

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система моніторингу та контролю процесу сушіння
кавових зерен на основі IoT-технологій*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Золотник Р.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Литвиненко Я.В.

(прізвище та ініціали)

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)

«24» 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)

студенту Золотнику Роману-Віктору Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій

Керівник роботи Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доцент

(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 15.06.2026 р.

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 охорона праці

Висновки

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

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання системи

АНОТАЦІЯ

Золотник Р.Р. Комп'ютерна система моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій : робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: IoT-технології, комп'ютерна система, сушіння кавових зерен, вбудовані системи, мікроконтролер, сенсори.

Кваліфікаційну роботу присвячено розробленню комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення якості сушіння кавових зерен, зменшення втрат продукції та впровадження сучасних інформаційних технологій у агропромислові процеси.

У першому розділі роботи проаналізовано технічне завдання, визначено мету та основні задачі проєктування, сформульовано функціональні та нефункціональні вимоги до системи. Також проведено огляд і порівняльний аналіз існуючих аналогів систем моніторингу та керування процесом сушіння, визначено їхні переваги та недоліки.

Другий розділ присвячено проєктуванню апаратного забезпечення системи. Розроблено структурну схему та електричну принципову схему пристрою, а також обґрунтовано вибір мікроконтролера, сенсорних модулів та допоміжних компонентів з урахуванням вимог до точності, надійності та енергоефективності.

У третьому розділі розроблено алгоритм роботи системи та програмне забезпечення для мікроконтролера. Виконано інтеграцію з IoT-платформою для віддаленого збору, візуалізації й аналізу даних. Проведено тестування системи та оцінено коректність її функціонування в різних режимах роботи.

ANNOTATION

Zolotnyk R.R. Computer System for Monitoring and Control of the Coffee Bean Drying Process Based on IoT Technologies. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: IoT technologies, computer system, coffee bean drying, embedded systems, microcontroller, sensors.

The qualification work is devoted to the development of a computer system for monitoring and control of the coffee bean drying process based on IoT technologies. The relevance of the research is determined by the need to improve drying quality, reduce product losses, and introduce modern information technologies into agro-industrial processes.

The first chapter analyzes the technical assignment, defines the purpose and objectives of the project, and formulates functional and non-functional system requirements. A review and comparative analysis of existing monitoring and control systems for coffee bean drying are conducted, identifying their advantages and limitations.

The second chapter focuses on the design of the hardware part of the system. A structural diagram and an electrical schematic diagram are developed, and the selection of the microcontroller, sensor modules, and auxiliary components is substantiated, taking into account accuracy, reliability, and energy efficiency requirements.

The third chapter presents the development of the system algorithm and embedded software. Integration with an IoT platform for remote data collection, visualization, and analysis is implemented. System testing is carried out, and the correctness and stability of its operation under various conditions are evaluated.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен	10
1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен	11
1.3 Огляд існуючих засобів для контролю процесу сушіння кавових зерен	12
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	18
2.1 Структура комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен.....	18
2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен	20
2.2.1 Модуль ESP32 DevKit.....	20
2.2.2 Давач DHT22.....	23
2.2.3 Давач температури DS18B20	25
2.2.4 LCD дисплей з I2C модулем	28
2.3 Опис електричної принципової схеми пристрою для моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен	30
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	34
3.1 Алгоритм роботи системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій	34
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	37
3.2.1 Ініціалізація апаратних модулів та параметрів системи	37
3.2.2 Ініціалізація системи та встановлення мережевого з'єднання	39

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Золотник Р.Р.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>			5	74	
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>			<i>ТНТУ, каф. КС, зр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					

3.2.3 Реалізація основного циклу роботи та алгоритм керування системою.....	41
3.3 Налаштування хмарної IoT платформи ThingSpeak	44
3.4 Результати моделювання та тестування системи	46
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	50
4.1 Долікарська допомога при опіках.....	50
4.2 Заходи щодо захисту обладнання від короткого замикання	52
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

API – Application Programming Interface

DHT – Digital Humidity and Temperature

I2C – Inter-Integrated Circuit

IoT – Internet of Things

LCD – Liquid Crystal Display

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

PWM – Pulse Width Modulation

RTC – Real Time Clock

АСК – автоматизована система керування

ДВТ – давач вологості та температури

ДТ – давач температури

КСЗ – камера сушіння зерен

РМ – релейний модуль

СВАД – система візуалізації та аналізу даних

СКС – система керування сушінням

ТС – температурний сенсор

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний агропромисловий комплекс дедалі активніше впроваджує цифрові та інформаційні технології з метою підвищення ефективності виробничих процесів, зниження витрат ресурсів і забезпечення стабільної якості продукції. Одним із критично важливих етапів у технологічному циклі виробництва кави є процес сушіння кавових зерен, від якості якого безпосередньо залежать смакові характеристики кінцевого продукту, його товарна цінність і тривалість зберігання. Недотримання оптимальних параметрів сушіння, зокрема температури та вологості, може призводити до втрати аромату, появи дефектів зерна та значних економічних збитків.

Традиційні методи контролю процесу сушіння часто базуються на ручних вимірюваннях або використанні локальних автоматизованих засобів без можливості централізованого збору, візуалізації та аналізу даних у реальному часі. Це ускладнює оперативне прийняття рішень і знижує ефективність управління технологічним процесом. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій, яка забезпечить безперервний моніторинг параметрів сушіння та створить умови для оптимізації цього процесу.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен з використанням IoT-технологій.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічне завдання та предметну область дослідження;
- сформулювати функціональні вимоги до проєктованої системи;
- виконати огляд і порівняльний аналіз існуючих аналогів систем моніторингу процесу сушіння;
- розробити структурну схему комп'ютерної системи;

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- спроектувати електричну принципову схему пристрою та обґрунтувати вибір елементної бази;
- розробити алгоритм функціонування системи;
- реалізувати програмне забезпечення для мікроконтролера;
- виконати інтеграцію системи з IoT-платформою для збору, візуалізації та аналізу даних;
- провести тестування розробленої системи та оцінити результати її роботи.

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

Комп'ютерні системи збору, візуалізації та аналізу даних на основі IoT-технологій набули широкого поширення у різних галузях промисловості та сільського господарства завдяки можливості забезпечення безперервного моніторингу технологічних процесів, підвищення точності контролю та автоматизації прийняття рішень. Однією з перспективних сфер їх застосування є агропромисловий комплекс, зокрема процеси післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції, де важливу роль відіграє контроль параметрів навколишнього середовища.

Процес сушіння кавових зерен належить до критично важливих етапів технологічного циклу виробництва кави, оскільки саме на цьому етапі формуються основні фізико-хімічні властивості зерна, що впливають на його смакові та ароматичні характеристики. У традиційних виробничих умовах контроль параметрів сушіння часто здійснюється вручну або з використанням локальних вимірювальних приладів без можливості централізованого накопичення та аналізу даних. Такий підхід обмежує оперативність реагування на зміну умов процесу та ускладнює оптимізацію режимів сушіння.

Використання комп'ютерних IoT-систем у сфері сушіння сільськогосподарської продукції дозволяє реалізувати безперервний дистанційний моніторинг температури, вологості та інших параметрів, що характеризують стан середовища та матеріалу сушіння. Отримані дані можуть передаватися до хмарних платформ для збереження, візуалізації у вигляді графіків і таблиць, а також подальшого аналізу з метою виявлення закономірностей і відхилень від оптимальних режимів.

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Золотник Р.Р.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					<i>10</i>	<i>8</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Окрім сушіння кавових зерен, подібні системи знаходять застосування у процесах сушіння зернових культур, фруктів, овочів та лікарських рослин, де також існує потреба в точному контролі технологічних параметрів. У промисловому секторі такі системи використовуються для моніторингу кліматичних умов у складських приміщеннях, теплицях та сушильних камерах. Це свідчить про універсальність підходів, що застосовуються при проектуванні комп'ютерних систем збору та аналізу даних.

Важливою перевагою застосування IoT-технологій є можливість віддаленого доступу до інформації через мережу Інтернет, що дозволяє оператору або технологу контролювати процес незалежно від фізичного місця перебування. Це особливо актуально для малих і середніх виробництв, де автоматизація процесів сприяє зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню якості продукції без значних капіталовкладень.

Отже, аналіз сфер застосування комп'ютерної системи збору, візуалізації та аналізу даних показує доцільність її використання у процесі сушіння кавових зерен. Впровадження такої системи забезпечує підвищення інформативності контролю, створює передумови для оптимізації технологічних режимів і є перспективним напрямом розвитку сучасних агротехнологій на основі IoT.

1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

Коректно сформульовані вимоги забезпечують узгодженість між технічним завданням, архітектурою системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен та реалізованими апаратно-програмними рішеннями.

Однією з ключових груп вимог є функціональні вимоги, які визначають перелік задач, що повинна виконувати система. До них належить безперервний збір даних з сенсорів температури та вологості, попередня обробка вимірних значень, передавання даних до IoT-платформи, їх збереження та візуалізація у зручному для користувача вигляді. Система повинна забезпечувати можливість

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перегляду як поточних, так і архівних даних, що є важливим для аналізу динаміки процесу сушіння та прийняття рішень щодо його оптимізації.

Не менш важливими є нефункціональні вимоги, які визначають якість роботи системи. До них належать вимоги до надійності, стабільності та безперервності роботи. Система повинна коректно функціонувати в умовах тривалої експлуатації, бути стійкою до короточасних збоїв живлення або зв'язку та забезпечувати збереження даних у разі виникнення аварійних ситуацій. Також суттєвими є вимоги до масштабованості, що передбачають можливість підключення додаткових сенсорів або розширення функціоналу без істотної зміни базової архітектури.

Окрему групу становлять вимоги до апаратного забезпечення. Обрані мікроконтролер і сенсорні модулі повинні забезпечувати необхідну точність вимірювань, мати низьке енергоспоживання та підтримувати бездротові інтерфейси зв'язку. Апаратна частина системи повинна бути сумісною з умовами експлуатації, характерними для процесу сушіння, та забезпечувати надійне функціонування протягом усього робочого циклу.

Вимоги до програмного забезпечення включають реалізацію алгоритмів збору та обробки даних, організацію обміну інформацією з IoT-платформою та формування інтерфейсу для користувача. Програмне забезпечення має бути структурованим, розширюваним та орієнтованим на подальшу модернізацію системи.

