакцій зростає, однак перевищення допустимих значень може призводити до нерівномірного дозрівання та погіршення структури продукту. Зниження температури, навпаки, уповільнює ферментативні процеси та збільшує тривалість виробничого циклу. Залежність інтенсивності процесу дозрівання від температури наведено на рис. 1.2.

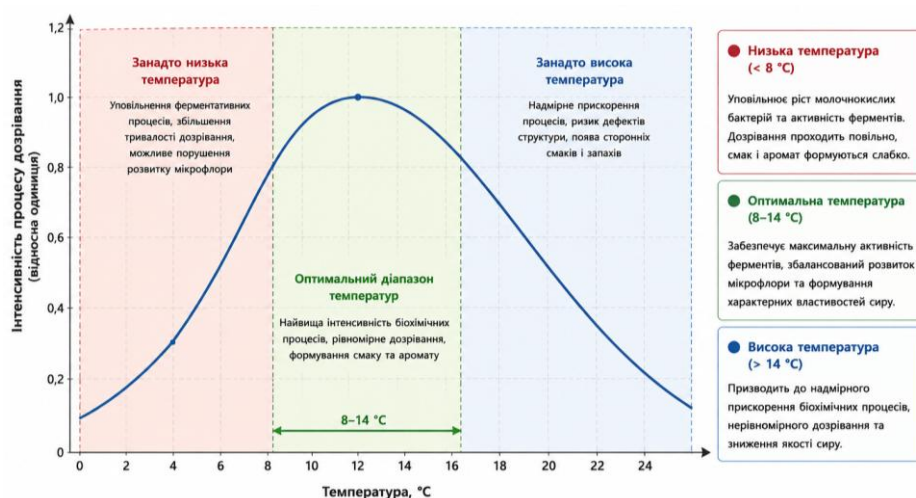


Рисунок 1.2 – Вплив температури на інтенсивність процесу дозрівання сирів

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для більшості видів твердих сирів температура підтримується з мінімальними коливаннями протягом усього періоду дозрівання. Це пов'язано з тим, що різкі зміни температурного режиму впливають на розвиток мікрофлори та можуть викликати появу дефектів готового продукту.

Відносна вологість повітря визначає інтенсивність випаровування вологи з поверхні сирної головки та впливає на формування захисної кірки. Для твердих сирів значення вологості зазвичай підтримується в межах 80–95 %. При недостатній вологості відбувається прискорене висихання поверхневих шарів продукту, що супроводжується збільшенням втрат маси та утворенням тріщин. Надлишкова вологість створює умови для розвитку небажаної мікрофлори та появи поверхневих дефектів. Вплив вологості на втрату маси сирної головки наведено на рис. 1.3.

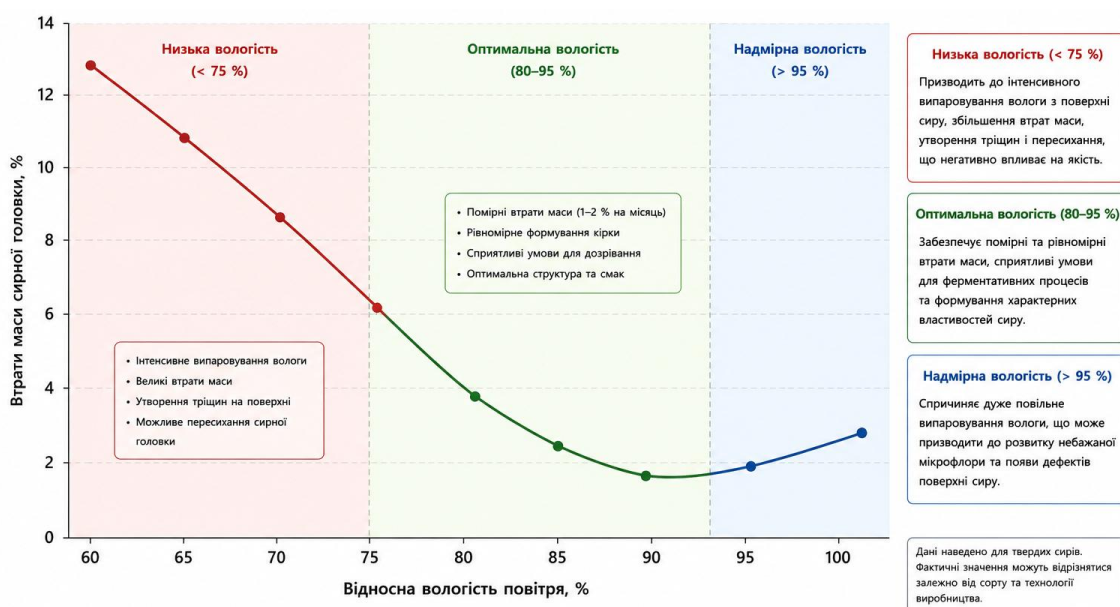


Рисунок 1.3 – Вплив вологості на втрату маси сирної головки

Рекомендовані параметри дозрівання для окремих видів сирів наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані параметри дозрівання різних видів сирів

Вид сиру	Температура, °С	Відносна вологість, %	Тривалість дозрівання
Голландський	10–12	85–90	2–3 місяці
Гауда	10–14	85–90	2–6 місяців
Чеддер	8–12	80–85	3–12 місяців
Емменталь	10–14	85–95	4–12 місяців
Пармезан	12–15	80–85	понад 12 місяців

Окрім температури та вологості, на процес дозрівання впливає кислотність сирної маси. Вона характеризує інтенсивність молочнокислого бродіння та активність мікрофлори. Показник кислотності зазвичай визначається значенням рН. У процесі дозрівання його величина змінюється під впливом діяльності молочнокислих бактерій та ферментів. Відхилення кислотності від нормативних значень може призводити до порушення структури продукту, появи небажаних смакових властивостей та погіршення умов розвитку корисної мікрофлори. Зміна кислотності сирної маси під час дозрівання наведена на рис. 1.4.

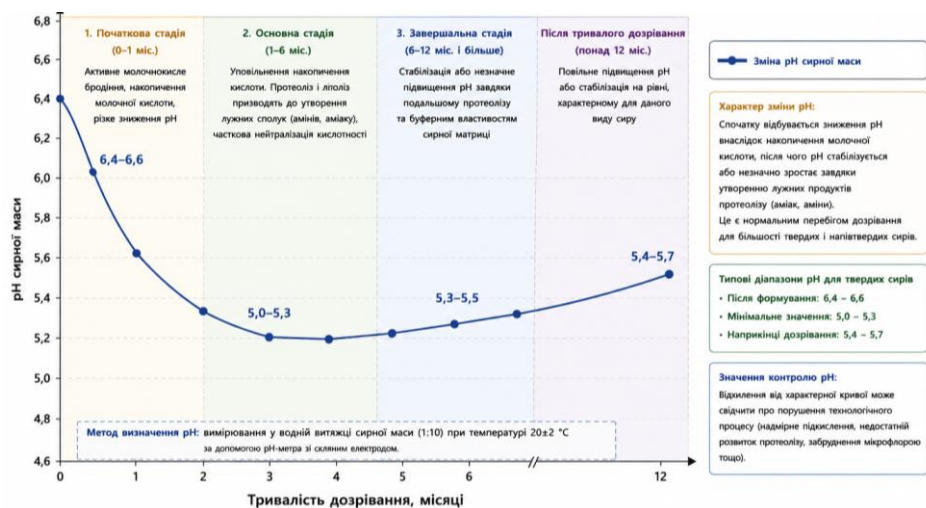


Рисунок 1.4 – Зміна кислотності сирної маси під час дозрівання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ

Арк.

14

Контроль кислотності дозволяє оцінювати інтенсивність біохімічних процесів та своєчасно виявляти відхилення від технологічного режиму. Тому показник рН може використовуватися як додатковий критерій оцінювання стану процесу дозрівання сирів.

У процесі дозрівання сирів внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів відбувається виділення вуглекислого газу. Його накопичення в приміщенні може свідчити про недостатню інтенсивність вентиляції та призводити до погіршення умов дозрівання продукції. Тому сучасні системи автоматизації камер дозрівання часто передбачають контроль концентрації CO<sub>2</sub> з метою керування повітрообміном та підтримання стабільних параметрів середовища.

Система вентиляції виконує не лише функцію видалення надлишкового вуглекислого газу. Вона забезпечує рівномірний розподіл температури та вологості по всьому об'єму приміщення, що особливо важливо під час тривалого зберігання продукції. Недостатній повітрообмін призводить до локальних відхилень параметрів середовища, які можуть викликати нерівномірне дозрівання окремих сирних головок.

Розглянуті фактори є взаємопов'язаними. Зміна температури впливає на відносну вологість повітря та швидкість біохімічних процесів. Інтенсивність вентиляції змінює концентрацію CO<sub>2</sub> і одночасно впливає на температуру та вологість середовища. Тому забезпечення стабільного процесу дозрівання потребує одночасного контролю декількох параметрів та підтримання їх у межах встановлених технологічних режимів.

### 1.3 Аналіз сучасних систем моніторингу та керування камерами дозрівання сирів

Підтримання стабільних умов дозрівання є одним із ключових завдань сучасних сироробних підприємств. Для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату використовуються спеціалізовані системи моніторингу та

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

керування, які дозволяють автоматично підтримувати температуру, вологість, вентиляцію та інші параметри технологічного середовища. Використання таких систем забезпечує підвищення якості продукції, зменшення втрат та зниження впливу людського фактора на технологічний процес.

### 1.3.1 Система керування камерами дозрівання сирів Drevos

Одним із відомих виробників обладнання для дозрівання сирів є компанія Drevos. Її рішення використовуються для створення камер дозрівання різної місткості та забезпечують автоматичне підтримання параметрів мікроклімату відповідно до вимог технологічного процесу (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Система керування камерою дозрівання сирів Drevos  
Climate Tech 40

Система здійснює контроль температури та відносної вологості повітря, керує роботою холодильного обладнання, нагрівачів, зволожувачів та вентиляційних установок. Користувач має можливість задавати необхідні

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

режими роботи та контролювати поточний стан камери через панель керування.

Основною перевагою таких систем є висока надійність та можливість експлуатації в промислових умовах. Водночас використання спеціалізованого обладнання супроводжується значними витратами на придбання та обслуговування, що обмежує його застосування на невеликих підприємствах.

### 1.3.2 Система керування камерами дозрівання сирів Standard Tech

Камери дозрівання Standard Tech обладнані холодильними установками, системами вентиляції та регулювання вологості повітря. Контроль параметрів середовища здійснюється за допомогою електронної системи керування, яка забезпечує автоматичне підтримання заданих значень температури та відносної вологості. Це дозволяє створювати оптимальні умови для дозрівання різних видів сирів незалежно від зовнішніх кліматичних умов. Загальний вигляд камер дозрівання сирів Standard Tech наведено на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Камери дозрівання сирів Standard Tech

Система забезпечує рівномірний розподіл повітряних потоків у камері, що сприяє однаковим умовам дозрівання всієї продукції. Для керування технологічним процесом використовуються програмовані контролери, які здійснюють моніторинг параметрів середовища та керують роботою холодильного обладнання, вентиляторів і систем зволоження.

Важливою особливістю рішень Standard Tech є можливість адаптації параметрів роботи до вимог конкретного виду продукції. Завдяки цьому система може використовуватися як для невеликих виробництв, так і для промислових сироробних підприємств.

### 1.3.3 IoT-системи моніторингу мікроклімату харчових виробництв

Останніми роками значного поширення набули системи моніторингу, побудовані на основі технологій Інтернету речей. Такі рішення передбачають використання мікроконтролерних платформ, цифрових датчиків та засобів бездротової передачі даних.

Типова IoT-система забезпечує збір інформації від датчиків температури, вологості, концентрації газів та інших параметрів середовища з подальшою передачею даних до мобільного застосунку або хмарного сервісу. Завдяки цьому користувач отримує можливість віддаленого контролю технологічного процесу та оперативного реагування на відхилення від встановлених режимів [4].

Загальний вигляд IoT-системи моніторингу параметрів середовища наведено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Приклад IoT-системи моніторингу параметрів середовища

Перевагами таких систем є невисока вартість реалізації, простота масштабування та можливість адаптації до конкретних умов експлуатації. Крім того, використання відкритих програмних платформ дозволяє модифікувати функціональні можливості системи відповідно до вимог користувача.

Незважаючи на відмінності в реалізації, більшість сучасних систем моніторингу та керування процесом дозрівання сирів мають подібну функціональну структуру (рис. 1.8). Такі системи містять підсистему збору даних, модуль обробки інформації, виконавчі механізми підтримання параметрів середовища та засоби локального або віддаленого моніторингу.