Проведений наліз вимог до проєктованої системи дозволяє сформувати цілісне уявлення про її функціональні можливості та обмеження, що є підґрунтям для подальшого проєктування апаратної та програмної частин у наступних розділах кваліфікаційної роботи.

1.3 Огляд існуючих засобів для контролю процесу сушіння кавових зерен

Сучасний ринок пропонує різноманітні рішення для моніторингу, автоматизації та аналізу даних у сільськогосподарських та промислових процесах.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці рішення різняться за функціональністю, масштабом застосування, рівнем інтеграції технологій IoT та глибиною аналітики. Аналіз таких засобів дозволяє визначити основні тенденції, переваги та недоліки вже реалізованих систем, а також зробити висновки щодо можливих удосконалень у проектуванні власної системи для сушіння кавових зерен.

Однією з категорій готових рішень є промислові системи автоматизації технологічних процесів сушіння зерна, що застосовуються на елеваторах та великих переробних підприємствах (рис. 1.1).

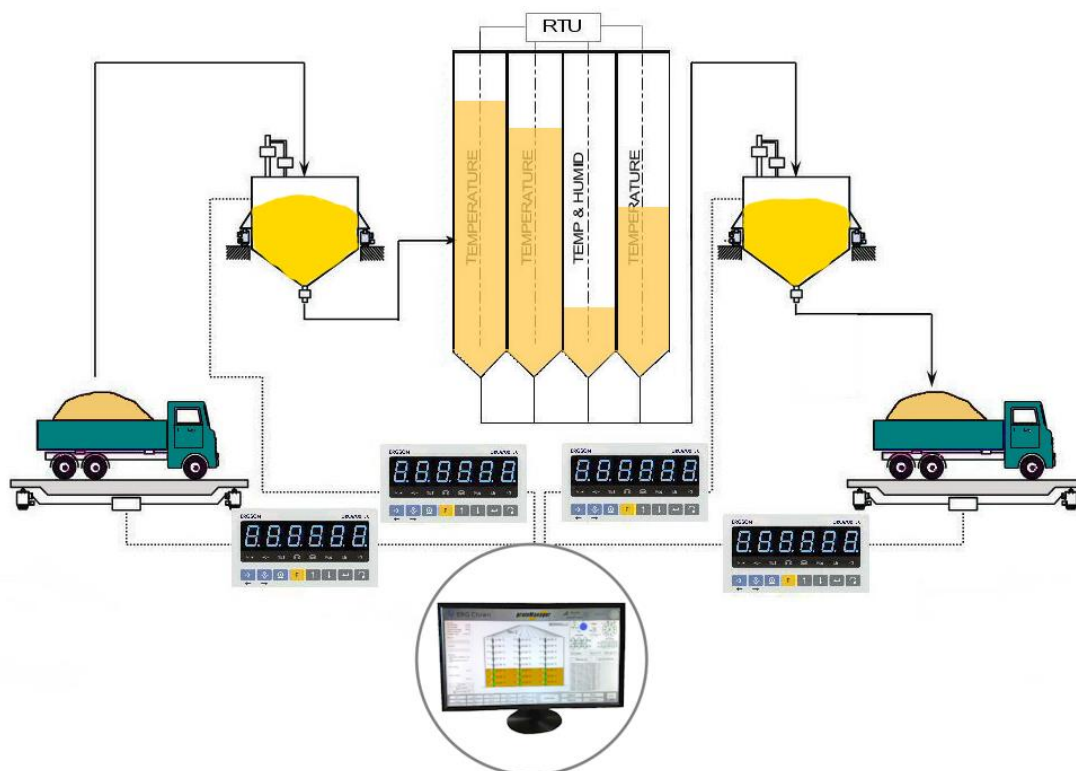


Рисунок 1.1 – Промислова система автоматизації технологічних процесів сушіння зерна

Такі системи забезпечують контроль температури, подачі сировини, витрат енергоносіїв і мають інтерфейси візуалізації на базі SCADA-систем, таких як Trace Mode. Вони дозволяють перемикаєти режими роботи, вводити параметри та переглядати історію зміни основних змінних процесу [1]. Водночас такі рішення характеризуються високою вартістю впровадження та складністю обслуговування, що робить їх малодоступними для малих і середніх виробництв, включно з

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кавовими фермами та переробними цехами малого масштабу. Крім того, SCADA-системи зазвичай вимагають фахового персоналу для налаштування та підтримки, що обмежує їх застосування у невеликих господарствах.

Інший приклад існуючих рішень – магістральні автоматизовані системи керування зерносушильними комплексами. Такі проєкти охоплюють модельні підходи до керування різними параметрами сушіння, використання програмованих логічних контролерів, сенсорних пристроїв та алгоритмів регулювання у реальному часі [2]. Попри технічну повноту, такі рішення зазвичай орієнтовані на конкретні моделі обладнання та не мають універсальних засобів інтеграції з хмарними IoT-платформами для віддаленої візуалізації та аналітики. Це суттєво обмежує їх гнучкість при адаптації до нових умов або до нестандартних об'єктів сушіння, таких як кавові зерна.

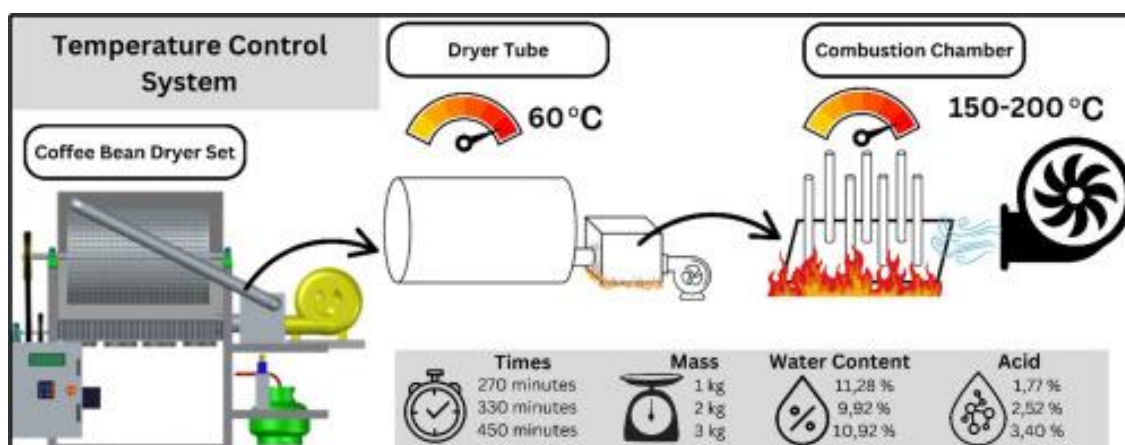


Рисунок 1.2 – Автоматизована система керування зерносушильним комплексом

Ще один напрям представлений IoT-системами моніторингу навколишніх умов, що використовують стандартні мережі IoT для збору даних про температуру та вологість [3]. Наприклад, рішення на базі протоколу застосовуються для моніторингу природних умов під час сільськогосподарського сушіння у постзбиральні періоди: використання датчиків температури разом із шлюзами та хмарними платформами, дозволяє збирати дані про температуру та вологість у реальному часі та зберігати їх у хмарі для подальшого аналізу (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Система моніторингу умов під час сушіння кавових зерен

Такі системи привабливі своєю дешевизною та енергоефективністю, проте мають обмежену функціональність і зазвичай не забезпечують повноцінної аналітики для процесного управління. Вони більше підходять для базового моніторингу зовнішніх умов, а не для комплексного контролю технологічного процесу сушіння з можливістю прогнозування та оптимізації параметрів роботи обладнання.

Ще одним сегментом ринку є платформи для загального моніторингу та аналізу IoT-даних, що не прив'язані до конкретної галузі, але можуть бути адаптовані для сільськогосподарських застосувань [4]. Комерційні рішення на кшталт Mango від Radix IoT пропонують можливості підключення численних датчиків, побудови єдиної інформаційної панелі, реалізації трендових графіків, оповіщень та інтеграції з іншими системами управління [5]. Такі платформи демонструють гнучкі можливості для агропромислових процесів, включно з моніторингом сушіння зерна, але зазвичай вимагають значних витрат на ліцензії, адаптацію та обслуговування великого обсягу даних. Крім того, орієнтація на великий бізнес означає, що інструменти можуть бути перевантаженими для застосування у невеликих процесах, де потрібна проста, легка та дешевша система.

Загалом існуючі рішення для автоматизації процесів сушіння мають як переваги, так і суттєві недоліки. Промислові SCADA-системи забезпечують

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

глибоку інтеграцію з обладнанням і широкі можливості управління, але вони не призначені для малих господарств і характеризуються високою складністю. IoT-проекти на основі LoRaWAN та інших мережних технологій пропонують дешеві засоби збору даних, але їх аналітична частина обмежена. Комерційні IoT-платформи мають потужну аналітику та візуалізацію, але вимагають значних ресурсів для обслуговування.

У контексті сушіння кавових зерен ці недоліки особливо помітні. Промислові рішення не забезпечують потрібної гнучкості й адаптації до специфічних вимог кавової переробки, а прості IoT-системи не мають достатньої аналітичної потужності для оптимізації режимів сушіння з урахуванням історичних даних та трендів. Це створює потребу у розробці спеціалізованої системи, яка поєднує низьку вартість, простоту реалізації, здатність до масштабування та широкі можливості збору, візуалізації й аналітики даних, адаптовані саме для процесу сушіння кавових зерен.

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Одним із можливих рішень для розроблення комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен є використання промислових систем автоматизації на базі програмованих логічних контролерів та SCADA-систем. Такий підхід забезпечує високу надійність, точність вимірювань і широкі можливості візуалізації технологічних параметрів. Промислові рішення дозволяють реалізувати складні алгоритми керування та інтеграцію з існуючим обладнанням сушильних установок. Водночас вони характеризуються високою вартістю апаратного та програмного забезпечення, складністю налаштування і потребою у кваліфікованому персоналі для обслуговування. Для малих і середніх підприємств, а також для експериментальних систем, такий підхід є економічно недоцільним.

Іншим варіантом є застосування автономних вимірювальних пристроїв з локальною індикацією параметрів сушіння. Такі пристрої відрізняються

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

простотою реалізації та низькою вартістю, проте не забезпечують централізованого збору даних, їх накопичення та аналізу. Відсутність можливості віддаленого доступу та візуалізації історичних даних значно обмежує ефективність використання подібних рішень для оптимізації процесу сушіння.

Перспективним напрямом є використання мікроконтролерних платформ із підтримкою IoT-технологій. Застосування сучасних мікроконтролерів з вбудованими модулями бездротового зв'язку дозволяє створити гнучку та масштабовану систему збору даних з можливістю їх передавання на хмарні IoT-платформи. Такий підхід забезпечує віддалений доступ до інформації, зручну візуалізацію даних та збереження історичних значень для подальшого аналізу. Крім того, використання відкритих апаратних і програмних рішень зменшує вартість реалізації системи та спрощує її модифікацію.

Ще одним можливим варіантом є побудова системи на базі спеціалізованих IoT-платформ, що надають готові інструменти для збору, обробки та аналізу даних. Такі платформи дозволяють швидко реалізувати функції візуалізації, формування сповіщень і базової аналітики без значних витрат на розробку серверної частини. Водночас залежність від зовнішніх сервісів, обмеження безкоштовних тарифів і потреба у стабільному інтернет-з'єднанні є недоліками цього підходу.

З урахуванням результатів аналізу існуючих рішень найбільш доцільним є комбінований підхід, що поєднує використання мікроконтролерної платформи з сенсорними модулями та інтеграцію з IoT-платформою. Таке рішення забезпечує оптимальне співвідношення між функціональністю, вартістю та гнучкістю системи. Воно дозволяє реалізувати повний цикл збору, візуалізації та аналізу даних, а також створює передумови для подальшого розширення системи та впровадження алгоритмів оптимізації процесу сушіння кавових зерен.

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>17</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Структура комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

На рисунку 2.1 наведено структурну схему комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен, яка відображає взаємодію між вимірювальними, керуючими та інформаційними компонентами.

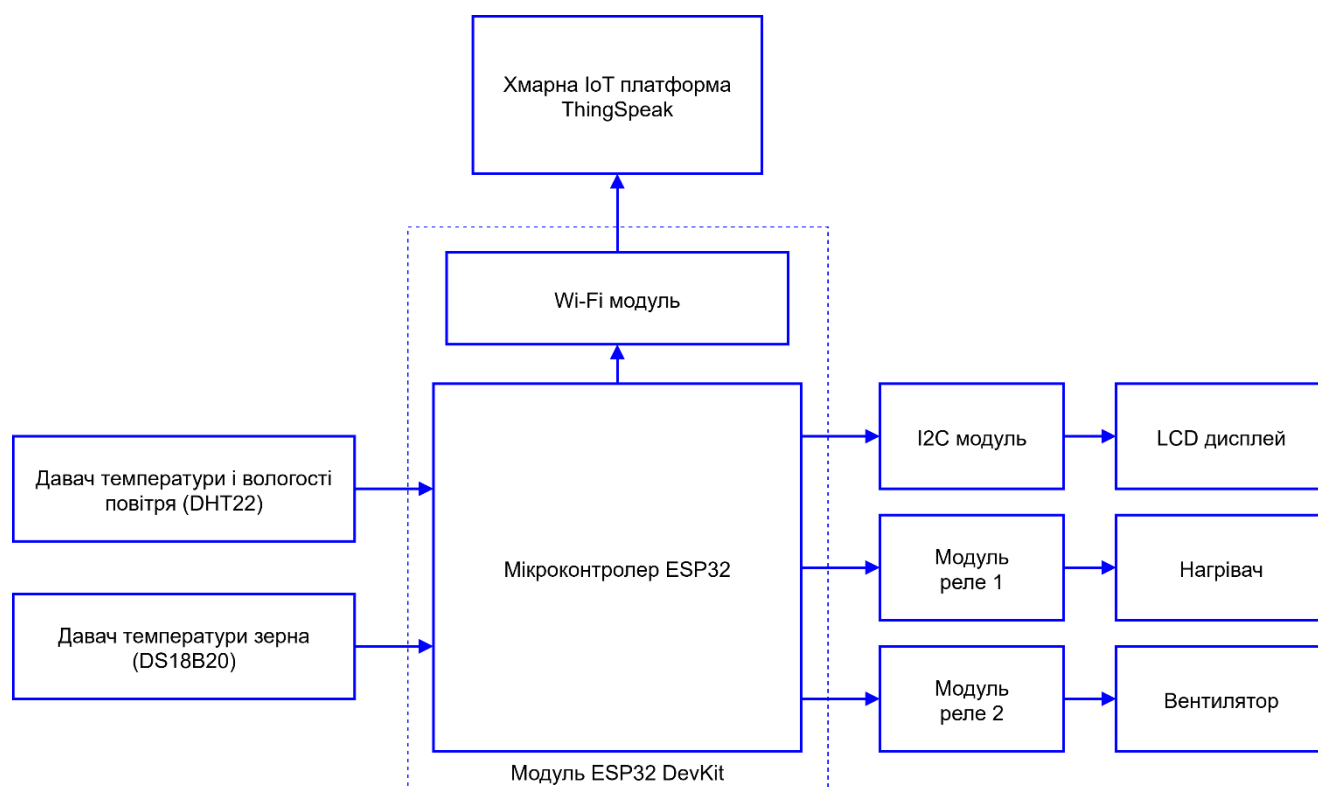


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

Центральним елементом системи є мікроконтролер, який виконує функції збору, обробки та передавання даних, а також формує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв. До мікроконтролера підключені давач температури і

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Золотник Р.Р.</i>			<i>Проектна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					18	16
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

вологості повітря, а також давач температури зерна, що забезпечують отримання інформації про стан навколишнього середовища та об'єкта сушіння. Давач DHT22 використовується для контролю параметрів повітря у зоні сушіння, тоді як додатковий давач температури забезпечує вимірювання температури безпосередньо в масиві кавових зерен, що дозволяє більш точно оцінювати хід технологічного процесу.

Отримані з давачів дані надходять до мікроконтролера, де здійснюється їх первинна обробка, зокрема фільтрація, усереднення та підготовка до передавання. На основі цих даних формується керуючий вплив на виконавчі пристрої системи. Для цього використовуються модулі реле, які забезпечують комутацію навантаження. Один із модулів реле призначений для керування нагрівачем, що використовується для підвищення температури у сушильному пристрої, а інший — для керування вентилятором, який відповідає за регулювання вологості шляхом циркуляції повітря.

Важливою складовою системи є модуль локальної індикації, реалізований на базі рідкокристалічного дисплея з інтерфейсом I2C. Дисплей підключений до мікроконтролера та використовується для відображення поточних значень температури, вологості, стану виконавчих пристроїв та інших службових параметрів. Наявність локального інтерфейсу підвищує зручність експлуатації системи та дозволяє здійснювати оперативний контроль без необхідності доступу до мережі Інтернет.

Для реалізації функцій віддаленого моніторингу та аналізу даних система інтегрована з хмарною IoT платформою. Передавання даних здійснюється за допомогою бездротового з'єднання, яке забезпечується мікроконтролером. На стороні хмарної платформи реалізовано зберігання даних, їх візуалізацію у вигляді графіків та можливість подальшого аналізу. Це дозволяє користувачеві отримувати доступ до інформації про процес сушіння у реальному часі, а також аналізувати історичні дані для оптимізації режимів роботи системи.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

2.2.1 Модуль ESP32 DevKit

Мікроконтролерний модуль ESP32 DevKit є центральним обчислювальним елементом розроблюваної комп'ютерної системи, що забезпечує збір, обробку, передачу даних і керування виконавчими пристроями. Даний модуль належить до класу високопродуктивних мікроконтролерів із вбудованими засобами бездротового зв'язку, що робить його оптимальним вибором для реалізації IoT-рішень (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Модуль ESP32 DevKit

Архітектурно ESP32 побудований на базі двоядерного процесора LX6, який ефективно розподіляє обчислювальні задачі між ядрами. Одне ядро може використовуватись для обробки даних із датчиків і виконання алгоритмів керування, тоді як інше — для обслуговування мережевих протоколів та передачі даних до хмарної платформи. Такий підхід забезпечує високу продуктивність і стабільність роботи системи навіть при одночасному виконанні декількох задач.

Внутрішня структура мікроконтролера включає оперативну пам'ять SRAM, флеш-пам'ять для зберігання програмного коду, апаратні модулі для роботи з

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

системи та підвищити її надійність. Технічні характеристики модуля ESP32 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики модуля ESP32 DevKit

Характеристика	Значення
Архітектура процесора	Tensilica Xtensa LX6
Кількість ядер	2
Тактова частота	до 240 МГц
Оперативна пам'ять (SRAM)	~520 КБ
Флеш-пам'ять	4–16 МБ (залежно від модуля)
Напруга живлення	3,0–3,6 В
Робоча логіка GPIO	3.3 В
Кількість GPIO	до 34
Аналогові входи (ADC)	12-біт, до 18 каналів
ЦАП (DAC)	2 канали, 8-біт
Інтерфейси зв'язку	UART, SPI, I2C, I2S, CAN
PWM (LEDC)	до 16 каналів
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2 (BR/EDR та BLE)
Робочий температурний діапазон	–40...+85 °С

Обґрунтування вибору ESP32 для даної системи базується на сукупності його технічних і функціональних переваг. По-перше, наявність вбудованого Wi-Fi дозволяє безпосередньо реалізувати підключення до хмарної IoT-платформи без використання додаткових модулів зв'язку. По-друге, достатня кількість інтерфейсів забезпечує просту інтеграцію з датчиками DHT22, DS18B20, LCD-дисплеєм та модулями реле. По-третє, висока обчислювальна потужність дозволяє реалізувати алгоритми аналізу даних і керування у реальному часі.

Крім того, ESP32 є економічно вигідним рішенням, широко доступним на ринку. Наявність великої кількості бібліотек і прикладів значно спрощує процес

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробки ПЗ. У контексті даної кваліфікаційної роботи використання ESP32 дозволяє реалізувати всі необхідні функції комп'ютерної системи — від збору даних та їх візуалізації до віддаленого аналізу — без ускладнення апаратної частини, що підтверджує доцільність його вибору.