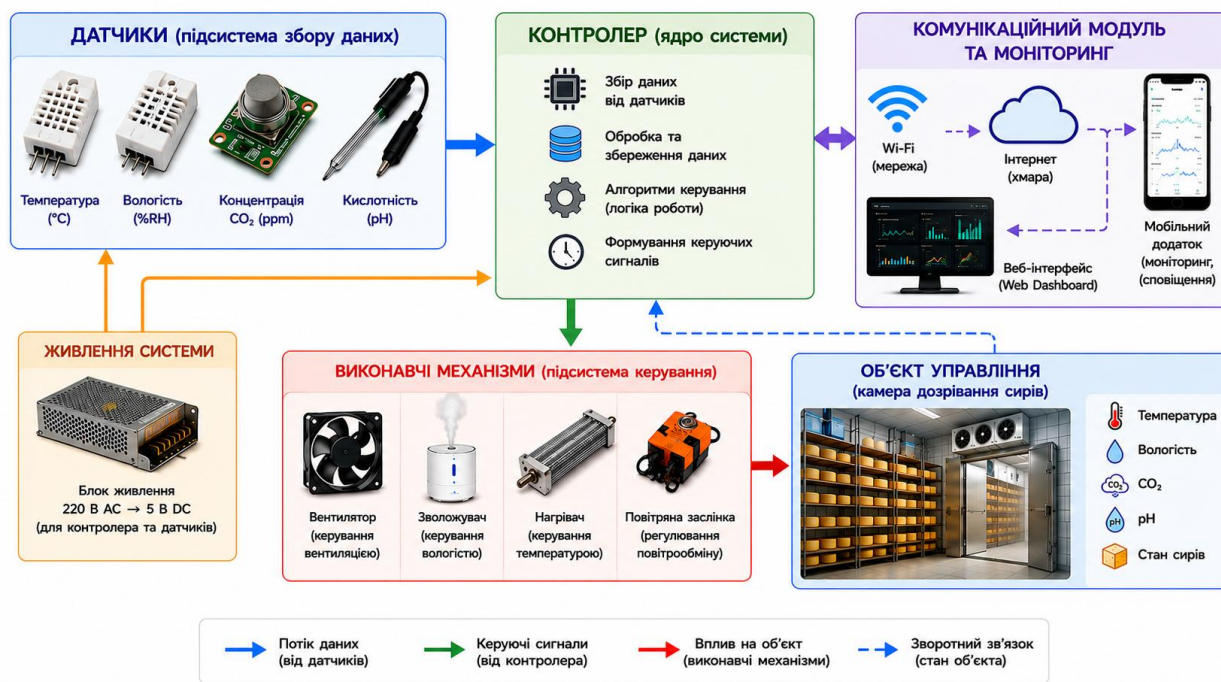


Рисунок 1.8 – Узагальнена структура системи моніторингу і керування процесом дозрівання сирів

Як видно з рис. 1.8, незалежно від способу реалізації більшість сучасних систем моніторингу та керування процесом дозрівання сирів містять підсистему збору даних, модуль керування, виконавчі механізми та засоби відображення інформації. Основні відмінності між рішеннями полягають у

рівні автоматизації, способах передавання даних та можливостях інтеграції із зовнішніми інформаційними системами.

#### 1.3.4 Порівняльний аналіз існуючих рішень

Для визначення вимог до розроблюваної системи виконано порівняльний аналіз розглянутих рішень. Основні характеристики систем наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика сучасних систем моніторингу та керування процесом дозрівання сирів

Характеристика	Drevos	Standard Tech	IoT-система
Контроль температури	Так	Так	Так
Контроль вологості	Так	Так	Так
Контроль CO <sub>2</sub>	Ні	Частково	Так
Архівування даних	Так	Так	Так
Віддалений моніторинг	Обмежений	Частково	Так
Можливість модифікації	Низька	Низька	Висока
Масштабованість	Середня	Висока	Висока
Вартість впровадження	Висока	Висока	Низька

Проведений аналіз показує, що промислові системи забезпечують високий рівень автоматизації та надійності, проте характеризуються значною вартістю та обмеженими можливостями адаптації. IoT-рішення на базі сучасних мікроконтролерних платформ дозволяють реалізувати основні функції моніторингу та керування за значно менших витрат, забезпечуючи при цьому можливість віддаленого доступу до технологічних параметрів та подальшого розширення функціональних можливостей системи.

#### 1.4 Постановка задач кваліфікаційної роботи

На основі проведеного аналізу визначено актуальність розроблення комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів, яка забезпечуватиме безперервний контроль технологічних параметрів та автоматичне підтримання необхідних умов дозрівання продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити узагальнену структуру комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів;
- обґрунтувати вибір мікроконтролерної платформи для реалізації системи;
- обґрунтувати вибір датчиків контролю температури, вологості, концентрації вуглекислого газу та кислотності;
- обґрунтувати вибір виконавчих механізмів для підтримання параметрів мікроклімату;
- розробити функціональну та принципову електричну схеми системи;
- розробити програмне забезпечення збору, обробки та відображення інформації;
- реалізувати віддалений моніторинг параметрів технологічного процесу за допомогою мобільного застосунку;
- створити експериментальний зразок системи та перевірити його працездатність.

Результатом виконання кваліфікаційної роботи повинна стати комп'ютерна система, здатна забезпечити автоматизований контроль процесу дозрівання сирів, підвищити стабільність технологічних режимів та спростити контроль за станом камери дозрівання з боку оператора.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розробка узагальненої структури комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів

На основі аналізу процесу дозрівання сирів та існуючих технічних рішень визначено, що розроблювана система повинна забезпечувати контроль основних параметрів мікроклімату, автоматичне керування виконавчими механізмами та віддалене спостереження за станом технологічного процесу. До складу системи доцільно включити підсистему збору даних, мікроконтролерний блок обробки інформації, засоби керування обладнанням, локальний інтерфейс користувача та модуль віддаленого моніторингу.

Узагальнена структура розроблюваної комп'ютерної системи наведена на рис. 2.1.

Підсистема збору даних призначена для отримання інформації про температуру, відносну вологість, концентрацію вуглекислого газу та кислотність. Отримані дані передаються до мікроконтролера, який виконує їх обробку, порівняння з установленими граничними значеннями та формування керуючих сигналів.

Мікроконтролерний блок є центральним елементом системи. Він забезпечує опитування датчиків, реалізацію алгоритмів керування, обмін даними з локальними засобами індикації, запис інформації до пам'яті та передавання параметрів у мобільний застосунок. Для підтримання технологічних режимів передбачено керування вентилятором, нагрівачем, зволожувачем та, за потреби, повітряними заслінками.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Лесюк О. З.			<b>Проектна частина</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		Приймак М.В.					22	19
<i>Реценз.</i>						<b>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</b>		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

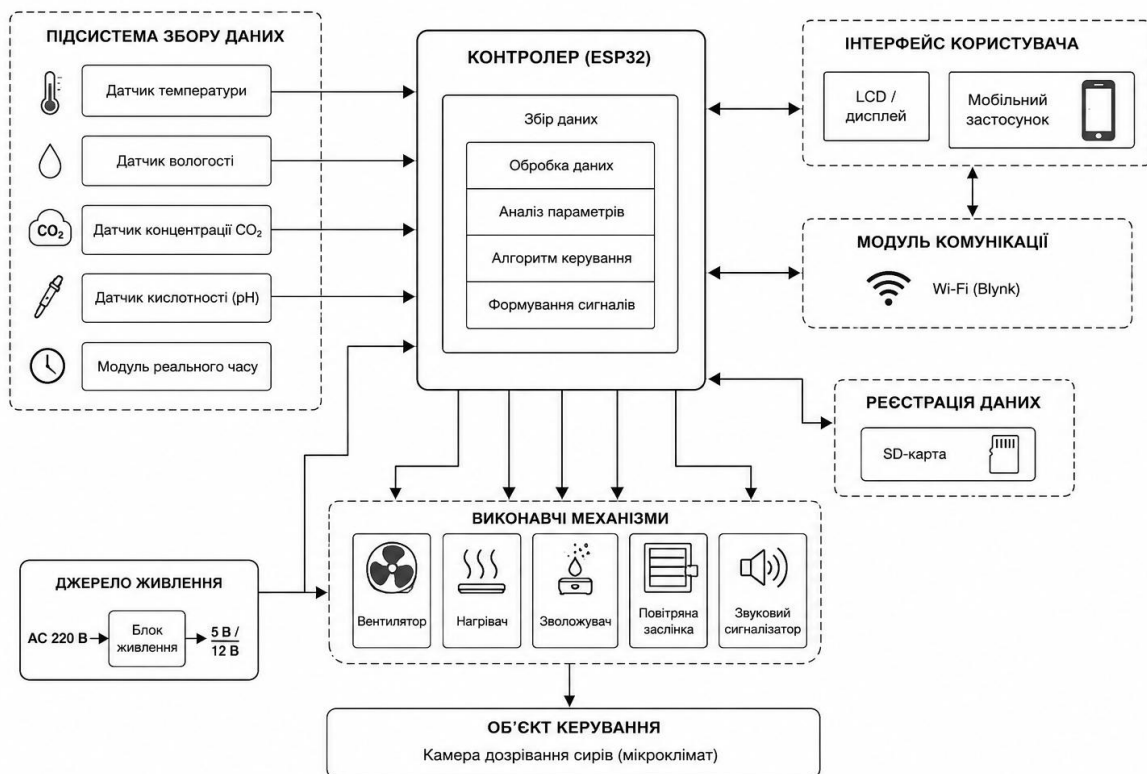


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів

Система повинна працювати в автоматичному режимі. Оператор задає допустимі межі параметрів дозрівання, а контролер забезпечує підтримання умов у межах установлених значень. У разі виходу параметрів за допустимі межі система повинна сформувати попередження та відобразити відповідну інформацію на локальному дисплеї і в мобільному застосунку.

## 2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення системи повинно забезпечувати стабільне вимірювання параметрів середовища, достатню кількість інтерфейсів для підключення датчиків і виконавчих пристроїв, підтримку бездротової передачі даних та можливість подальшого розширення системи. Вибір елементів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

здійснювався з урахуванням умов експлуатації, доступності компонентів, вартості та сумісності з мікроконтролерною платформою [5].

### 2.2.1 Вибір мікроконтролерної платформи

Для реалізації системи обрано мікроконтролерну платформу ESP32 (рис.2.2). Вона має достатню продуктивність для опитування датчиків, керування виконавчими механізмами, обробки даних та передавання інформації через Wi-Fi. Наявність вбудованих бездротових інтерфейсів дозволяє реалізувати віддалений моніторинг без використання додаткових мережевих модулів.

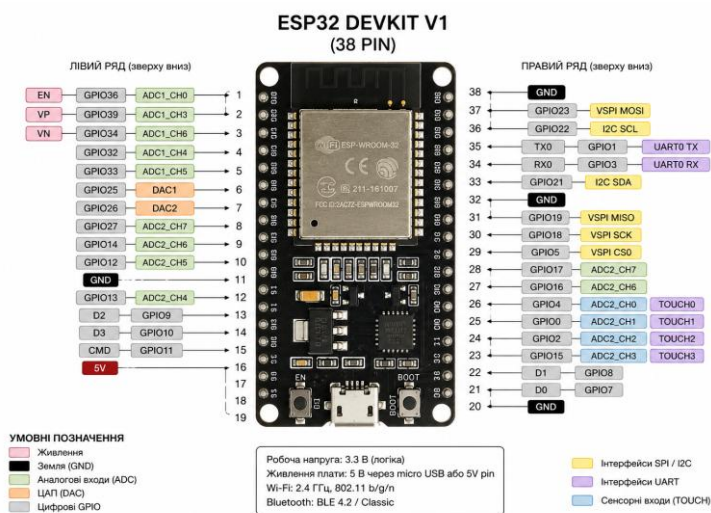


Рисунок 2.2 – Інтерфейси ESP32

Платформа ESP32 підтримує інтерфейси I<sup>2</sup>C, SPI, UART, 1-Wire через програмну реалізацію та аналогові входи, що дозволяє підключити до неї датчики температури, вологості, CO<sub>2</sub>, рН, дисплей, SD-карту та модулі керування виконавчими механізмами. Також важливою перевагою є підтримка великої кількості бібліотек і середовищ розроблення, що спрощує реалізацію програмного забезпечення. Для передавання даних у системі використовується бездротовий інтерфейс Wi-Fi, вбудований у мікроконтролер ESP32. Основні характеристики ESP32 наведено в табл. 2.1.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Основні характеристики мікроконтролерної платформи ESP32

Параметр	Значення
Тип мікроконтролера	ESP32
Архітектура	32-бітна
Максимальна тактова частота	до 240 МГц
Бездротові інтерфейси	Wi-Fi, Bluetooth
Основні апаратні інтерфейси	I <sup>2</sup> C, SPI, UART, ADC, PWM
Напруга живлення логіки	3,3 В
Можливість віддаленого моніторингу	Так
Придатність для IoT-систем	Висока

Враховуючи необхідність реалізації віддаленого моніторингу, локального керування та підключення декількох типів датчиків, ESP32 є доцільним вибором для розроблюваної системи.

### 2.2.2 Вибір датчиків контролю параметрів дозрівання сирів

Для забезпечення стабільного перебігу процесу дозрівання сирів необхідно здійснювати контроль основних параметрів середовища, які безпосередньо впливають на швидкість біохімічних процесів та якість готової продукції. На основі аналізу технологічних вимог, виконаного в першому розділі, встановлено необхідність контролю температури повітря, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу та кислотності сирної маси. Вибір датчиків здійснювався з урахуванням необхідної точності вимірювань, сумісності з мікроконтролерною платформою ESP32 та можливості роботи в умовах підвищеної вологості [6].

Відповідно до технологічних вимог температура в камері повинна підтримуватися в межах 8–15 °С, а відносна вологість – у межах 80–95 %. Тому для реалізації системи необхідний датчик, який забезпечує вимірювання температури з похибкою не більше  $\pm 0,5$  °С та вологості з похибкою не більше  $\pm 3$  % RH.