2.2.2 Давач DHT22

Давач температури і вологості DHT22 є цифровим сенсором, який призначений для вимірювання параметрів мікроклімату та широко використовується у навчальних IoT-системах. У контексті розроблюваної комп'ютерної системи цей давач може застосовуватись як альтернативний варіант для контролю температури і відносної вологості повітря у зоні сушіння кавових зерен, особливо на етапі моделювання або експериментальної перевірки (рис. 2.4).

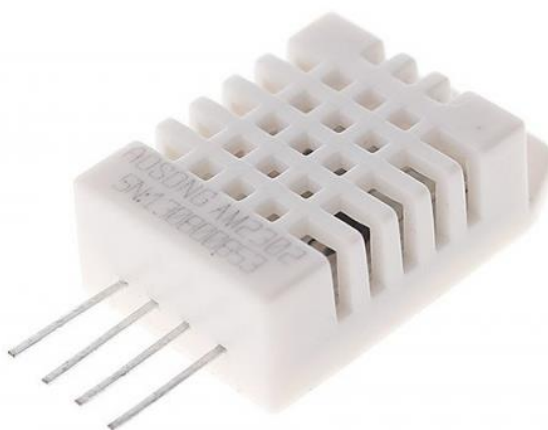


Рисунок 2.4 – Давач DHT22

Конструктивно DHT22 складається з двох основних сенсорних елементів та мікроконтролера обробки сигналів, розміщених у пластиковому корпусі з вентиляційними отворами. Для вимірювання вологості використовується ємнісний сенсор, полімерний шар якого змінює свою ємність залежно від кількості поглинутої вологи. Температурний канал реалізовано на базі напівпровідникового терморезистивного елемента, що змінює електричний опір залежно від температури. Вбудований мікроконтролер виконує перетворення сигналів, їх калібрування та формування цифрового вихідного сигналу.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи давача полягає у періодичному обміні даними з мікроконтролером за допомогою однопровідного цифрового інтерфейсу. Для ініціації вимірювання мікроконтролер формує спеціальний стартовий сигнал, після чого DHT22 виконує вимірювання температури і вологості та передає результат у вигляді 40-бітного пакета даних. Передача здійснюється за допомогою часових інтервалів імпульсів, що потребує точного дотримання таймінгів на стороні програмного забезпечення. Через особливості протоколу частота опитування сенсора обмежена і становить приблизно один вимір кожні 2 секунди.

Однією з характерних особливостей DHT22 є відносно проста інтеграція, оскільки для його підключення необхідно лише один цифровий пін мікроконтролера. Сенсор працює в широкому діапазоні напруг (3,3–6 В). Це дозволяє застосовувати його як з мікроконтролерами на 3,3 В, так і на 5 В без додаткових схем узгодження. Технічні характеристики давача DHT22 наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики давача DHT22

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання температури	-40...+80 °C
Точність вимірювання температури	±0,5 °C
Діапазон вимірювання вологості	0...100 % RH
Точність вимірювання вологості	±2–5 % RH
Роздільна здатність	0,1 °C, 0,1 % RH
Інтерфейс зв'язку	однопровідний цифровий
Частота вимірювання	~0,5 Гц (1 раз на 2 с)
Напруга живлення	3,3–6 В
Споживаний струм	~1–2,5 мА
Довжина кабелю	до 20 м (за умов екранування)

Обґрунтування можливості використання DHT22 у даній системі полягає у його доступності, простоті використання та наявності підтримки у більшості

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовищ розробки і онлайн-симуляторів. Це робить його зручним для швидкої реалізації прототипу системи або перевірки алгоритмів збору та обробки даних. Крім того, у навчальних цілях використання DHT22 є цілком виправданим, оскільки дозволяє продемонструвати принципи роботи сенсорних систем без значних фінансових витрат.

2.2.3 Давач температури DS18B20

Давач температури DS18B20 є цифровим термометром з інтерфейсом 1-Wire, який широко використовується в системах моніторингу завдяки своїй точності, простоті підключення та можливості роботи в складних умовах експлуатації. У даній комп'ютерній системі цей сенсор застосовується для вимірювання температури безпосередньо в масиві кавових зерен або у критичних точках сушильного середовища, що дозволяє отримувати більш достовірну інформацію про хід технологічного процесу (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Давач температури DS18B20

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивно DS18B20 виконаний у вигляді інтегральної мікросхеми, яка містить температурочутливий елемент, аналого-цифровий перетворювач, пам'ять для зберігання даних та унікальний 64-бітний ідентифікатор. Сенсор може бути реалізований у різних корпусах, зокрема у герметичному металевому виконанні, що забезпечує його захист від вологи, пилу та механічних впливів. Це є важливою перевагою для застосування у середовищах з підвищеною вологістю, характерних для процесів сушіння.

Принцип роботи DS18B20 базується на вимірюванні температурної залежності електричних параметрів напівпровідникового елемента. Після ініціалізації мікроконтролер надсилає команду запуску вимірювання через шину 1-Wire, після чого сенсор виконує перетворення температури у цифровий код із заданою роздільною здатністю. Отримані дані зберігаються у внутрішньому регістрі, звідки їх можна зчитати. Особливістю даного сенсора є можливість підключення декількох приладів, причому кожен з них ідентифікується за унікальним кодом.

Інтерфейс 1-Wire передбачає використання лише одного сигнального провідника (разом із загальним проводом), що значно спрощує монтаж системи та зменшує кількість необхідних з'єднань. Для забезпечення коректної роботи шини використовується підтягувальний резистор. DS18B20 підтримує як стандартний режим живлення, так і паразитне живлення через сигнальну лінію, що може бути корисним у випадках обмеженого доступу до джерел живлення.

Сенсор характеризується достатньо високою точністю вимірювання температури та можливістю налаштування роздільної здатності, що дозволяє балансувати між швидкістю вимірювання та точністю. У системах сушіння кавових зерен це дає змогу отримувати детальну інформацію про температурні зміни всередині продукту, що є критично важливим для оцінки ступеня висушування та запобігання перегріву. Технічні характеристики давача DS18B20 наведені у таблиці 2.3.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Характеристики давача температури DS18B20

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання температури	-55...+125 °C
Точність вимірювання	±0,5 °C (в діапазоні -10...+85 °C)
Роздільна здатність	9–12 біт (налаштовується)
Час перетворення	93,75–750 мс
Інтерфейс зв'язку	1-Wire
Напруга живлення	3,0–5,5 В
Споживаний струм	~1 мА (під час вимірювання)
Унікальний ідентифікатор	64-біт
Кількість сенсорів на шині	декілька (паралельне підключення)
Робочий температурний діапазон	-55...+125 °C
Тип корпусу	ТО-92, герметичний металевий

Обґрунтування вибору DS18B20 для даної системи полягає у його здатності забезпечувати надійне та точне вимірювання температури в умовах підвищеної вологості та температурних коливань. Використання герметичного виконання дозволяє розміщувати сенсор безпосередньо у середовищі сушіння або навіть всередині шару кавових зерен без ризику пошкодження. Це забезпечує отримання більш репрезентативних даних у порівнянні з вимірюванням лише температури повітря.

Крім того, простота підключення за допомогою інтерфейсу 1-Wire зменшує складність апаратної реалізації системи та дозволяє легко масштабувати її шляхом додавання додаткових сенсорів. У поєднанні з мікроконтролером ESP32 цей давач забезпечує ефективну інтеграцію у загальну архітектуру системи.

Використання DS18B20 у складі комп'ютерної системи дозволяє підвищити точність контролю температурних параметрів, забезпечити надійність вимірювань у складних умовах та реалізувати більш ефективні алгоритми керування процесом сушіння кавових зерен, що підтверджує доцільність його вибору.

2.2.4 LCD дисплей з I2C модулем

Рідкокристалічний дисплей з інтерфейсом I2C, зокрема модуль на базі LCD 1602 із I2C-адаптером, є простим та ефективним засобом локальної індикації інформації у вбудованих системах. У даній комп'ютерній системі цей дисплей використовується для відображення поточних значень температури, вологості, стану виконавчих пристроїв (нагрівача та вентилятора), а також службової інформації. Наявність такого інтерфейсу значно підвищує зручність експлуатації системи, дозволяючи оператору отримувати необхідні дані без підключення до хмарної платформи (рис. 2.6).

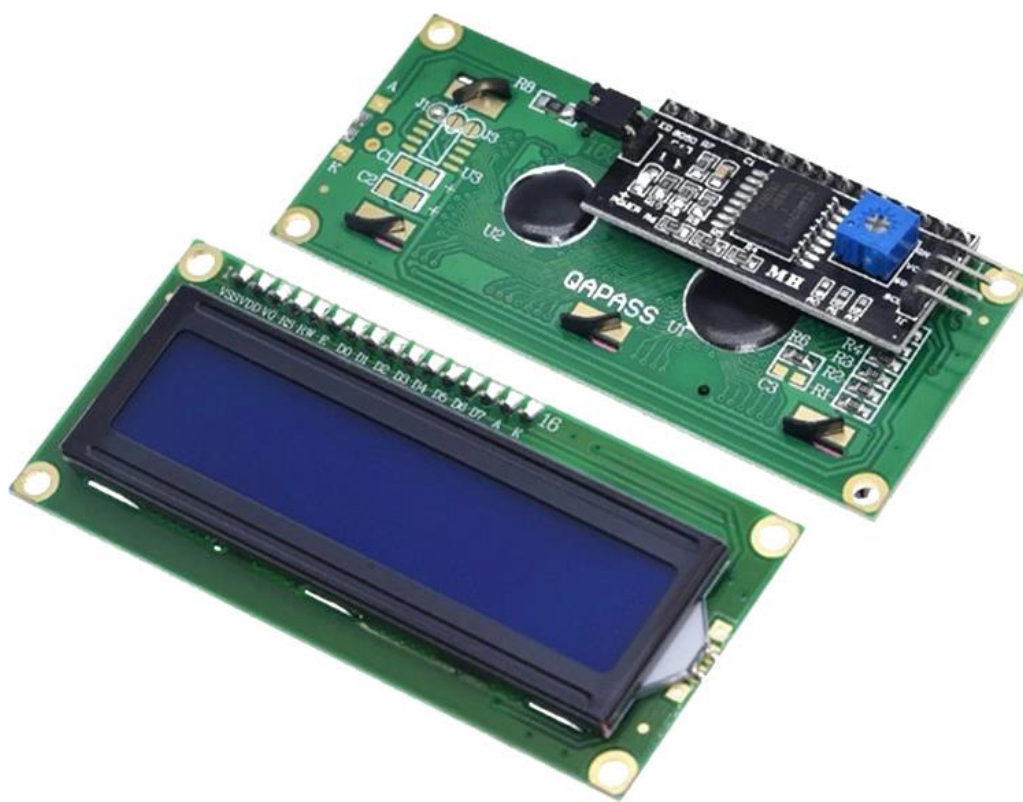


Рисунок 2.6 – LCD дисплей з I2C модулем

Конструктивно LCD-дисплей складається з рідкокристалічної матриці, контролера індикації та плати I2C-адаптера. Основою є символний дисплей, який зазвичай має формат 16×2 символи, тобто дозволяє відображати два рядки по 16 символів у кожному. Контролер дисплея (як правило, сумісний із HD44780) забезпечує керування сегментами матриці, формування символів та їх

відображення. Безпосереднє керування таким дисплеєм у паралельному режимі потребує значної кількості виводів мікроконтролера, тому використовується спеціальний I2C-адаптер, зазвичай на базі розширювача портів.