Для вирішення поставленої задачі розглядалися датчики DHT22, BME280 та SHT31-D. Порівняльний аналіз показав, що датчик SHT31-D

забезпечує найвищу точність вимірювання температури та вологості, має цифровий інтерфейс I<sup>2</sup>C та характеризується високою довготривалою стабільністю показів. З огляду на це для розроблюваної системи обрано датчик SHT31-D ( рис. 2.3)

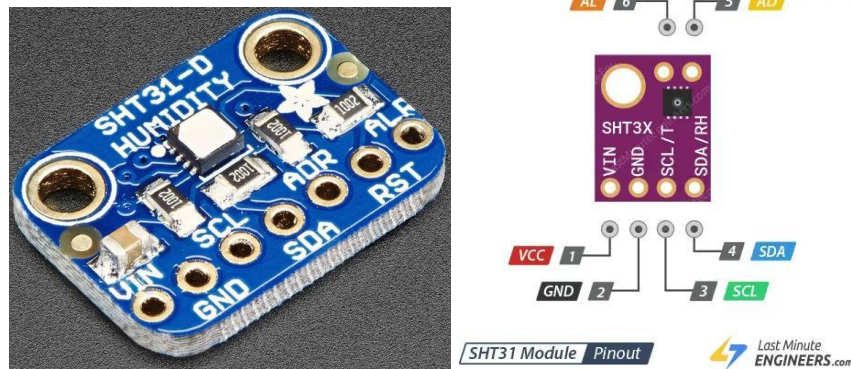


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд і призначення виводів датчика температури та вологості SHT31-D

Основні технічні характеристики датчика наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики датчика SHT31-D

Параметр	Значення
Тип датчика	Температура та відносна вологість
Напруга живлення	2,4–5,5 В
Інтерфейс зв'язку	I <sup>2</sup> C
Діапазон вимірювання температури	від –40 до +125 °С
Точність вимірювання температури	±0,3 °С
Діапазон вимірювання вологості	0–100 % RH
Точність вимірювання вологості	±2 % RH
Частота оновлення даних	до 10 вимірювань/с
Споживаний струм	до 0,8 мА

У процесі дозрівання сирів відбувається виділення вуглекислого газу, накопичення якого може свідчити про недостатню ефективність вентиляції. Для контролю роботи вентиляційної системи необхідно забезпечити

вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> в діапазоні від атмосферного рівня до декількох тисяч ppm.

Для реалізації даної функції розглядалися датчики MQ-135, MH-Z19B та SCD41. Датчики серії MQ мають відносно невисоку точність та значну залежність показів від температури й вологості. Датчик MH-Z19B забезпечує вищу точність, однак характеризується більшими габаритами та енергоспоживанням. Найкращі характеристики забезпечує датчик SCD41, який використовує фотоакустичний метод вимірювання та підтримує цифровий інтерфейс I<sup>2</sup>C. З огляду на це для розроблюваної системи обрано датчик SCD41(рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд датчика концентрації CO<sub>2</sub> SCD41

Основні характеристики датчика наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики датчика SCD41

Параметр	Значення
Тип датчика	Датчик концентрації CO <sub>2</sub>
Напруга живлення	2,4–5,5 В
Інтерфейс зв'язку	I <sup>2</sup> C
Діапазон вимірювання CO <sub>2</sub>	400–5000 ppm
Типова точність	±(40 ppm + 5 %)
Період оновлення даних	5 с
Споживаний струм	до 15 мА
Робоча температура	від –10 до +60 °С

Контроль кислотності дозволяє оцінювати перебіг біохімічних процесів під час дозрівання сирів. Для вимірювання кислотності необхідно забезпечити визначення показника рН у межах від 0 до 14 з похибкою не більше  $\pm 0,1$  рН.

Для реалізації вимірювань обрано модуль DFRobot Gravity Analog pH Sensor V2 (рис. 2.5), який складається з рН-електрода та плати узгодження сигналу. Основними перевагами даного рішення є сумісність з ESP32, можливість калібрування за стандартними буферними розчинами та достатня точність вимірювання для технологічного контролю процесу дозрівання сирів.

Оскільки безперервне вимірювання кислотності безпосередньо в сирній масі є складним технологічним завданням, датчик використовується для періодичного контролю відібраних зразків продукції.

Зовнішній вигляд датчика наведено на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд датчика кислотності DFRobot Gravity Analog pH Sensor V2

Основні характеристики датчика наведено в табл. 2.4.

Для архівування результатів вимірювань необхідно забезпечити формування часових міток незалежно від наявності основного живлення. Для цього система повинна містити модуль годинника реального часу з резервним живленням.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики датчика рН

Параметр	Значення
Тип датчика	рН-електрод з модулем узгодження
Напруга живлення	3,3–5,5 В
Вихідний сигнал	Аналоговий
Діапазон вимірювання	0–14 рН
Точність вимірювання	$\pm 0,1$ рН
Робоча температура	5–60 °С
Час відгуку	до 60 с
Інтерфейс підключення	ADC

Серед поширених рішень розглядалися модулі DS1307 та DS3231. Порівняльний аналіз показав, що DS3231 має значно вищу точність ходу завдяки наявності температурної компенсації кварцового резонатора. З огляду на це для реалізації системи обрано модуль DS3231. Зовнішній вигляд модуля наведено на рис. 2.6. Основні характеристики модуля наведено в табл. 2.5.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд модуля годинника реального часу DS3231

Таблиця 2.5 – Основні характеристики модуля DS3231

Параметр	Значення
Тип пристрою	Годинник реального часу (RTC)
Напруга живлення	3,3–5 В
Інтерфейс зв'язку	I <sup>2</sup> C
Точність ходу	$\pm 2$ ppm
Резервне живлення	Батарея CR2032
Робоча температура	від –40 до +85 °С

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ

Арк.

29

Застосування сучасних цифрових датчиків дозволяє забезпечити необхідну точність вимірювань, а використання інтерфейсу I<sup>2</sup>C для більшості пристроїв спрощує побудову та подальше розширення системи.

### 2.2.3 Вибір виконавчих механізмів системи

Для підтримання необхідних параметрів мікроклімату в камері дозрівання сирів система повинна забезпечувати регулювання температури, вологості та інтенсивності повітрообміну. Відповідно до встановлених технологічних вимог необхідно передбачити виконавчі механізми для нагрівання повітря, його циркуляції, зволоження та керування припливом свіжого повітря.

Для забезпечення рівномірного розподілу температури та вологості в об'ємі камери, а також для організації повітрообміну обрано вентилятор постійного струму напругою живлення 12 В. Основними вимогами до вентилятора є низький рівень шуму, достатня продуктивність та можливість керування від мікроконтролера. Для реалізації експериментального зразка доцільно використовувати вентилятор типорозміру 80–120 мм із продуктивністю 40–70 м<sup>3</sup>/год. Керування вентилятором здійснюється через MOSFET-транзистор, що дозволяє комутувати навантаження безпосередньо від виходів ESP32 [7].

Для підтримання температурного режиму обрано керамічний РТС-нагрівач. Основними вимогами до нагрівального елемента є безпечність експлуатації, компактність та стабільність тепловиділення. На відміну від традиційних нагрівачів, РТС-елементи мають властивість самостійно обмежувати температуру поверхні, що знижує ризик перегріву камери та підвищує надійність роботи системи. Зовнішній вигляд нагрівача наведено на рис. 2.7.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 – Керамічний РТС-нагрівач

Основні характеристики нагрівача наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Основні характеристики РТС-нагрівача

Параметр	Значення
Напруга живлення	12 В
Потужність	30–60 Вт
Максимальна температура поверхні	до 120 °С
Спосіб керування	Релейний модуль

Для підтримання необхідного рівня вологості повітря обрано ультразвуковий зволожувач на основі п'єзоелектричного випромінювача. Основними вимогами до зволожувача є можливість швидкого підвищення вологості та низьке енергоспоживання. Ультразвукові зволожувачі формують дрібнодисперсний водяний туман без суттєвого впливу на температуру середовища, що робить їх придатними для використання в камерах дозрівання сирів. Зовнішній вигляд зволожувача наведено на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – Ультразвуковий зволожувач

Основні характеристики наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Основні характеристики ультразвукового зволожувача

Параметр	Значення
Модель	Ultrasonic Mist Maker
Напруга живлення	24 В
Споживана потужність	20 Вт
Продуктивність	до 300 мл/год
Спосіб керування	Релейний модуль

Для регулювання припливу свіжого повітря використовується повітряна заслінка з сервоприводом. Основною вимогою до даного вузла є можливість плавної зміни положення заслінки залежно від концентрації CO<sub>2</sub> та режиму роботи системи. Для реалізації експериментального зразка обрано сервопривід SG90, який забезпечує достатній крутний момент та підтримує керування сигналом PWM безпосередньо від ESP32. Зовнішній вигляд сервопривода наведено на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Сервопривід SG90

Основні характеристики наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Основні характеристики сервопривода SG90

Параметр	Значення
Напруга живлення	4,8–6 В
Кут повороту	0–180°
Спосіб керування	PWM
Крутний момент	до 1,8 кг·см

Для інформування користувача про аварійні режими роботи системи використовується активний звуковий сигналізатор. Його активація здійснюється при перевищенні допустимих меж температури, вологості або концентрації CO<sub>2</sub>, а також у випадку виявлення несправності обладнання.

Керування виконавчими механізмами здійснюється мікроконтролером ESP32 на основі результатів аналізу поточних значень контрольованих параметрів. Для комутації силових навантажень використовуються MOSFET-транзистори та релейні модулі, що забезпечують електричну розв'язку між силовими колами та мікроконтролером.

Контроль працездатності виконавчих механізмів здійснюється непрямим методом за реакцією контрольованих параметрів середовища на сформований керуючий сигнал. Якщо після ввімкнення нагрівача температура не збільшується протягом визначеного часу, система формує повідомлення про можливу несправність нагрівального елемента. Аналогічно контролюється робота зволожувача за зміною вологості повітря та вентилятора за зміною концентрації CO<sub>2</sub>. Усі події та аварійні повідомлення реєструються в журналі системи для подальшого аналізу.

#### 2.2.4 Вибір засобів відображення та реєстрації інформації

Для локального відображення параметрів системи доцільно використати дисплей. На екрані повинні відображатися поточні значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, рН, стан виконавчих механізмів та режим роботи системи. Локальна індикація є необхідною, оскільки дозволяє контролювати стан системи без використання мобільного застосунку.

Таблиця 2.9 – Основні характеристики OLED-дисплея SSD1306

Параметр	Значення
Роздільна здатність	128×64
Інтерфейс	I <sup>2</sup> C
Напруга живлення	3,3–5 В
Споживаний струм	до 25 мА

Для збереження історії вимірювань передбачено використання microSD-карти. Запис параметрів із часовими мітками дозволяє аналізувати зміну умов дозрівання протягом доби або всього технологічного циклу. Додатково використовується модуль годинника реального часу DS3231, який забезпечує коректне формування дати і часу навіть після перезавантаження системи.

У табл. 2.10 наведено перелік основних компонентів апаратного забезпечення системи.

Таблиця 2.10 – Перелік основних компонентів комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів

Найменування	Призначення	Інтерфейс підключення
ESP32 DevKit V1	Центральний контролер системи	Wi-Fi, I <sup>2</sup> C, SPI, ADC, PWM
SHT31-D	Вимірювання температури та вологості	I <sup>2</sup> C
SCD41	Вимірювання концентрації CO <sub>2</sub>	I <sup>2</sup> C
DFRobot Gravity Analog pH Sensor V2	Контроль кислотності зразків сиру	ADC
DS3231	Годинник реального часу	I <sup>2</sup> C
OLED SSD1306 128×64	Локальне відображення інформації	I <sup>2</sup> C
MicroSD Card Module	Архівування результатів вимірювань	SPI
Вентилятор 12 В DC	Повітрообмін та циркуляція повітря	GPIO через MOSFET
РТС-нагрівач 12 В	Підтримання температурного режиму	GPIO через реле
Ultrasonic Mist Maker	Підтримання вологості повітря	GPIO через реле
Сервопривід SG90	Керування повітряною заслінкою	PWM
Активний бугер	Аварійна сигналізація	GPIO
Релейний модуль	Комутація силових навантажень	GPIO
MOSFET-модуль	Керування вентилятором	GPIO/PWM

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ

Арк.

34

Використання цифрових інтерфейсів I<sup>2</sup>C та SPI спрощує підключення периферійних пристроїв до мікроконтролера ESP32, а застосування релейних модулів і MOSFET-ключів дозволяє безпечно керувати виконавчими механізмами різної потужності. Обрані компоненти характеризуються доступністю, сумісністю та достатніми технічними характеристиками для реалізації експериментального зразка системи.

### 2.3 Розробка електричної принципової схеми

Електрична принципова схема комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів розроблена відповідно до функціональних вимог системи та обраної елементної бази. Основним призначенням схеми є забезпечення взаємодії між засобами вимірювання параметрів середовища, виконавчими механізмами та центральним контролером. Електричну принципову схему системи наведено в графічній частині кваліфікаційної роботи бакалавра.

Центральним елементом системи є мікроконтролерна плата ESP32, яка забезпечує збір даних від датчиків, їх обробку, збереження результатів вимірювань та керування виконавчими механізмами. До мікроконтролера підключаються датчик температури та вологості SHT31-D, датчик концентрації вуглекислого газу SCD41, модуль годинника реального часу DS3231, OLED-дисплей SSD1306, модуль карти пам'яті microSD, сервопривід повітряної заслінки, двоканальний релейний модуль, MOSFET-ключ керування вентилятором та кнопки локального налаштування параметрів системи.

Для обміну даними між цифровими датчиками та мікроконтролером використовується шина I<sup>2</sup>C. До неї підключені датчик температури та вологості SHT31-D, датчик концентрації CO<sub>2</sub> SCD41, модуль годинника реального часу DS3231 та OLED-дисплей SSD1306. Лінії SDA та SCL

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

обладнані підтягувальними резисторами R4 та R5 номіналом 4,7 кОм, що забезпечує стабільну роботу інтерфейсу та коректний обмін даними між пристроями. Призначення виводів мікроконтролера наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Призначення виводів мікроконтролера ESP32-S3

Вивід ESP32	Підключений елемент	Інтерфейс / сигнал	Призначення
SDA	SHT31-D, SCD41, DS3231, SSD1306	I <sup>2</sup> C SDA	Передавання даних між пристроями шини I <sup>2</sup> C
SCL	SHT31-D, SCD41, DS3231, SSD1306	I <sup>2</sup> C SCL	Тактування шини I <sup>2</sup> C
MOSI	MicroSD Card Module	SPI MOSI	Передавання даних до microSD
MISO	MicroSD Card Module	SPI MISO	Приймання даних від microSD
SCK	MicroSD Card Module	SPI SCK	Тактовий сигнал SPI
CS	MicroSD Card Module	SPI CS	Вибір модуля пам'яті
D0	Релейний модуль, канал 1 (IN1)	GPIO	Керування нагрівачем
D1	Релейний модуль, канал 2 (IN2)	GPIO	Керування ультразвуковим зволожувачем
D2	MOSFET-модуль (Q2)	PWM / GPIO	Керування вентилятором циркуляції
D3	Сервопривід SG90	PWM	Керування положенням повітряної заслінки
D4	Кнопка S1	GPIO + INPUT_PULLUP	Перехід між пунктами меню
D5	Кнопка S2	GPIO + INPUT_PULLUP	Збільшення значення параметра
D6	Кнопка S3	GPIO + INPUT_PULLUP	Зменшення значення параметра
D7	Кнопка S4	GPIO + INPUT_PULLUP	Підтвердження вибору

Для архівування результатів вимірювань використовується модуль карти пам'яті microSD, який підключений до мікроконтролера через інтерфейс SPI. Застосування карти пам'яті дозволяє зберігати журнал вимірювань

температури, вологості та концентрації вуглекислого газу, а також реєструвати події, пов'язані зі зміною режимів роботи системи.

Відображення поточних параметрів середовища здійснюється за допомогою OLED-дисплея SSD1306. На дисплей виводяться значення температури, відносної вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, поточний час, а також інформація про стан виконавчих механізмів та аварійні повідомлення.

Для підтримання необхідного мікроклімату камери дозрівання сирів система керує нагрівачем, вентилятором циркуляції повітря, ультразвуковим зволожувачем та повітряною заслінкою.

Керування вентилятором здійснюється через MOSFET-транзистор Q2. Для обмеження імпульсного струму заряджання затвора використано резистор R2 номіналом 150 Ом. Резистор R3 номіналом 10 кОм забезпечує підтягування затвора до землі та запобігає випадковому відкриванню транзистора під час запуску системи. Для захисту від імпульсів самоіндукції паралельно навантаженню встановлено діод Шоттки D1 типу 1N5817.

Керування нагрівачем та ультразвуковим зволожувачем виконується за допомогою двоканального релейного модуля. Контакти реле забезпечують комутацію силових навантажень без безпосереднього підключення їх до мікроконтролера. Такий спосіб підключення підвищує надійність системи та забезпечує електричну ізоляцію між логічною та силовою частинами схеми.

Для регулювання повітрообміну використовується сервопривід SG90, який змінює положення повітряної заслінки залежно від режиму роботи системи. Керування сервоприводом здійснюється за допомогою PWM-сигналу, сформованого мікроконтролером [9].

Локальне налаштування параметрів системи здійснюється за допомогою чотирьох кнопок керування. Вони забезпечують навігацію по меню, зміну встановлених значень та підтвердження вибору користувача. Для спрощення схеми використано внутрішні підтягувальні резистори мікроконтролера.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Живлення системи організовано від декількох джерел напруги. Цифрові модулі та мікроконтролер живляться від джерел 3,3 В та 5 В. Вентилятор циркуляції та нагрівач працюють від джерела напруги 12 В. Для живлення ультразвукового зволожувача використовується окреме джерело напруги 24 В. У силовому колі встановлено плавкий запобіжник F1, який забезпечує захист обладнання від перевантажень та коротких замикань. Для коректної роботи всіх пристроїв використовується спільна шина землі. Адреси пристроїв, підключених до шини I<sup>2</sup>C, наведено в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Адреси пристроїв на шині I<sup>2</sup>C

Пристрій	Адреса I <sup>2</sup> C	Призначення
SHT31-D	0x44	Вимірювання температури та вологості
SCD41	0x62	Вимірювання концентрації CO <sub>2</sub>
DS3231	0x68	Формування дати та часу
SSD1306 OLED	0x3C	Відображення інформації

Перелік допоміжних компонентів, використаних під час побудови електричної принципової схеми, наведено в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Допоміжні компоненти електричної схеми

Компонент	Призначення	Номінал
R4, R5	Підтягування ліній SDA та SCL	4,7 кОм
R2	Обмеження струму затвора MOSFET	150 Ом
R3	Підтягування затвора MOSFET до землі	10 кОм
D1	Захист від імпульсів самоіндукції	1N5817
F1	Захист силового кола	Плавкий запобіжник
Клемні колодки	Підключення зовнішніх пристроїв	За схемою
Конденсатори фільтрації	Стабілізація живлення	0,1–1000 мкФ

Розроблена електрична принципова схема забезпечує підключення всіх інформаційних, керуючих та силових елементів системи, підтримує необхідний рівень електричної безпеки, створює умови для автоматичного

регулювання параметрів мікроклімату камери дозрівання сирів та забезпечує надійне функціонування системи впродовж тривалого часу.

## 2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення

Для розроблення програмного забезпечення комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів доцільно використати середовище Arduino IDE або PlatformIO. Обидва середовища підтримують мікроконтролер ESP32, мають значну кількість готових бібліотек та дозволяють реалізувати роботу з датчиками, дисплеєм, модулем microSD, годинником реального часу та платформою Blynk.

Програмне забезпечення системи повинно забезпечувати циклічне зчитування даних з датчиків, обробку отриманих значень, порівняння параметрів із заданими межами, керування виконавчими механізмами, відображення інформації на локальному дисплеї, архівування результатів вимірювань та передавання даних у мобільний застосунок.

До складу програмного забезпечення доцільно включити такі функціональні модулі:

- модуль зчитування даних з датчиків температури, вологості, CO<sub>2</sub> та рН;
- модуль перевірки коректності та фільтрації вимірювань;
- модуль порівняння параметрів із заданими технологічними межами;
- модуль керування виконавчими механізмами;
- модуль локального відображення інформації на OLED-дисплеї;
- модуль запису даних на microSD-карту;
- модуль синхронізації часу з використанням DS3231;
- модуль взаємодії з платформою Blynk;
- модуль обробки аварійних станів та формування повідомлень.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Керування виконавчими механізмами виконується на основі результатів аналізу поточних параметрів середовища. У разі зниження температури нижче встановленого порогу система вмикає РТС-нагрівач. При зниженні вологості активується ультразвуковий зволожувач. Якщо концентрація CO<sub>2</sub> перевищує допустиме значення, контролер вмикає вентилятор та змінює положення повітряної заслінки за допомогою сервопривода.

Для реалізації віддаленого моніторингу використовується платформа Blynk. Через віртуальні канали до мобільного застосунку передаються поточні значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, рН, стан виконавчих механізмів та аварійні повідомлення. Це дозволяє оператору контролювати процес дозрівання сирів дистанційно та своєчасно реагувати на відхилення параметрів від заданих значень.

Запис даних на microSD-карту виконується з використанням часових міток, сформованих модулем DS3231. До журналу доцільно записувати дату і час вимірювання, значення контрольованих параметрів, стан виконавчих механізмів та інформацію про аварійні події. Наявність журналу дозволяє аналізувати стабільність процесу дозрівання та виявляти можливі порушення технологічного режиму [10].

Вибраний підхід до побудови програмного забезпечення дозволяє реалізувати модульну архітектуру системи, спростити налагодження окремих програмних частин та забезпечити можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи.

					<i>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Розробка алгоритму роботи системи

Для забезпечення автоматизованого контролю процесу дозрівання сирів було розроблено алгоритм функціонування комп'ютерної системи моніторингу і контролю параметрів середовища. Основною метою алгоритму є забезпечення безперервного контролю температури, відносної вологості повітря, концентрації вуглекислого газу та кислотності зразків продукції, а також автоматичне керування виконавчими механізмами для підтримання необхідних технологічних режимів.

Робота системи починається з ініціалізації апаратних та програмних компонентів. На цьому етапі здійснюється запуск мікроконтролера ESP32, налаштування інтерфейсів I<sup>2</sup>C та SPI, ініціалізація датчиків SHT31-D, SCD41, модуля годинника реального часу DS3231, OLED-дисплея, модуля microSD та бездротового з'єднання Wi-Fi. Після завершення ініціалізації система переходить у режим циклічного виконання основного алгоритму роботи.

На першому етапі циклу виконується зчитування поточних значень температури та відносної вологості повітря з датчика SHT31-D, концентрації вуглекислого газу з датчика SCD41, а також значення кислотності з аналогового датчика рН. Після отримання результатів проводиться перевірка коректності вимірювань та їх подальша обробка.

Наступним етапом є аналіз отриманих параметрів та їх порівняння із заданими користувачем технологічними межами. У випадку відхилення температури від встановленого діапазону система формує керуючий сигнал для вмикання або вимикання нагрівача. Якщо відносна вологість повітря стає нижчою за встановлене значення, активується ультразвуковий зволожувач.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Лесюк О. З.			<b>Практична частина</b>	<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Перевірів		Приймак М.В.					41	20
Реценз.						<b>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</b>		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

При перевищенні допустимої концентрації вуглекислого газу система збільшує інтенсивність вентиляції та відкриває повітряну заслінку за допомогою сервопривода [11].

Для наочного представлення послідовності виконання основних операцій розроблено блок-схему загального алгоритму функціонування системи, наведену на рис. 3.1.

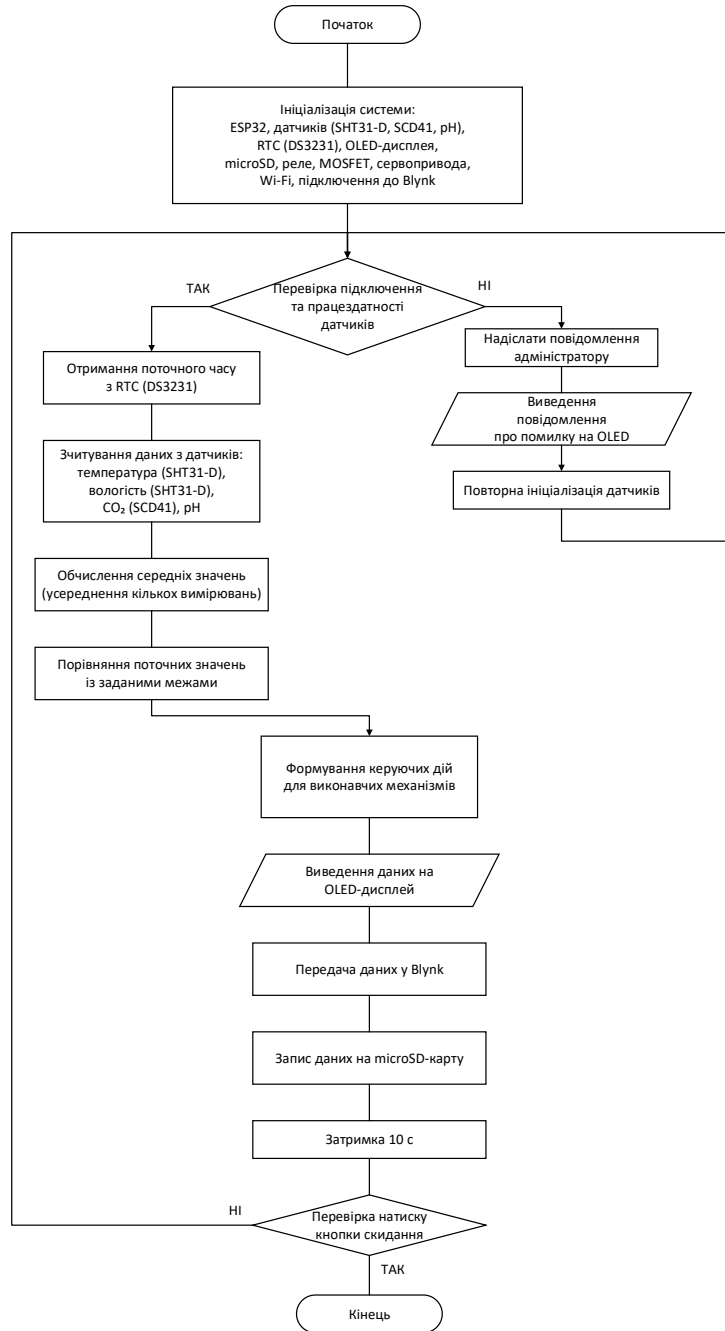


Рисунок 3.1 – Блок-схема загального алгоритму роботи комп’ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після виконання керуючих дій система оновлює інформацію на OLED-дисплеї. На екрані відображаються поточні значення контрольованих параметрів, стан виконавчих механізмів, дата та час, а також інформація про наявність аварійних ситуацій.