I2C-модуль виконує функцію перетворення послідовного інтерфейсу I2C у паралельний інтерфейс, зрозумілий для контролера дисплея. Це дозволяє зменшити кількість необхідних ліній зв'язку до двох (SDA і SCL), що є суттєвою перевагою при використанні мікроконтролерів із обмеженою кількістю доступних виводів. Крім того, I2C-адаптер зазвичай містить потенціометр для регулювання контрастності та транзистор для керування підсвічуванням дисплея. Технічні характеристики LCD-дисплея з I2C-модулем наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики LCD дисплея

Характеристика	Значення
Тип дисплея	символьний рідкокристалічний
Формат	16×2 символи
Контролер	сумісний із HD44780
Інтерфейс	I2C
Кількість ліній зв'язку	2 (SDA, SCL)
Напруга живлення	5 В
Споживаний струм	~20–30 мА (з підсвічуванням)
Адреса I2C	0x27 або 0x3F (типово)
Регулювання контрастності	так (потенціометр)
Підсвічування	LED
Робочий температурний діапазон	0...+50 °С (типово)

Принцип роботи дисплея полягає у прийманні даних від мікроконтролера через інтерфейс I2C у вигляді послідовних команд і символів. Мікроконтролер формує відповідні сигнали, які передаються на I2C-адаптер, а той, у свою чергу, керує паралельним інтерфейсом дисплея. Контролер дисплея обробляє отримані дані та відображає символи у відповідних позиціях матриці. Завдяки

використанню стандартних бібліотек значно спрощується програмна реалізація керування дисплеєм.

Дисплей підтримує відображення стандартного набору ASCII-символів, а також дозволяє створювати користувацькі символи, що може бути корисним для відображення спеціальних позначень, наприклад, індикаторів стану або графічних елементів. Підсвічування забезпечує можливість роботи в умовах недостатнього освітлення, що підвищує ергономічність системи.

Обґрунтування вибору LCD-дисплея з I2C-модулем для даної системи полягає у його простоті, надійності та достатній функціональності для відображення текстової інформації. У порівнянні з графічними дисплеями або TFT-екранами, такий модуль є значно дешевшим, споживає менше енергії та не потребує значних обчислювальних ресурсів для керування. Це є важливим фактором для вбудованих систем, де необхідно забезпечити баланс між функціональністю та ресурсами.

Крім того, використання інтерфейсу I2C дозволяє ефективно використовувати виводи мікроконтролера ESP32, залишаючи їх доступними для підключення інших компонентів системи, таких як датчики та реле. Простота інтеграції та наявність великої кількості програмних бібліотек значно скорочують час розробки ПЗ.

LCD-дисплей з I2C-модулем є оптимальним вибором для реалізації локальної індикації у комп'ютерній системі моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен, оскільки він забезпечує відображення ключової інформації у зручній формі, має хороші технічні характеристики та легко інтегрується у загальну структуру системи.

2.3 Опис електричної принципової схеми пристрою для моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

На рисунку 2.7 представлено електричну принципову схему системи, яка включає мікроконтролерний модуль ESP32, датчик температури і вологості DHT22,

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

портом, а між лінією даних і живленням 3,3 В встановлюється підтягувальний резистор, що забезпечує стабільний рівень сигналу у стані спокою. Така схема підключення забезпечує надійну передачу даних за однопровідним цифровим інтерфейсом.

Давач температури DS18B20 підключається до цифрового порту GPIO4 мікроконтролера. Лінія даних DQ з'єднується з відповідним GPIO, а між цією лінією та напругою живлення 3,3 В встановлюється підтягувальний резистор номіналом 4,7 кОм, необхідний для реалізації інтерфейсу 1-Wire. Виводи живлення VDD і GND сенсора підключаються до відповідних шин. Така конфігурація дозволяє забезпечити стабільну передачу даних і можливість підключення додаткових сенсорів у майбутньому.

LCD-дисплей з I2C-модулем підключається до мікроконтролера за допомогою двопровідної шини I2C. Вивід SDA дисплея з'єднується з GPIO21, а вивід SCL — з GPIO22. Живлення дисплея здійснюється від 5 В. I2C-модуль дисплея має вбудовані підтягувальні резистори, що спрощує його інтеграцію. Використання інтерфейсу I2C дозволяє значно зменшити кількість задіяних виводів мікроконтролера.

Керування виконавчими пристроями реалізується за допомогою двох модулів реле. Перший модуль реле підключається до GPIO25 і використовується для керування нагрівачем, другий модуль підключається до GPIO26 і використовується для керування вентилятором. Входи керування (IN) реле підключаються до відповідних GPIO. Релейні модулі забезпечують гальванічну розв'язку між низьковольтною частиною системи та силовими колами.

Нагрівач підключається до мережі живлення через контакти першого реле (COM і NC), що дозволяє здійснювати його вмикання та вимикання за сигналом мікроконтролера. Для цього у схемі передбачено окремий роз'єм, що забезпечує зручність підключення. Аналогічно вентилятор підключається через другий модуль реле до джерела живлення, для чого також передбачено відповідний

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роз'єм. Така організація дозволяє легко інтегрувати виконавчі пристрої та забезпечує безпечну комутацію навантаження.

У схемі передбачено використання резисторів для забезпечення коректної роботи інтерфейсів, зокрема підтягувальних резисторів для ліній DHT22 і DS18B20. Усі з'єднання виконані з урахуванням мінімізації перешкод та забезпечення стабільності сигналів.

Розроблена електрична принципова схема відображає повну структуру електричних з'єднань системи та логіку взаємодії її компонентів. Обрана конфігурація забезпечує ефективний збір даних із датчиків, їх обробку, відображення та передачу, а також надійне керування виконавчими пристроями.

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>33</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Алгоритм роботи системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій

Алгоритм роботи комп'ютерної системи визначає послідовність дій, які забезпечують збір, обробку, візуалізацію та передачу даних, а також керування виконавчими пристроями з метою моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен.

На початковому етапі після подачі живлення відбувається ініціалізація апаратних ресурсів мікроконтролера, налаштування портів введення/виведення, запуск інтерфейсів зв'язку (I2C, 1-Wire), а також ініціалізація підключених пристроїв, зокрема давача температури і вологості DHT22, давача температури DS18B20 та LCD-дисплея. Паралельно здійснюється встановлення бездротового з'єднання з мережею Wi-Fi та ініціалізація обміну даними з хмарною IoT-платформою.

Після завершення ініціалізації система переходить у циклічний режим роботи, в якому виконуються основні функціональні операції (рис. 3.1). На кожній ітерації циклу здійснюється зчитування даних із давачів. Зокрема, відбувається отримання значень температури та відносної вологості повітря із сенсора DHT22, а також температури зерен із сенсора DS18B20. Зчитані дані проходять первинну обробку, яка включає перевірку коректності, фільтрацію випадкових відхилень та усереднення для підвищення стабільності показів.

На основі отриманих значень виконується обчислення додаткових параметрів, зокрема оцінка вологості кавових зерен за допомогою математичної моделі, що враховує температуру, відносну вологість повітря та тривалість

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Золотник Р.Р.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					34	16
<i>Рецензент</i>		<i>Литвиненко Я.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