Одночасно з локальним відображенням інформації виконується передавання даних до мобільного застосунку Blynk через бездротову мережу Wi-Fi. Це забезпечує можливість віддаленого моніторингу технологічного процесу та оперативного отримання повідомлень про відхилення параметрів від заданих значень.

Для забезпечення можливості подальшого аналізу процесу дозрівання результати вимірювань періодично записуються на карту пам'яті microSD. До журналу заносяться дата та час вимірювання, значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, кислотності та стан виконавчих механізмів.

Вимірювання кислотності здійснюється періодично оператором для відібраних зразків сиру за допомогою рН-модуля та використовується як додатковий показник контролю перебігу процесу дозрівання. Отримані дані використовуються для оцінювання поточного стану середовища камери дозрівання та прийняття рішень щодо керування виконавчими механізмами.

Логіка прийняття рішень щодо керування нагрівачем, зволожувачем, вентилятором та сервоприводом заслінки наведена на блок-схемі алгоритму керування виконавчими механізмами (рис. 3.2).

У разі виникнення аварійної ситуації, зокрема виходу контрольованих параметрів за допустимі межі або втрати зв'язку з датчиками, система формує попереджувальне повідомлення та активує звуковий сигналізатор. Інформація про аварію одночасно відображається на дисплеї та передається до мобільного застосунку.

Для реалізації функцій віддаленого моніторингу та архівування даних використовується окремий алгоритм взаємодії з платформою Blynk та модулем microSD, блок-схему якого наведено на рис. 3.3.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

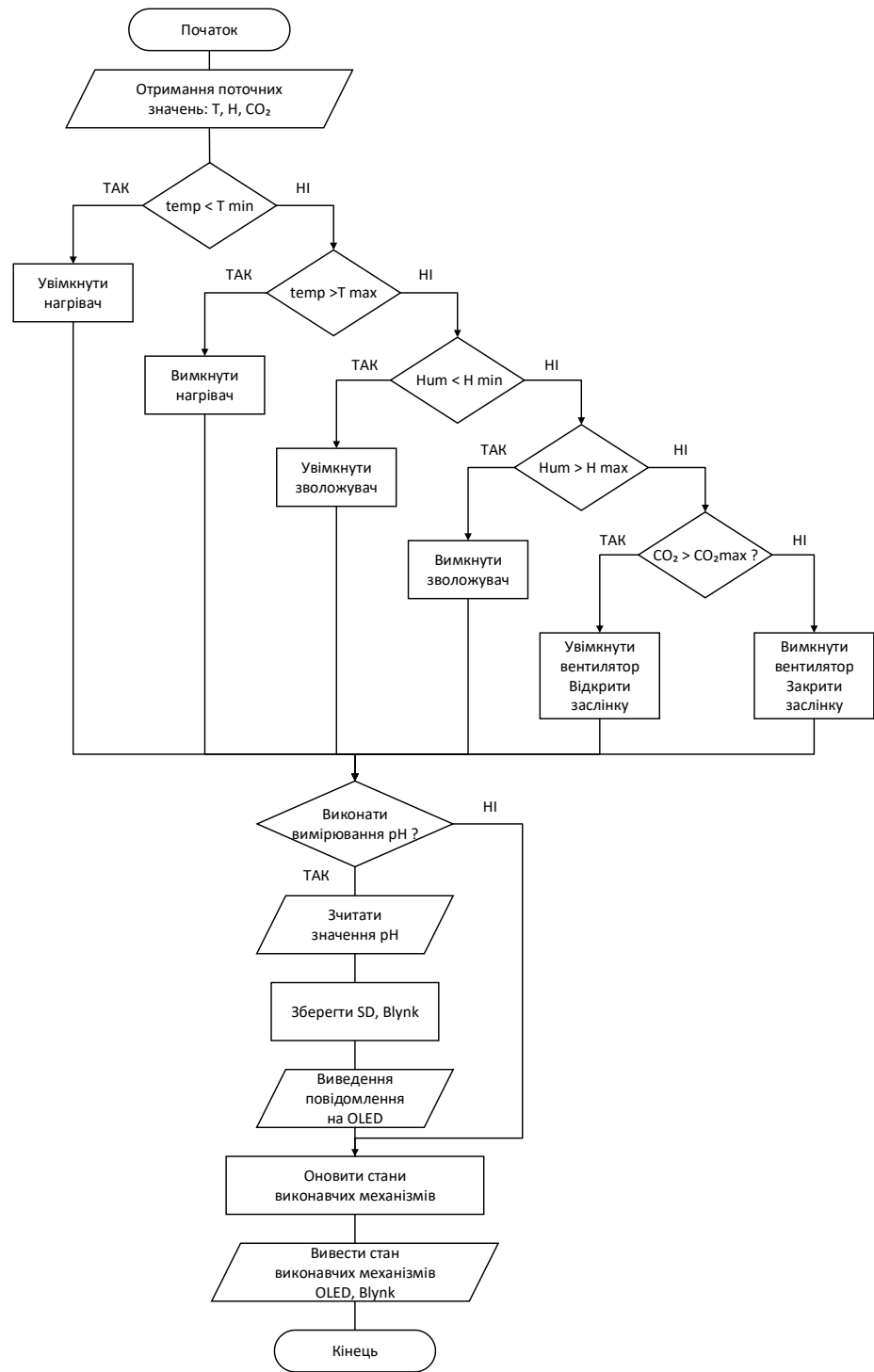


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму керування виконавчими механізмами

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

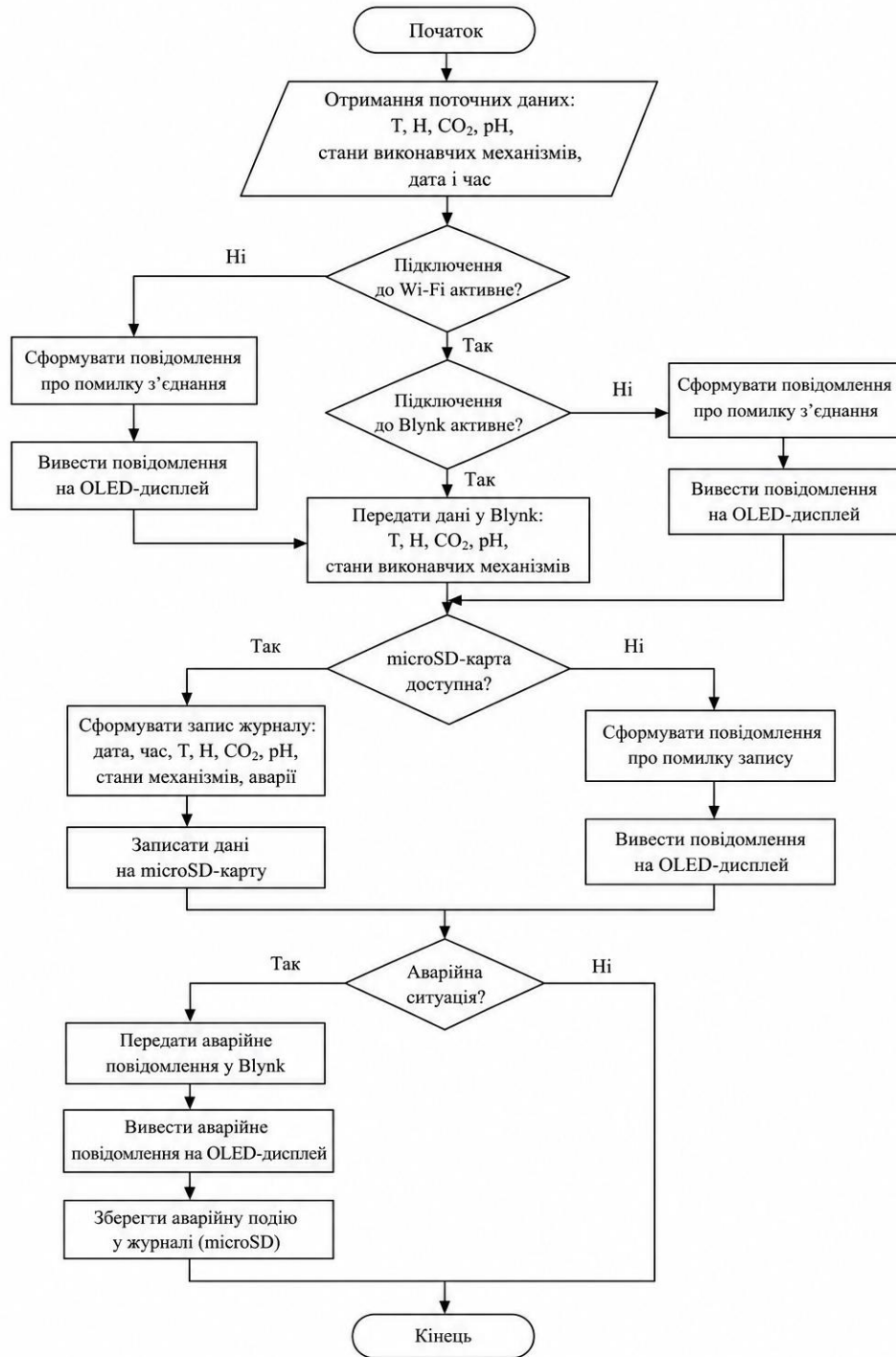


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму віддаленого моніторингу та архівування даних

Після завершення всіх операцій цикл роботи повторюється через заданий інтервал часу, що забезпечує безперервний моніторинг стану камери дозрівання та автоматичне підтримання необхідних умов технологічного процесу.

### 3.2 Реалізація програмного забезпечення системи

На початку програми підключаються бібліотеки, необхідні для роботи з інтерфейсами, датчиками, дисплеєм, картою пам'яті, сервоприводом та платформою Blynk.

Бібліотека `Wire` використовується для роботи з пристроями, підключеними до шини I<sup>2</sup>C. Бібліотеки `SPI` та `SD` забезпечують запис даних на microSD-карту. Бібліотека `BlynkSimpleEsp32` використовується для передавання параметрів у мобільний застосунок. Бібліотеки `Adafruit_SHT31`, `SensirionI2CScd4x`, `RTCLib`, `Adafruit_SSD1306` та `Servo` забезпечують роботу з відповідними апаратними модулями системи.

Для підключення виконавчих механізмів, кнопок керування, рН-модуля та microSD-карти в програмі задаються відповідні виводи ESP32.

```
#define SD_CS_PIN      13
#define FAN_PIN        25
#define HEATER_PIN     26
#define HUMIDIFIER_PIN 27
#define SERVO_PIN      14
#define BUZZER_PIN     32
#define BTN_MODE       33
#define BTN_UP         16
#define BTN_DOWN       17
#define BTN_OK         4
#define PH_PIN         34
```

Вивід `FAN_PIN` використовується для керування MOSFET-ключем вентилятора, `HEATER_PIN` та `HUMIDIFIER_PIN` — для керування каналами релейного модуля, `SERVO_PIN` — для формування PWM-сигналу сервопривода заслінки. Вивід `PH_PIN` використовується як аналоговий вхід для періодичного зчитування сигналу рН-модуля.

Для збереження поточних параметрів середовища та станів виконавчих механізмів у програмі використовуються змінні `temperature`, `humidity`, `co2` та `phValue` містять результати вимірювань. Змінні `heaterState`, `humidifierState` і `fanState` відображають стан виконавчих механізмів. Значення `damperClosed` та `damperOpened` задають кути положення повітряної заслінки.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для спрощення експлуатації системи в програмі реалізовано режим вибору виду сиру.

Наприклад для Голандського сиру, згідно з технологічною картою, процес дозрівання триває близько 60 діб і включає стадії обсушування, інтенсивного дозрівання, формування смаку та завершального дозрівання. На кожній стадії система повинна підтримувати відповідні межі температури та вологості.

Таблиця 3.1 – Технологічний сценарій дозрівання Голландського сиру

Стадія	Період, доба	Температура, °C	Вологість, %	Особливості контролю
Обсушування	1–5	10–12	75–80	Формування сухої скоринки, помірна вентиляція
Інтенсивне дозрівання	6–30	12–15	85–90	Активне формування смаку та аромату, стабільна вологість
Формування смаку та обробка	31–45	10–12	80–85	Зменшення інтенсивності повітрообміну, захист від пересихання
Завершальне дозрівання	46–60	10–12	80–85	Стабілізація властивостей продукту, підтримання сталого режиму

Для реалізації такого сценарію в програмі можна використати структуру RipeningStage, яка містить назву стадії, початкову та кінцеву добу, а також допустимі межі температури і вологості.

```
struct RipeningStage {
    const char* stageName;
    int dayStart;
    int dayEnd;
    float Tmin;
    float Tmax;
    float Hmin;
    float Hmax;
};

RipeningStage hollandScenario[] = {
    {"Drying",      1,  5, 10.0, 12.0, 75.0, 80.0},
    {"Intensive",   6, 30, 12.0, 15.0, 85.0, 90.0},
    {"TasteForm",  31, 45, 10.0, 12.0, 80.0, 85.0},
    {"Final",       46, 60, 10.0, 12.0, 80.0, 85.0}
};
```

У процесі роботи програма визначає поточну добу дозрівання та автоматично вибирає відповідну стадію технологічного сценарію. Після цього межі температури та вологості переносяться у робочі змінні системи.

```
void applyHollandStage(int currentDay) {
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        if (currentDay >= hollandScenario[i].dayStart &&
            currentDay <= hollandScenario[i].dayEnd) {
            Tmin = hollandScenario[i].Tmin;
            Tmax = hollandScenario[i].Tmax;
            Hmin = hollandScenario[i].Hmin;
            Hmax = hollandScenario[i].Hmax;
            return;
        }
    }
}
```

Функція `applyHollandStage()` дозволяє автоматично змінювати параметри роботи системи залежно від поточного етапу дозрівання. Наприклад, у перші дні після виймання з розсолу система підтримує нижчу вологість для обсушування поверхні сиру. Під час інтенсивного дозрівання встановлюється вища вологість, що сприяє формуванню смакових і ароматичних властивостей. На завершальних етапах система переходить до стабільного режиму підтримання температури 10–12 °C і вологості 80–85 %.

Такий підхід підвищує зручність експлуатації системи, оскільки оператору достатньо вибрати профіль Голландського сиру та вказати початок циклу дозрівання. Надалі система автоматично змінює уставки температури й вологості відповідно до технологічної карти.

Ініціалізація основних модулів виконується у функції `setup()`. У функції `setup()` налаштовуються виводи, вимикаються виконавчі механізми після запуску, ініціалізуються шини I<sup>2</sup>C та SPI, запускаються датчики, дисплей, microSD-карта, сервопривід і підключення до Blynk. Також застосовується початковий профіль дозрівання сиру.

Перевірка працездатності основних датчиків виконується окремою функцією `checkSensors()`.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

```

bool checkSensors() {
    bool shtOk = sht31.begin(0x44);
    bool rtcOk = rtc.begin();

    uint16_t error = scd4x.startPeriodicMeasurement();
    bool scdOk = (error == 0);

    if (!shtOk || !rtcOk || !scdOk) {
        alarmState = true;
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
        return false;
    }

    alarmState = false;
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    return true;
}

```

Функція `checkSensors()` перевіряє доступність датчика температури та вологості, датчика CO<sub>2</sub> і модуля реального часу. Якщо хоча б один модуль не відповідає, система переходить в аварійний стан і активує звуковий сигналізатор.

Зчитування основних параметрів середовища реалізовано у функції `readSensors()`.

```

void readSensors() {
    temperature = sht31.readTemperature();
    humidity = sht31.readHumidity();

    uint16_t co2ppm;
    float tempScd;
    float humScd;

    uint16_t error = scd4x.readMeasurement(co2ppm, tempScd,
humScd);

    if (error == 0 && co2ppm > 0) {
        co2 = co2ppm;
    }
}

```

Датчик SHT31-D використовується для отримання температури та відносної вологості. Датчик SCD41 повертає концентрацію CO<sub>2</sub> у ppm. Отримані значення використовуються у функції керування виконавчими механізмами, передаються на дисплей, у Blynk та записуються до журналу.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кислотність сиру не вимірюється безперервно в камері, тому зчитування рН реалізовано окремою функцією, яка викликається після вибору відповідного пункту меню або натискання кнопки.

```
void readPH() {  
    int adcValue = analogRead(PH_PIN);  
    float voltage = adcValue * (3.3 / 4095.0);  
  
    pHValue = 7.0 + ((2.5 - voltage) / 0.18);  
}
```

У функції readPH() значення з аналогового входу ESP32 перетворюється у напругу, після чого розраховується приблизне значення рН. Остаточна формула повинна бути уточнена після калібрування рН-модуля за стандартними буферними розчинами. Значення рН використовується як додатковий контрольний показник і не бере участі у безпосередньому керуванні нагрівачем, зволожувачем або вентилятором.

Керування виконавчими механізмами реалізовано у функції controlActuators(). Функція controlActuators() порівнює поточні значення температури, вологості та CO<sub>2</sub> з межами, встановленими активним профілем сиру. При зниженні температури вмикається РТС-нагрівач, а при перевищенні верхньої межі він вимикається. При недостатній вологості активується ультразвуковий зволожувач. При перевищенні допустимого рівня CO<sub>2</sub> вмикається вентилятор і відкривається повітряна заслінка.

Для зменшення кількості перемикачів релейного модуля в програмі може використовуватися гістерезис.

```
float Thyst = 0.5;  
  
void controlHeater() {  
    if (temperature < Tmin - Thyst) {  
        heaterState = true;  
        digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH);  
    }  
    else if (temperature > Tmax + Thyst) {  
        heaterState = false;  
        digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);  
    }  
}
```

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гістерезис запобігає частому вмиканню та вимиканню нагрівача при незначних коливаннях температури поблизу заданих меж. Аналогічний підхід може бути застосований для керування зволожувачем.

Виведення параметрів на OLED-дисплей реалізовано у функції `updateDisplay()`. На OLED-дисплей виводяться вибраний вид сиру, поточні значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, значення рН після проведення вимірювання, а також стан нагрівача і вентилятора. У разі аварійної ситуації на дисплеї відображається повідомлення ALARM.

Передавання даних у мобільний застосунок реалізовано за допомогою віртуальних каналів Blynk. Реалізовано в функції `sendToBlynk()`

Через Blynk оператор отримує інформацію про вибраний вид сиру, поточні параметри середовища, значення рН та стан виконавчих механізмів. У разі аварійного стану система формує повідомлення для оператора.

Архівування результатів вимірювань реалізовано шляхом запису даних на microSD-карту у форматі CSV (функція `logToSD()`). До журналу записуються дата і час вимірювання, вибраний профіль сиру, значення температури, вологості, CO<sub>2</sub>, рН, стани виконавчих механізмів та аварійний стан. Такий формат дозволяє надалі аналізувати зміну параметрів середовища протягом усього періоду дозрівання.

Обробка кнопок локального керування реалізована у функції `readButtons()`. Кнопка MODE використовується для переходу до вибору виду сиру, а кнопка ОК може запускати періодичне вимірювання рН. У повній версії програми кнопки UP і DOWN використовуються для зміни вибраного профілю або значень налаштувань, залежно від активного режиму меню.

Перевірка аварійних ситуацій реалізована у функції `checkAlarm()`. Функція `checkAlarm()` контролює критичні відхилення параметрів середовища від технологічних меж вибраного профілю. Якщо температура, вологість або концентрація CO<sub>2</sub> виходять за допустимі критичні значення, вмикається звуковий сигналізатор, а інформація про аварію передається на дисплей, у Blynk та записується до журналу.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблене програмне забезпечення реалізує основні функції комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів: вибір технологічного профілю, автоматичне підтримання параметрів середовища, періодичний контроль кислотності, локальне та віддалене відображення даних, архівування результатів вимірювань і формування повідомлень про аварійні ситуації.

### 3.3 Реалізація експериментального зразка та тестування системи

Для перевірки працездатності розроблених апаратних і програмних рішень було реалізовано експериментальний зразок комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів. Макет системи зібрано на макетних платах із використанням мікроконтролера ESP32, цифрових датчиків параметрів середовища, OLED-дисплея, модуля microSD, релейного модуля, MOSFET-ключа, сервопривода, кнопок локального керування та звукового сигналізатора. Загальний вигляд експериментального зразка системи наведено на рис. 3.4.

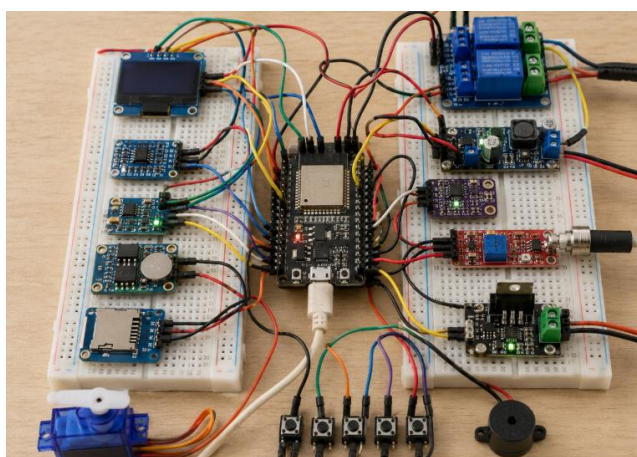


Рисунок 3.4 – Експериментальний зразок комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів

Під час складання макета основну увагу було приділено перевірці правильності підключення інформаційних, керуючих та силових кіл. На одній

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

макетній платі розміщено цифрові датчики, OLED-дисплей, модуль годинника реального часу DS3231 та модуль microSD. На іншій макетній платі розміщено релейний модуль, MOSFET-ключ, кнопки локального керування, сервопривід і звуковий сигналізатор. Такий поділ дозволив відокремити інформаційну частину системи від вузлів керування виконавчими механізмами.

На етапі тестування перевірено роботу режиму вибору технологічного профілю сиру. Для цього в програмі було активовано профіль Голландського сиру, який передбачає поетапну зміну параметрів дозрівання залежно від поточної доби технологічного циклу. Було перевірено, що система автоматично вибирає відповідну стадію дозрівання, встановлює необхідні межі температури та вологості, а також використовує їх під час керування виконавчими механізмами.

Перевірка локального інтерфейсу показала, що кнопки MODE, UP, DOWN та OK забезпечують навігацію між режимами роботи, вибір профілю сиру та запуск періодичного вимірювання рН. На OLED-дисплей виводяться поточні значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, значення рН після проведення вимірювання, стан виконавчих механізмів та аварійні повідомлення. Приклад відображення поточних показників датчиків на OLED-дисплеї наведено на рис. 3.5.

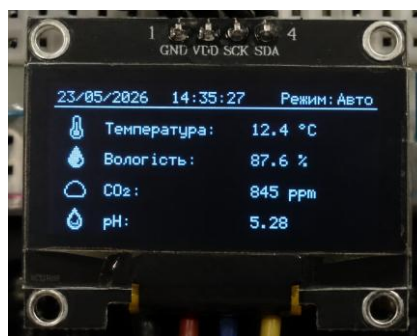


Рисунок 3.5 – Відображення поточних параметрів середовища на OLED-дисплеї

Для контролю роботи виконавчих механізмів у системі передбачено окремий екран, на якому відображається стан нагрівача, зволожувача,

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентилятора та положення повітряної заслінки. Приклад такого екрана наведено на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Відображення стану виконавчих механізмів системи

Локальне керування системою здійснюється через меню OLED-дисплея. У ньому передбачено перехід до налаштувань, вибір технологічної карти сиру, перегляд стану датчиків і стану виконавчих механізмів. Загальний вигляд базового меню наведено на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Базове меню керування системою

Після входу до пункту вибору технологічної карти оператор може обрати один із доступних профілів дозрівання сиру. Приклад екрана вибору технологічної карти наведено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Екран вибору технологічної карти сиру

Після вибору конкретного виду сиру система відображає основні параметри технологічної карти: температуру, вологість, тривалість дозрівання та опис профілю. На цьому ж екрані передбачено запуск циклу дозрівання. Приклад екрана перегляду технологічної карти наведено на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Перегляд технологічної карти сиру та запуск процесу

У процесі роботи система відображає поточний етап дозрівання. Для Голландського сиру на дисплей виводиться назва сиру, назва активної стадії, поточний день циклу та графічний індикатор виконання. Приклад такого екрана наведено на рис. 3.10.

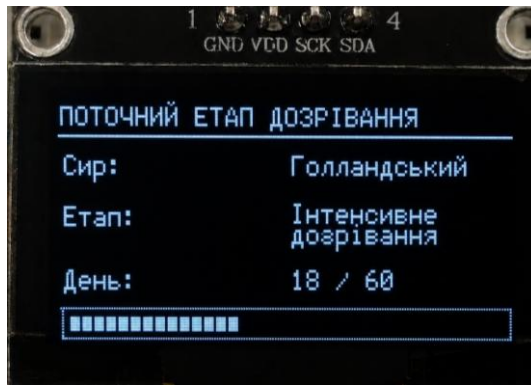


Рисунок 3.10 – Відображення поточного етапу дозрівання сиру

Оскільки кислотність сиру контролюється періодично, для цього передбачено окремий екран вимірювання рН. На ньому відображається поточне значення кислотності та допустимий діапазон для вибраної технологічної карти. Приклад екрана вимірювання рН наведено на рис. 3.11.



Рисунок 3.11 – Екран періодичного вимірювання кислотності рН

Для аналізу зміни параметрів упродовж технологічного циклу система може виводити графік архівних даних. На рис. 3.12 наведено приклад перегляду графіка температури за даними, збереженими на microSD-карті.



Рисунок 3.12 – Перегляд графіка температури за архівними даними

У разі перевищення допустимого рівня концентрації CO<sub>2</sub> система формує аварійне повідомлення, активує вентиляцію та виводить відповідну інформацію на дисплей. Приклад аварійного екрана наведено на рис. 3.13.



Рисунок 3.13 – Аварійне повідомлення при перевищенні концентрації CO<sub>2</sub>

Також передбачено контроль працездатності датчиків. Якщо зв'язок із датчиком температури та вологості втрачено, система переходить в аварійний режим і виводить повідомлення про необхідність перевірки підключення. Приклад такого повідомлення наведено на рис. 3.14.



Рисунок 3.14 – Повідомлення про помилку підключення датчика температури та вологості

Після завершення технологічного циклу система виводить повідомлення про закінчення дозрівання. Приклад екрана завершення циклу наведено на рис. 3.15.