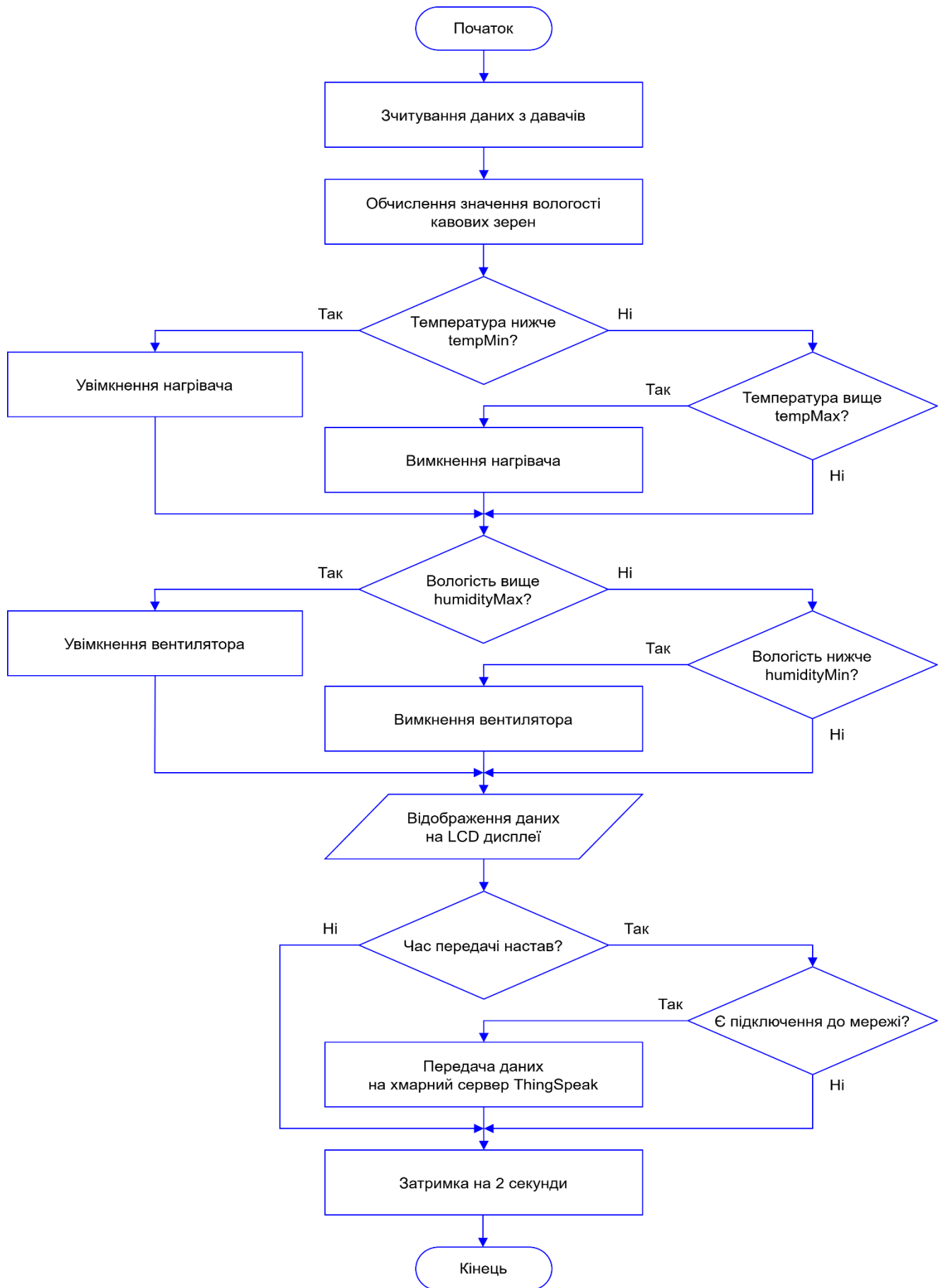


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи підпрограми loop у системі моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

процесу сушіння. Для цього використовується програмна реалізація залежності, яка дозволяє наближено визначити ступінь висушування продукту. Одночасно здійснюється облік часу роботи системи з моменту запуску або початку сушіння.

Після обробки даних формується керуючий вплив на виконавчі пристрої. Якщо температура у сушильній камері нижча за заданий поріг, мікроконтролер активує реле, що вмикає нагрівач. У випадку перевищення допустимого значення температури нагрівач вимикається. Аналогічно здійснюється керування вентилятором: він може працювати постійно або вмикатись залежно від рівня вологості повітря, забезпечуючи інтенсивне видалення вологи.

Отримані та оброблені дані відображаються на LCD-дисплеї, де виводяться поточні значення температури, вологості, розрахункової вологості зерен, а також стан виконавчих пристроїв. Це забезпечує можливість локального контролю роботи системи без використання зовнішніх засобів.

Паралельно з локальною індикацією здійснюється передача даних до хмарної IoT-платформи ThingSpeak через мережу Wi-Fi. Дані передаються у вигляді структурованих пакетів з певною періодичністю, що дозволяє формувати часові ряди для подальшої візуалізації та аналізу. На платформі реалізується побудова графіків зміни температури, вологості та інших параметрів, що дає змогу оцінювати ефективність процесу сушіння та виявляти можливі відхилення.

Алгоритм також передбачає обробку можливих помилок, зокрема втрати зв'язку з сенсорами або мережею. У таких випадках система може виконувати повторну ініціалізацію відповідних модулів або переходити у безпечний режим роботи, наприклад вимикати нагрівач для запобігання аварійним ситуаціям.

Запропонований алгоритм забезпечує комплексну реалізацію функцій збору, обробки, візуалізації та передачі даних, а також керування виконавчими пристроями. Це дозволяє ефективно контролювати процес сушіння кавових зерен, підвищувати його енергоефективність та забезпечувати необхідну якість кінцевого продукту.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка програмного забезпечення

3.2.1 Ініціалізація апаратних модулів та параметрів системи

На початку програмного коду виконується підключення необхідних бібліотек, які забезпечують взаємодію мікроконтролера ESP32 з периферійними пристроями та реалізацію мережевих функцій. Зокрема, бібліотека WiFi.h використовується для організації бездротового з'єднання, а HTTPClient.h — для передачі даних на хмарну платформу. Для роботи з давачем температури і вологості DHT22 підключається бібліотека DHT.h, тоді як бібліотеки OneWire.h та DallasTemperature.h забезпечують взаємодію з давачем температури DS18B20. Для керування рідкокристалічним дисплеєм застосовується бібліотека LiquidCrystal_I2C.h. Окремо підключається файл "secret.h", який містить конфіденційні дані, зокрема параметри підключення до Wi-Fi мережі та API-ключ для передачі даних (рис. 3.2).

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "secret.h"
```

Рисунок 3.2 – Фрагмент коду з підключенням бібліотек

Далі у програмі визначаються параметри підключення давача DHT22. Зокрема, задається номер порту мікроконтролера (GPIO15), до якого підключено сенсор, а також його тип. На основі цих параметрів створюється об'єкт dht, який використовується для ініціалізації та зчитування даних із сенсора. Такий підхід дозволяє абстрагувати роботу з апаратурою та спростити подальше використання функцій бібліотеки (рис. 3.3).

Аналогічно виконується налаштування давача температури DS18B20, який підключений до порту GPIO4. Для цього створюється об'єкт oneWire, що реалізує

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмін даними за протоколом 1-Wire, а також об'єкт sensors, який забезпечує високорівневий доступ до функцій вимірювання температури. Це дозволяє отримувати значення температури у зручному цифровому форматі.

```
// ===== DHT22 =====
#define DHTPIN 15
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
// ===== DS18B20 =====
#define ONE_WIRE_BUS 4
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// ===== LCD =====
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// ===== Relay pins =====
#define RELAY_HEATER 25
#define RELAY_FAN 26
```

Рисунок 3.3 – Фрагмент коду з визначенням параметрів підключення датчиків

Для відображення інформації використовується LCD-дисплей з I2C-інтерфейсом, який ініціалізується шляхом створення об'єкта lcd із зазначенням адреси пристрою (0x27) та розмірності дисплея (16×2 символи). Така конфігурація дозволяє ефективно використовувати мінімальну кількість виводів мікроконтролера.

Наступним етапом є визначення портів керування виконавчими пристроями. Зокрема, порт GPIO16 використовується для керування реле нагрівача, а GPIO17 — для керування реле вентилятора. Використання окремих портів забезпечує незалежне керування кожним із пристроїв відповідно до алгоритму роботи системи.

У програмі також задаються порогові значення температури та вологості, які використовуються для прийняття рішень щодо керування виконавчими механізмами. Змінні tempMin та tempMax визначають допустимий діапазон температури, тоді як змінна humidityMax задає граничне значення вологості повітря. Це дозволяє реалізувати автоматичне підтримання оптимальних умов сушіння (рис. 3.4).

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

// ===== Thresholds =====
float tempMin = 30.0;
float tempMax = 45.0;
float humidityMax = 70.0;
// ===== Time =====
unsigned long lastSend = 0;
unsigned long interval = 20000; // 20 сек
// ===== Model coefficients =====
float a = 0.5;
float b = 0.3;
float c = 5;

```

Рисунок 3.4 – Фрагмент коду з оголошенням змінних

Для організації періодичної передачі даних використовується змінна `lastSend`, яка зберігає момент останнього відправлення, та змінна `interval`, що визначає інтервал між передачами (20 секунд). Такий підхід дозволяє уникнути перевищення обмежень хмарної платформи та забезпечує стабільну роботу системи.

Окремо у програмі визначено коефіцієнти математичної моделі (a , b , c), які використовуються для оцінки вологості кавових зерен. Ці коефіцієнти задають вагомість впливу температури та вологості повітря на розрахунковий показник і можуть бути скориговані в процесі експериментальних досліджень.

Наведений фрагмент коду реалізує початкову конфігурацію програмного забезпечення, включаючи підключення бібліотек, ініціалізацію апаратних модулів та задання основних параметрів системи, що є необхідною передумовою для подальшої реалізації алгоритму її роботи.

3.2.2 Ініціалізація системи та встановлення мережевого з'єднання

Підпрограма `setup` є ключовим етапом ініціалізації всієї комп'ютерної системи, оскільки виконується один раз після запуску мікроконтролера ESP32 і забезпечує підготовку всіх апаратних та програмних компонентів до подальшої роботи. На початку здійснюється ініціалізація послідовного інтерфейсу за допомогою функції `Serial.begin()`, що дозволяє організувати обмін даними з комп'ютером для налагодження та моніторингу роботи системи (рис. 3.5).