Рисунок 3.15 – Повідомлення про завершення циклу дозрівання сиру

Тестування алгоритму керування температурою виконувалося шляхом зміни поточного значення температури відносно заданого діапазону. При зниженні температури нижче встановленої межі система активувала канал релейного модуля, що відповідає за вмикання РТС-нагрівача. При перевищенні верхньої межі температури нагрівач вимикався. Використання гістерезису дозволило уникнути частого перемикавання реле при незначних коливаннях показів датчика.

Тестування керування вологістю проводилося шляхом імітації зниження та підвищення відносної вологості відносно встановлених меж. При зниженні вологості система вмикала ультразвуковий зволожувач через другий канал релейного модуля. Після досягнення верхньої межі вологості зволожувач вимикався. Такий режим підтвердив працездатність алгоритму підтримання вологості в заданому технологічному діапазоні.

Перевірка алгоритму вентиляції виконувалася за показами датчика SCD41. При перевищенні заданого порогу концентрації CO<sub>2</sub> система вмикала вентилятор через MOSFET-ключ та відкривала повітряну заслінку за допомогою сервопривода SG90. Після зниження концентрації CO<sub>2</sub> вентилятор

вимикався, а заслінка поверталася у початкове положення. Це підтвердило працездатність вузла керування повітрообміном.

Окремо було перевірено роботу рН-модуля. Оскільки кислотність сиру не вимірюється безперервно в камері дозрівання, тестування виконувалося в режимі періодичного зчитування значення рН. Після запуску вимірювання система зчитувала аналоговий сигнал з рН-модуля, перетворювала його у розрахункове значення рН, виводила результат на дисплей, передавала його в Blynk та записувала до журналу.

Під час тестування функції архівування даних перевірено запис інформації на microSD-карту. До файлу журналу записувалися дата і час вимірювання, вибраний профіль сиру, значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, рН, стани виконавчих механізмів та аварійний стан. Запис у форматі CSV дозволяє відкривати отримані дані в табличному редакторі та аналізувати зміну параметрів упродовж технологічного циклу.

Віддалений моніторинг перевірявся за допомогою мобільного застосунку Blynk (рис. 3.6). У застосунок передавалися поточні значення температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, рН, вибраний профіль сиру та стани виконавчих механізмів. У разі виникнення аварійної ситуації система формувала повідомлення для оператора.



Рисунок 3.6 – Відображення параметрів системи у мобільному застосунку Blynk

Результати тестування основних функцій системи наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати тестування функцій системи

Функція системи	Очікуваний результат	Результат тестування
Зчитування температури та вологості	Отримання даних з SHT31-D	Дані зчитуються коректно
Зчитування концентрації CO <sub>2</sub>	Отримання значення у ppm з SCD41	Дані зчитуються коректно
Періодичне вимірювання рН	Зчитування аналогового сигналу рН-модуля	Значення рН відображається та записується
Вибір профілю сиру	Автоматичне встановлення меж параметрів	Профіль застосовується коректно
Керування нагрівачем	Увімкнення при зниженні температури	Релейний канал спрацьовує
Керування зволожувачем	Увімкнення при зниженні вологості	Релейний канал спрацьовує
Керування вентиляцією	Увімкнення вентилятора при перевищенні CO <sub>2</sub>	MOSFET-ключ спрацьовує
Керування заслінкою	Зміна положення сервопривода	Сервопривід змінює положення
Виведення даних на OLED	Відображення параметрів і станів	Дані відображаються коректно
Передавання даних у Blynk	Віддалене відображення параметрів	Дані передаються коректно
Запис на microSD	Формування журналу вимірювань	Файл журналу створюється
Аварійна сигналізація	Вмикання бузера та повідомлення	Аварійний режим спрацьовує

Проведене тестування показало, що експериментальний зразок системи коректно виконує основні функції моніторингу та керування. Система забезпечує зчитування параметрів середовища, вибір технологічного профілю дозрівання сиру, автоматичне керування нагрівачем, зволожувачем, вентилятором і сервоприводом заслінки, локальне відображення інформації, передавання даних у мобільний застосунок та архівування результатів вимірювань.

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Надзвичайні ситуації, викликані пожежами, вибухами, техногенними та природними причинами

Процес дозрівання сирів здійснюється у спеціалізованих камерах або приміщеннях, де підтримуються визначені параметри температури, відносної вологості повітря, вентиляції та газового складу середовища. Порухення нормального функціонування таких систем унаслідок надзвичайних ситуацій може призвести до псування продукції, значних матеріальних збитків, виникнення небезпеки для персоналу та порушення технологічного процесу.

Надзвичайні ситуації, які можуть виникати на підприємствах молочної промисловості та в приміщеннях дозрівання сирів, поділяються на техногенні та природні. До природних надзвичайних ситуацій належать небезпечні метеорологічні явища, сильні зливи, буревії, снігопади, підтоплення територій, а також інші природні фактори, що можуть спричинити перебої в електропостачанні, пошкодження будівель або порушення роботи інженерних систем [14].

Техногенні надзвичайні ситуації пов'язані з експлуатацією обладнання та інженерних мереж підприємства. Для камер дозрівання сирів найбільш характерними є:

- пожежі в електротехнічному обладнанні;
- короткі замикання в електромережах;
- аварії систем вентиляції та кондиціонування;
- відмова холодильного обладнання;
- аварійне припинення електропостачання;
- пошкодження водопровідних мереж та затоплення приміщень;

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Лесюк О. З.			<b>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		Приймак М.В.					61	5
<i>Консульт.</i>						<b>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</b>		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

- руйнування технологічного обладнання;
- витoki холодоагентів холодильних установок.

Особливу небезпеку становлять пожежі, оскільки приміщення дозрівання сирів обладнуються значною кількістю електронних пристроїв, системами вентиляції, холодильними агрегатами та силовими електричними мережами. Основними причинами виникнення пожеж можуть бути перевантаження електромережі, несправність електрообладнання, короткі замикання, пошкодження ізоляції кабелів або порушення правил експлуатації обладнання [15].

У разі виникнення пожежі можливі такі наслідки:

- пошкодження або знищення обладнання;
- псування продукції, що перебуває на дозріванні;
- порушення технологічного процесу;
- забруднення приміщення продуктами горіння;
- загроза життю та здоров'ю працівників;
- значні економічні збитки підприємству.

Важливим фактором безпеки є забезпечення безперервного контролю параметрів середовища в камерах дозрівання сирів. Різке підвищення температури внаслідок відмови холодильного обладнання або пожежі може призвести до втрати якості продукції. Аналогічно вихід за допустимі межі вологості здатний спричинити розвиток небажаної мікрофлори та псування сирів.

Розроблена комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів дозволяє своєчасно виявляти відхилення параметрів мікроклімату від установлених значень, формувати аварійні повідомлення та передавати інформацію оператору. Це сприяє оперативному реагуванню на потенційно небезпечні ситуації та зменшує ризик виникнення аварійних наслідків.

Питання захисту від надзвичайних ситуацій регламентуються Кодексом цивільного захисту України, Законом України «Про охорону праці», Законом

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

України «Про пожежну безпеку», а також чинними державними будівельними нормами та правилами пожежної безпеки. Зокрема, для виробничих приміщень повинні бути передбачені засоби пожежогасіння, системи оповіщення, евакуаційні виходи та заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації технологічного обладнання.

#### 4.2 Організація безпечної роботи електроустановок

Комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів використовує комплекс електротехнічного та електронного обладнання, до складу якого входять мікроконтролер ESP32-S3, датчики температури та вологості, датчик концентрації вуглекислого газу, датчик кислотності середовища, модуль годинника реального часу DS3231, OLED-дисплей, а також виконавчі механізми керування мікрокліматом камери дозрівання. Безпечна експлуатація цього обладнання є необхідною умовою надійного функціонування системи та забезпечення безпеки персоналу.

Організація безпечної роботи електроустановок здійснюється відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та інших нормативних документів у галузі електробезпеки.

Основна частина електронних компонентів системи працює від безпечної низької напруги 3,3 В та 5 В, що значно знижує ризик ураження електричним струмом. Водночас виконавчі механізми системи, зокрема вентилятори, зволожувачі, осушувачі та холодильні агрегати, можуть живитися від мережі змінного струму напругою 220 В, що потребує дотримання додаткових заходів електробезпеки [16].

Для захисту персоналу та обладнання необхідно передбачити:

- використання автоматичних вимикачів для захисту від коротких замикань та перевантажень;
- встановлення пристроїв захисного вимкнення;

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконання захисного заземлення металевих корпусів обладнання;
- використання сертифікованих блоків живлення із захистом від перенапруги;
- застосування кабельної продукції відповідного перерізу та ступеня ізоляції.

Особливістю приміщень дозрівання сирів є підвищена відносна вологість повітря, яка залежно від технології може досягати 80–95 %. За таких умов підвищується ймовірність утворення конденсату на поверхнях обладнання, що може призвести до погіршення ізоляційних властивостей та виникнення коротких замикань. Тому електронні модулі повинні розміщуватися у захищених корпусах зі ступенем захисту не нижче IP54, а монтажні з'єднання мають бути захищені від впливу вологи.

Перед введенням системи в експлуатацію проводиться перевірка правильності монтажу, надійності контактних з'єднань, стану ізоляції провідників, а також працездатності захисних пристроїв. У процесі експлуатації необхідно виконувати регулярний огляд електрообладнання та контролювати стан кабельних ліній, блоків живлення, релейних модулів і виконавчих пристроїв.

Працівники, які здійснюють обслуговування системи, повинні пройти інструктаж з електробезпеки та охорони праці. Проведення ремонтних або налагоджувальних робіт допускається лише після відключення електроживлення та перевірки відсутності напруги на струмовідних частинах обладнання [17].

Для забезпечення безперервності технологічного процесу доцільним є використання джерел безперебійного живлення, які підтримують роботу контролера, засобів моніторингу та системи реєстрації даних під час короткочасних перебоїв електропостачання. Це дозволяє уникнути втрати інформації про параметри дозрівання сирів та забезпечує своєчасне реагування на аварійні ситуації.

Таким чином, дотримання вимог електробезпеки під час проектування та експлуатації комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів забезпечує надійну роботу обладнання, запобігає виникненню аварійних ситуацій та створює безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.

					<i>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						65
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розробку комп'ютерної системи моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів, призначеної для автоматизованого підтримання технологічних параметрів середовища у камерах дозрівання та забезпечення віддаленого моніторингу процесу.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу дозрівання твердих сирів та визначено основні параметри, що впливають на якість готової продукції. Встановлено, що для забезпечення стабільного процесу дозрівання необхідно контролювати температуру, відносну вологість повітря, концентрацію вуглекислого газу та кислотність зразків сиру.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано структуру комп'ютерної системи та здійснено вибір апаратних компонентів. Для реалізації системи використано мікроконтролер ESP32, датчик температури та вологості SHT31-D, датчик концентрації CO<sub>2</sub> SCD41, аналоговий рН-модуль, модуль годинника реального часу DS3231, OLED-дисплей, microSD-модуль, релейний модуль, MOSFET-ключ і сервопривід повітряної заслінки.

Розроблено структурну, електричну принципову схеми системи, визначено склад виконавчих механізмів та сформовано алгоритми взаємодії між окремими модулями. Для системи створено алгоритм моніторингу параметрів середовища, алгоритм керування виконавчими механізмами та алгоритм віддаленого моніторингу й архівування даних.

Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера ESP32, яке забезпечує автоматичне зчитування параметрів середовища, контроль кислотності, керування нагрівачем, зволожувачем, вентиляцією та повітряною заслінкою, архівування результатів вимірювань на microSD-карту та передавання даних до мобільного застосунку Blynk.

Особливістю розробленого програмного забезпечення є реалізація технологічних профілів дозрівання сирів. Для кожного виду сиру система автоматично встановлює необхідні межі температури та вологості відповідно

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до технологічної карти. Для Голландського сиру реалізовано поетапний сценарій дозрівання тривалістю 60 діб із автоматичною зміною параметрів на стадіях обсушування, інтенсивного дозрівання, формування смаку та завершального дозрівання.

Виготовлено експериментальний зразок системи та проведено його тестування. Результати випробувань підтвердили коректність роботи датчиків, стабільне функціонування алгоритмів керування виконавчими механізмами, працездатність режиму вибору технологічних профілів, правильність архівування даних на microSD-карту та можливість віддаленого моніторингу через платформу Blynk.

Проведене тестування показало, що система забезпечує підтримання заданих параметрів температури, вологості та концентрації CO<sub>2</sub>, своєчасно реагує на аварійні ситуації, формує повідомлення для оператора та веде журнал технологічних параметрів упродовж усього циклу дозрівання.

Отримані результати підтверджують працездатність запропонованих апаратних і програмних рішень та свідчать про можливість використання розробленої комп'ютерної системи для автоматизації процесу дозрівання сирів у невеликих виробничих та експериментальних камерах дозрівання.

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

2. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 150 с.

3. Демчан Н.І, Жаровський Р.О. Оцінка ефективності роботи програмно-апаратного комплексу контролю за вирощування рослин з урахуванням евапотранспирації. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (17-18 грудня 2025 року). Тернопіль: ТНТУ. 2025. 108-110 с.

4. Демчан Н.І, Жаровський Р.О. Методи та програмно апаратні засоби контролю за вирощування рослин з врахуванням евапотранспирації. Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції молодих учнів та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11-12 грудня 2025 року). Тернопіль: ТНТУ. 2025. 254-255 с.

5. Рожик А.М., Жаровський Р.О. Аналіз ефективності роботи адаптивної системи контролю доступу на основі нечіткої логіки. Матеріали наукової конференції ТНТУ. Тернопіль: ТНТУ, 2025. С. 12–13.

6. Рожик А.М., Жаровський Р.О. Методи та програмно-апаратні засоби ідентифікації працівників з метою визначення робочого часу та доступу до приміщення. Збірник тез доповідей науково-технічної конференції. Тернопіль: ТНТУ, 2025. С. 45.

7. Дячук О.А., Жаровський Р.О. Використання SDN для оптимізації передачі даних в комп'ютерних мережах. Матеріали XI науково-технічної

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конференції ТНТУ імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології». Тернопіль: ТНТУ, 2023. С. 149–150.

8. Дячук О.А., Жаровський Р.О. Управління потоком за критеріями доступності. Матеріали XI науково-технічної конференції ТНТУ імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології». Тернопіль: ТНТУ, 2023. С. 151.

9. Слюз І., Жаровський Р. Принципи та основні етапи комплексного тестування комп'ютерної інформаційної системи. Матеріали X науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 93.

10. Слюз І., Жаровський Р. Критерії ефективності тестування комп'ютерної інформаційної системи. Матеріали XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 174

11. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

12. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings. 2022. Vol. 3309. P. 194–204.

13. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings. 2023. Vol. 3628. P. 106–115.

14. Гура Л. О., Семенова О. В. Основи охорони праці та цивільного захисту. Київ: Центр учбової літератури, 2021. 256 с.

15. Желібо Є. П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2023. 344 с.

16. ДСТУ EN 50110–1:2014. Експлуатація електроустановок. Загальні вимоги. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc–page?id\\_doc=57260](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc–page?id_doc=57260) (дата звернення: 01.06.2025).

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1–1.21–98). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093–98> (дата звернення: 01.06.2025).

					<i>КС КРБ 123.182.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Додаток А  
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

**“Затверджую”**

Завідувач кафедри КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ  
ДОЗРІВАННЯ СИРІВ

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

*на 11 листках*

**Вид робіт:**

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

**Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»**

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-42

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Приймак М.В.

\_\_\_\_\_ Лесюк О. З.

“ 2 ” лютого 2026 р.

“ 2 ” лютого 2026 р.

**Тернопіль 2026**

## 1 Загальні відомості

### 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.182.00.00

### 1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Лесюк О. З.

### 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету № 4/9-188 від 24.04.2026 р.

### 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

### 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Проектована комп'ютерна система призначена для автоматизованого моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів у камері дозрівання.

Система повинна забезпечувати контроль основних параметрів середовища, що впливають на якість дозрівання сирів: температури повітря, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу та кислотності відібраних зразків сирної маси.

Система повинна виконувати автоматичне керування виконавчими механізмами для підтримання заданих технологічних параметрів, зокрема нагрівачем, зволожувачем, вентилятором та повітряною заслінкою. Також система повинна забезпечувати локальне відображення параметрів на дисплеї, архівування даних на microSD-карту та віддалений моніторинг через мобільний застосунок.

### 2.2 Мета створення системи

Метою створення комп'ютерної системи є підвищення стабільності та керованості процесу дозрівання сирів шляхом автоматизації контролю

параметрів мікроклімату, своєчасного виявлення відхилень від технологічного режиму та забезпечення віддаленого спостереження за станом камери дозрівання.

### 2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом автоматизації є камера дозрівання сирів, у якій розміщуються сирні головки впродовж технологічного циклу дозрівання. Процес дозрівання потребує підтримання визначених температурно-вологісних умов, контролю повітрообміну, концентрації CO<sub>2</sub> та періодичного контролю кислотності продукції.

## 3 Вимоги до системи

### 3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна забезпечувати автоматизований моніторинг параметрів середовища камери дозрівання сирів, підтримання заданих технологічних режимів, локальне та віддалене відображення інформації, архівування результатів вимірювань і формування аварійних повідомлень у разі відхилення параметрів від допустимих меж.

#### 3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

До складу системи повинні входити:

- мікроконтролер;
- датчик температури та вологості;
- датчик концентрації вуглекислого газу;
- рН-модуль для контролю кислотності відібраних зразків;
- модуль годинника реального часу;
- дисплей;

- модуль карти пам'яті microSD;
- вентилятор постійного струму;
- РТС-нагрівач;
- ультразвуковий зволожувач;
- сервопривід повітряної заслінки;
- кнопки локального керування;
- активний звуковий сигналізатор;
- джерела живлення відповідних рівнів напруги.

Система повинна здійснювати циклічне зчитування параметрів середовища, порівняння отриманих значень із заданими технологічними межами, формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів, виведення інформації на дисплей, запис даних до журналу та передавання параметрів у мобільний застосунок.

### 3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Обмін інформацією між компонентами системи повинен здійснюватися через апаратні інтерфейси мікроконтролера.

Для передачі даних повинні використовуватись:

- інтерфейс I<sup>2</sup>C;
- інтерфейс SPI для підключення модуля microSD;
- аналоговий вхід ADC для підключення рН-модуля;
- цифрові входи для кнопок локального керування;
- цифрові виходи та PWM-сигнали для керування релейним модулем, сервоприводом та звуковим сигналізатором;
- бездротовий інтерфейс Wi-Fi для передавання даних.

### 3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати такі режими функціонування:

- нормальний режим моніторингу параметрів середовища;
- режим вибору технологічної карти сиру;

- режим автоматичного підтримання температури;
- режим автоматичного підтримання вологості;
- режим керування вентиляцією за концентрацією CO<sub>2</sub>;
- режим періодичного вимірювання рН;
- режим архівування результатів вимірювань;
- режим віддаленого моніторингу;
- режим аварійного сповіщення;
- режим локального налаштування параметрів.

У разі виникнення аварійної ситуації система повинна сформувати повідомлення для користувача, активувати звуковий сигналізатор, відобразити попередження на дисплеї та передати аварійне повідомлення в мобільний застосунок.

#### 3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностування системи повинні використовуватися програмні засоби контролю стану основних апаратних модулів та аналіз коректності отриманих вимірювань.

Система повинна контролювати:

- наявність зв'язку з датчиком температури та вологості;
- наявність зв'язку з датчиком CO<sub>2</sub>;
- роботу модуля годинника реального часу;
- роботу дисплея;
- працездатність модуля microSD;
- коректність отриманих значень температури, вологості, CO<sub>2</sub> та рН;
- стан виконавчих механізмів за реакцією параметрів середовища;
- наявність з'єднання з мобільним застосунком.

У разі виникнення несправності система повинна повідомляти користувача за допомогою дисплея, звукової сигналізації та, за наявності зв'язку, мобільного застосунку.

### 3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Передбачається можливість подальшого розвитку системи шляхом підключення додаткових датчиків контролю параметрів середовища, розширення бази технологічних карт для різних видів сирів, реалізації автоматичного вибору режиму дозрівання за типом продукції, інтеграції з хмарними сервісами збереження та аналізу даних, створення вебінтерфейсу для локального доступу до параметрів системи, підключення резервного живлення, використання додаткових засобів візуалізації статистики та масштабування системи для одночасного контролю декількох камер дозрівання.

### 3.2 Показники призначення

Система повинна забезпечувати:

- контроль температури в діапазоні, достатньому для процесів дозрівання сирів;
- підтримання температури дозрівання орієнтовно в межах 8–15 °С залежно від виду сиру;
- контроль відносної вологості повітря в діапазоні 75–95 %;
- контроль концентрації CO<sub>2</sub> у діапазоні до 5000 ppm;
- періодичний контроль кислотності відібраних зразків у діапазоні 0–14 рН;
- автоматичне керування нагрівачем;
- автоматичне керування ультразвуковим зволожувачем;
- автоматичне керування вентилятором;
- керування положенням повітряної заслінки;
- вибір технологічної карти дозрівання сиру;
- архівування результатів вимірювань на microSD-карту;
- локальне відображення інформації на OLED-дисплеї;
- віддалений моніторинг через мобільний застосунок Blynk;

- формування аварійних повідомлень;
- безперервний режим роботи протягом технологічного циклу дозрівання.

### 3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність:

- при тривалій безперервній роботі;
- при короткочасних змінах напруги живлення;
- при зміні параметрів мікроклімату в камері дозрівання;
- при періодичному вимірюванні та архівуванні даних;
- при роботі в умовах підвищеної вологості.

Для підвищення надійності елементів системи повинні використовуватись:

- запобіжники у силових колах, захисні діоди для індуктивних навантажень, MOSFET-ключі з відповідним запасом за струмом і напругою;
- релейні модулі для комутації силових навантажень;
- фільтрувальні конденсатори на лініях живлення;
- програмна перевірка працездатності датчиків;
- аварійне вимкнення при перевищенні допустимих меж.

Для захисту апаратури від стрибків напруги та комутаційних завад повинні застосовуватися фільтри живлення, захисні елементи та коректне розділення сигнальних і силових кіл.

### 3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби повинні мати занулення або захисне заземлення відповідно до вимог електробезпеки.

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях у колах навантаження, а також можливість аварійного ручного вимикання.

Силові кола нагрівача, вентилятора та зволожувача повинні бути електрично відокремлені від логічної частини системи. Підключення виконавчих механізмів повинно здійснюватися через релейні модулі, MOSFET-ключі та клемні колодки з урахуванням допустимих струмів і напруг.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам для побутового та лабораторного електрообладнання. У разі аварійного перегріву система повинна вимкнути нагрівач і сформувати попередження для оператора.

### 3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Умови експлуатації компонентів системи повинні відповідати допустимим параметрам, визначеним технічною документацією на апаратні модулі.

Мікроклімат для експлуатації електронної частини системи повинен відповідати таким умовам:

- температура повітря в межах від +10 °С до +35 °С;
- відносна вологість повітря при 25 °С у межах від 30 % до 80 % для електронного блоку керування;
- атмосферний тиск  $760 \pm 25$  мм рт. ст.

Оскільки камера дозрівання сирів працює в умовах підвищеної вологості, електронні модулі повинні бути розміщені в захищеному корпусі або винесені за межі зони прямого впливу вологи. Датчики, що встановлюються в камері, повинні мати захист від конденсату та механічних пошкоджень.

Періодичне технічне обслуговування використовуваних технічних засобів має проводитися відповідно до вимог технічної документації, але не рідше ніж один раз на рік.

На підставі результатів тестування технічних засобів повинен проводитися аналіз причин виявлених дефектів і прийматися заходи щодо їх усунення.

### 3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати обмеження доступу до налаштувань технологічних параметрів через програмні засоби керування. Зміна параметрів технологічних профілів повинна виконуватися лише оператором, який має доступ до локального меню або мобільного застосунку. Дані, що передаються до мобільного застосунку Vlynk, повинні бути прив'язані до відповідного облікового запису користувача. Доступ до віддаленого моніторингу повинен здійснюватися через авторизоване підключення. Усі важливі події роботи системи повинні реєструватися у журналі

#### 3.4.1 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки і зручності користування за умови комплектування якісним обладнанням, що має необхідні сертифікати відповідності і безпеки.

Під час розроблення системи повинні використовуватися уніфіковані модулі, стандартні інтерфейси підключення та типові засоби програмування мікроконтролерів. Для підключення датчиків і модулів повинні використовуватися стандартні інтерфейси I<sup>2</sup>C, SPI, ADC, GPIO, PWM та Wi-Fi.

Графічна частина кваліфікаційної роботи повинна бути оформлена відповідно до вимог ДСТУ, ЕСКД та чинних методичних рекомендацій до виконання кваліфікаційних робіт бакалавра.

## 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальну записку;
- структурну схему системи;
- блок-схеми алгоритмів роботи;
- схему електричну принципову;
- макет реалізованої системи;
- результати тестування.

\*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

## 5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»	03.02 – 15.02
3	Робота над другим розділом «Проектна частинв»	20.04 – 25.04
4	Робота над третім розділом «Практична частина»	26.04 – 05.05
5	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 7.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06 – 14.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	26.06

## 6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б  
Перелік елементів

Позн.	Найменування	К-ть	Примітка
	<u>Мікроконтролер</u>		
STM1	ESP32	1	
	<u>Датчики</u>		
D1	SHT31-D	1	
D2	SCD41	1	
D3	DFRobot Gravity Analog pH Sensor V2	1	
	<u>Модулі</u>		
Q1	SSD1306 128x64	1	
SD1	MicroSD Card Module	1	
A2	RELAY-2CH5V10A	1	
T1	DS3231	1	
B1	Buzzer module (piezo speaker)	1	
SER1	SG90	1	
Q2	КП301	1	
	<u>Резистори</u>		
R1, R2	МЛТ-0,125 4,7 кОм 0,125 Вт	2	4,7 кОм
R3	МЛТ-0,5 Вт-10 кОм +/-5%	1	10 кОм
R4	МЛТ-0,125Вт-150 Ом +/-5%	1	150 Ом
F1	Resettable Fuse PTC	1	Запобіжник
S1 - S4	SMD 6*6*7 мм (4 pin)	4	
J1 - J3	2EDGKR-5.08-02P-14-00AH	3	

					<b>КС КРБ 123.182.00.00 ПЕ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Лесюк О. З.				Комп'ютерна система моніторингу і контролю процесу дозрівання сирів	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Приймак М.В.						1	1
Реценз.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.	Тиш Є.В.							
Затверд.	Осухівська Г.М.							
					Перелік елементів			