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAY_HEATER, OUTPUT);
  pinMode(RELAY_FAN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_HEATER, HIGH);
  digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
  dht.begin();
  sensors.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  WiFi.begin(ssid, password);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Connecting WiFi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  lcd.clear();
  lcd.print("WiFi connected");
  delay(1000);
}

```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду функції setup()

Далі виконується налаштування портів керування виконавчими пристроями. Зокрема, виводи, до яких підключені модулі реле нагрівача та вентилятора, конфігуруються як виходи за допомогою функції pinMode. Після цього на ці виводи подається високий логічний рівень (HIGH), що відповідає вимкненому стану реле (з урахуванням їх активного низького рівня керування). Такий підхід забезпечує безпечний початковий стан системи, при якому виконавчі пристрої залишаються вимкненими.

Наступним етапом є ініціалізація датчиків. Виклик функції dht.begin() запускає роботу датчика температури і вологості DHT22, тоді як sensors.begin() ініціалізує датчик температури DS18B20, підключений за інтерфейсом 1-Wire. Це дозволяє підготувати сенсори до зчитування вимірюваних параметрів у процесі роботи системи.

Для забезпечення візуалізації інформації виконується ініціалізація LCD-дисплея з інтерфейсом I2C. Функція lcd.init() запускає дисплей, а lcd.backlight()

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вмикає підсвічування, що підвищує зручність сприйняття інформації. Після цього на дисплей виводиться повідомлення про процес підключення до бездротової мережі.

Організація мережевого з'єднання реалізується за допомогою функції `WiFi.begin()`, яка ініціює підключення до Wi-Fi мережі з використанням попередньо заданих облікових даних. У циклі `while` здійснюється перевірка статусу підключення за допомогою `WiFi.status()`. Поки з'єднання не встановлено, виконується затримка та виведення символів у послідовний порт, що дозволяє відслідковувати процес підключення.

Після успішного встановлення з'єднання виконується очищення дисплея та виведення повідомлення про успішне підключення до мережі. Коротка затримка забезпечує можливість користувачу ознайомитися з інформацією перед переходом системи до основного режиму роботи.

3.2.3 Реалізація основного циклу роботи та алгоритм керування системою

Підпрограма `loop` реалізує безперервний цикл функціонування комп'ютерної системи на базі мікроконтролера ESP32, у межах якого здійснюється зчитування даних із сенсорів, їх обробка, керування виконавчими пристроями, візуалізація параметрів і передача інформації на хмарний сервіс.

На початку кожної ітерації циклу виконується зчитування відносної вологості та температури повітря з давача DHT22 за допомогою функцій `readHumidity()` та `readTemperature()`. Паралельно ініціюється вимірювання температури за допомогою давача DS18B20, після чого отримується значення температури зерна через функцію `getTempCByIndex` (рис. 3.6).

У програмі передбачено перевірку коректності зчитаних даних із давача DHT22. Якщо отримані значення є некоректними (NaN), виводиться повідомлення про помилку у послідовний порт, і подальше виконання поточної ітерації циклу припиняється. Це дозволяє уникнути використання недостовірних даних у подальших обчисленнях і підвищує надійність роботи системи.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void loop() {
  // ===== Read sensors =====
  float humidity = dht.readHumidity();
  float tempAir = dht.readTemperature();
  sensors.requestTemperatures();
  float tempGrain = sensors.getTempCByIndex(0);
  if (isnan(humidity) || isnan(tempAir)) {
    Serial.println("DHT error");
    return;
  }
  // ===== Moisture model =====
  float grainMoisture = a * humidity + b * tempAir + c;
}

```

Рисунок 3.6 – Фрагмент коду функції loop() для зчитування даних із сенсорів

Після отримання валідних даних виконується обчислення оцінки вологості кавових зерен на основі спрощеної математичної моделі. Значення grainMoisture визначається як лінійна комбінація відносної вологості повітря, температури повітря та емпіричного коефіцієнта. Такий підхід дозволяє оперативно оцінювати стан продукту без використання спеціалізованих вимірювальних приладів.

Керування нагрівачем реалізується на основі порогових значень температури повітря. Якщо температура нижча за мінімально допустиму, на відповідний релейний модуль подається сигнал для увімкнення нагрівача (логічний рівень LOW). У випадку перевищення максимально допустимого значення нагрівач вимикається. Така логіка забезпечує підтримання температури в заданому діапазоні (рис. 3.7).

```

// ===== Heater control =====
if (tempAir < tempMin) {
  digitalWrite(RELAY_HEATER, LOW);
} else if (tempAir > tempMax) {
  digitalWrite(RELAY_HEATER, HIGH);
}
// ===== Fan control =====
if (humidity > humidityMax) {
  digitalWrite(RELAY_FAN, LOW); // увімкнути
} else if (humidity < humidityMin) {
  digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH); // вимкнути
}

```

Рисунок 3.7 – Фрагмент коду для керування нагрівачем та вентилятором

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналогічно реалізується керування вентилятором. Якщо значення відносної вологості перевищує встановлений поріг, вентилятор вмикається для інтенсифікації процесу сушіння. У протилежному випадку він вимикається. Це дозволяє автоматично регулювати умови сушіння відповідно до поточного стану середовища.

Для забезпечення локальної візуалізації даних використовується LCD-дисплей з інтерфейсом I2C. На першому рядку дисплея відображаються значення температури та вологості повітря, а на другому — температура зерна та розрахована вологість. Перед оновленням інформації дисплей очищується, що забезпечує коректне відображення актуальних даних (рис. 3.8).

```
// ===== LCD display =====  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("T:");  
lcd.print(tempAir);  
lcd.print(" H:");  
lcd.print(humidity);  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("G:");  
lcd.print(tempGrain);  
lcd.print(" M:");  
lcd.print(grainMoisture);
```

Рисунок 3.8 – Фрагмент коду для локальної візуалізації даних

Додатково всі виміряні та розраховані параметри виводяться у послідовний порт, що дозволяє здійснювати моніторинг роботи системи в реальному часі та спрощує процес налагодження.

Передача даних на хмарну платформу реалізується з використанням HTTP-запитів. Через заданий інтервал часу перевіряється стан Wi-Fi з'єднання, і у разі його наявності формується URL-запит до сервера з передачею параметрів. За допомогою об'єкта HTTPClient виконується GET-запит, після чого перевіряється код відповіді сервера. У разі успішної передачі виводиться відповідне повідомлення, інакше фіксується помилка (рис. 3.9).

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

```

// ===== Send to ThingSpeak =====
if (millis() - lastSend > interval) {
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    HTTPClient http;
    String url = server;
    url += "?api_key=" + apiKey;
    url += "&field1=" + String(tempAir);
    url += "&field2=" + String(humidity);
    url += "&field3=" + String(tempGrain);
    url += "&field4=" + String(grainMoisture);
    http.begin(url);
    int httpCode = http.GET();
    if (httpCode > 0) {
      Serial.println("Data sent to ThingSpeak");
    } else {
      Serial.println("Error sending data");
    }
    http.end();
  }
  lastSend = millis();
}

```

Рисунок 3.9 – Фрагмент коду для передачі даних на хмарну платформу

Наприкінці кожної ітерації циклу встановлюється затримка тривалістю 2 секунди, що забезпечує стабільність роботи системи та запобігає надмірному навантаженню на мікроконтролер і мережу.

3.3 Налаштування хмарної IoT платформи ThingSpeak

Для забезпечення функцій віддаленого моніторингу, зберігання та візуалізації даних у розроблюваній системі було використано хмарну IoT-платформу ThingSpeak. Налаштування платформи виконувалося з урахуванням необхідності передачі та обробки параметрів, що характеризують процес сушіння кавових зерен, а саме температури повітря, відносної вологості, температури зерен та розрахункової вологості продукту.

На першому етапі було створено новий канал (Channel), який використовується для приймання та зберігання даних від мікроконтролера. У параметрах каналу було задано назву та короткий опис, що відповідають функціональному призначенню системи. Далі було налаштовано поля (Fields)

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каналу, кожне з яких відповідає окремому параметру, що передається з пристрою. Зокрема, було створено чотири поля: перше — для збереження значень температури повітря, друге — для відносної вологості повітря, третє — для температури кавових зерен, четверте — для розрахованої вологості зерен. Такий розподіл дозволив структуровано організувати дані та забезпечити зручність їх подальшого аналізу (рис. 3.10).

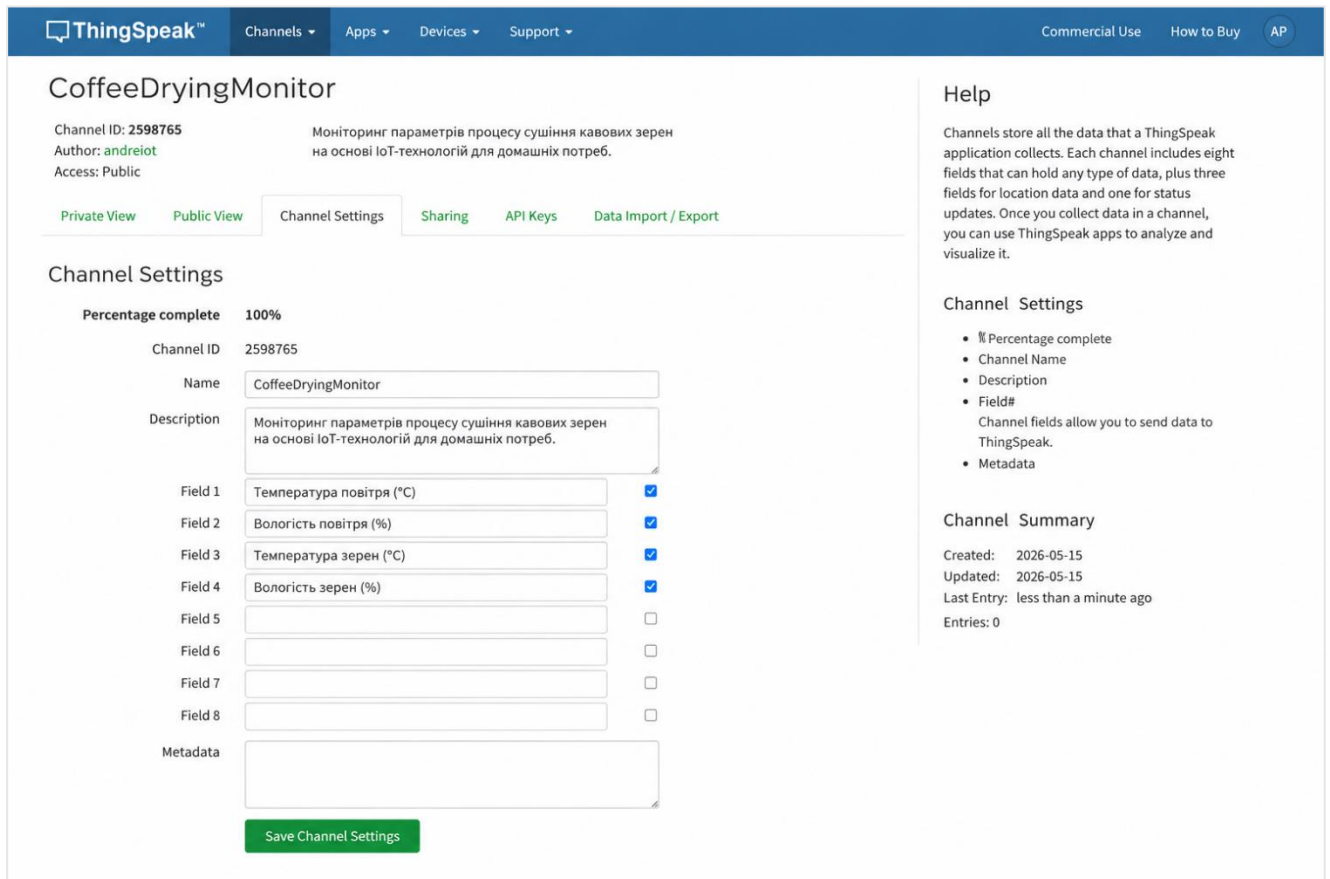


Рисунок 3.10 – Процес створення каналу в ThingSpeak

Після налаштування каналу було отримано унікальний ключ запису (Write API Key), який використовується для автентифікації пристрою при передачі даних на платформу. Даний ключ було інтегровано у програмний код мікроконтролера, що дозволило здійснювати надсилання даних у форматі HTTP-запитів. Передача даних реалізовувалася шляхом формування URL-запиту, який містить значення відповідних полів, що передаються у вигляді параметрів.

Наступним етапом було налаштування візуалізації даних. У середовищі платформи для кожного з полів було створено графіки, які відображають зміну

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

параметрів у часі. Було обрано типи графіків, налаштовано підписи осей, одиниці вимірювання та інтервали відображення. Це дозволило отримувати наочну інформацію про динаміку процесу сушіння та оцінювати ефективність роботи системи.

Додатково було налаштовано інструменти аналітики, що надаються платформою, зокрема можливість використання MATLAB-обчислень для обробки даних. Це дозволило виконувати базовий аналіз отриманих значень, зокрема, обчислення середніх значень, згладжування сигналів або виявлення трендів зміни параметрів. Хоча у межах даної роботи ці можливості використовувалися обмежено, їх наявність відкриває перспективи для подальшого розвитку системи.

Було також враховано обмеження платформи щодо частоти надсилання даних. Встановлено інтервал передачі приблизно 20 секунд, що відповідає вимогам ThingSpeak та забезпечує стабільну роботу системи без перевищення лімітів. Такий інтервал є достатнім для моніторингу процесу сушіння, оскільки зміни параметрів відбуваються відносно повільно.

Для перевірки коректності налаштування було проведено тестову передачу даних з мікроконтролера. У результаті було підтверджено успішне надходження даних до каналу та їх відображення у вигляді графіків. Також було перевірено стабільність з'єднання та відсутність втрат даних при тривалій роботі системи.

Налаштування платформи ThingSpeak забезпечило реалізацію функцій віддаленого збору, зберігання та візуалізації даних, що є невід'ємною складовою цієї комп'ютерної системи.

3.4 Результати моделювання та тестування системи

На етапі розробки комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен було виконано моделювання її роботи у віртуальному середовищі Circuit Designer. Використання даного середовища дозволило перевірити працездатність основних функціональних модулів системи без необхідності негайної реалізації фізичного прототипу, що суттєво спростило процес налагодження та зменшило ризик апаратних помилок.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У середовищі Cirkuit Designer було створено модель системи, яка включала мікроконтролерний модуль ESP32, датчик температури і вологості DHT22, рідкокристалічний дисплей з I2C-інтерфейсом, а також модулі керування виконавчими пристроями. На першому етапі було перевірено коректність підключення компонентів та ініціалізацію інтерфейсів (рис. 3.11).

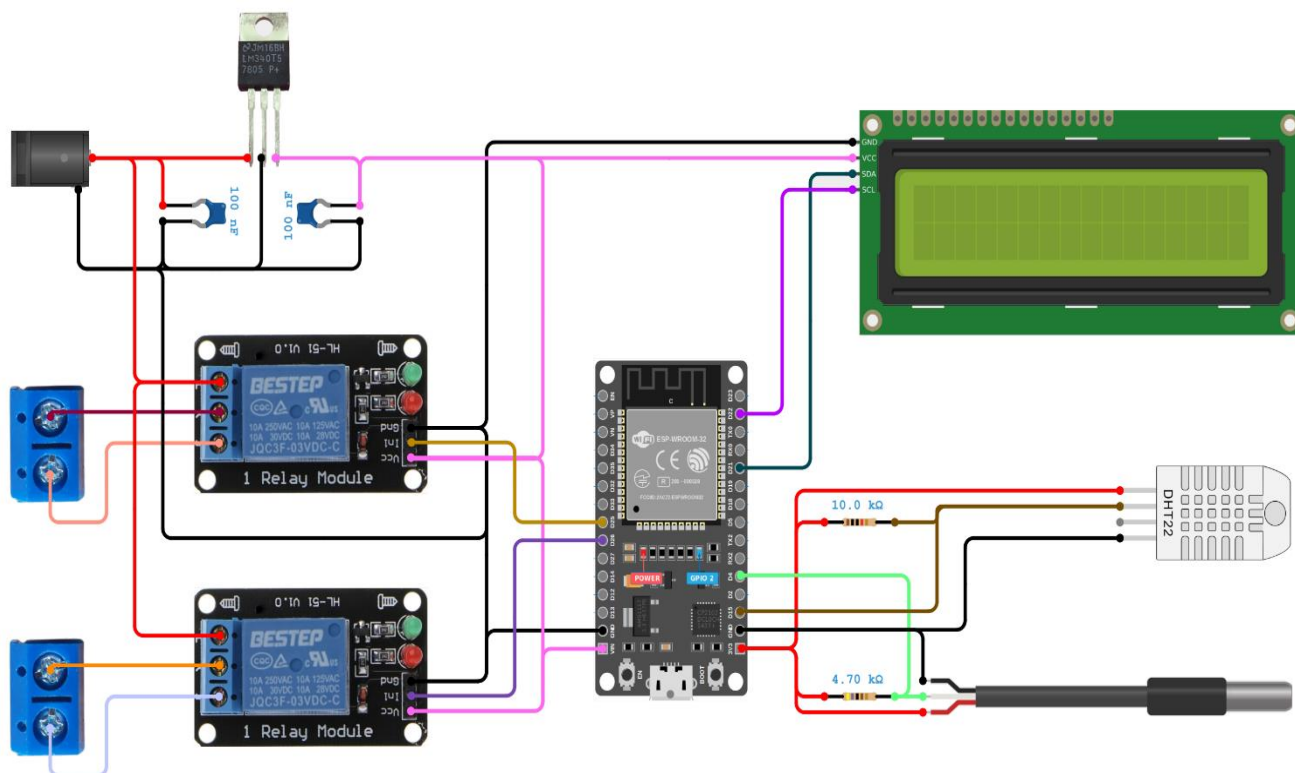


Рисунок 3.11 – Модель системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен

Далі було виконано тестування алгоритму збору даних. У процесі моделювання змінювалися значення температури та вологості, що генерувалися датчиком DHT22, після чого перевірялася правильність їх зчитування, обробки та відображення на дисплеї. Було підтверджено, що система коректно виконує фільтрацію даних, обчислення розрахункової вологості зерен та формує відповідні керуючі сигнали.

Наступним етапом стало тестування логіки керування виконавчими пристроями. У моделі було реалізовано імітацію роботи нагрівача та вентилятора, що дозволило перевірити правильність спрацьовування реле залежно від заданих

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порогових значень температури та вологості. Було встановлено, що система адекватно реагує на зміну вхідних параметрів, забезпечуючи підтримання заданого режиму роботи.

Також у середовищі моделювання було перевірено функціонування інтерфейсу користувача. Дані, що відображаються на LCD-дисплеї, відповідали фактичним значенням параметрів, що підтверджує правильність реалізації програмної частини. Окрім цього, було виконано тестування передачі даних на хмарну платформу, що дозволило переконатися у коректності формування HTTP-запитів та взаємодії з сервісом ThingSpeak.

Після завершення етапу моделювання було здійснено перехід до реалізації фізичного прототипу системи. На першому етапі було виконано монтаж апаратної частини відповідно до розробленої електричної принципової схеми. Було підключено мікроконтролер ESP32, датчі температури і вологості, реле, LCD-дисплей, а також організовано живлення системи.

Наступним етапом стало завантаження ПЗ до мікроконтролера та первинна перевірка працездатності системи. Було виконано тестування зчитування даних із датчиків у реальних умовах. Отримані значення температури та вологості відповідали очікуванім, що підтвердило коректність підключення та налаштування сенсорів.

Далі було перевірено роботу виконавчих пристроїв. При зміні температури або вологості у середовищі вимірювання система коректно вмикала та вимикала нагрівач і вентилятор відповідно до заданих умов. Було підтверджено надійність роботи релейних модулів та відсутність збоїв у процесі комутації навантаження.

Протягом експерименту система безперервно здійснювала збір даних, їх обробку та передачу на хмарну платформу. Дані успішно відображалися у вигляді графіків, що дозволило оцінити динаміку зміни параметрів у часі. Було встановлено, що система працює стабільно, без втрати даних та збоїв зв'язку.

Завершальним етапом стало комплексне тестування системи в умовах, наближених до реального процесу сушіння. Було змодельовано зміну температури та вологості, характерну для сушильного процесу, і перевірено здатність системи

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримувати задані режими роботи. Результати показали, що система ефективно виконує функції моніторингу та керування, забезпечуючи стабільність технологічного процесу.

Результати моделювання та тестування підтвердили працездатність розробленої комп'ютерної системи, правильність обраних технічних рішень та ефективність реалізованого алгоритму.

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						49
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при опіках

Опік – це ушкодження тканин, яке спричинене дією високої температури, електроструму, хімічних речовин, рентгенівських і сонячних променів. Опіки можуть бути первинними (миттєвими) та вторинними. Вторинні опіки є результатом займання одягу та охоплення полум'ям тіла.

Термічні опіки виникають при дії на відкриті ділянки тіла високої температури (полум'я, потрапляння на шкіру гарячої рідини, розпечених предметів).

Залежно від тяжкості розрізняють чотири ступені опіку:

I — почервоніння шкіри і її набряк;

II — пухирі, наповнені жовтуватою рідиною;

III — утворення некрозу шкіри (струпів);

IV — обвуглювання тканин.

Опіки завжди супроводжуються сильними болями в пошкодженій частині тіла. Чим більше обпечена поверхня і чим глибше пошкодження тканин, тим важчий опік. Опіки 1/3—1/2 поверхні тіла і більше є небезпечними для життя потерпілого. Загальний стан потерпілого при значних опіках дуже тяжкий. Можливе виникнення шоку.

Необхідно швидко вивести або винести потерпілого з зони вогню, припинити контакт з гарячими речовинами. При займанні одягу треба негайно його загасити і зняти тліючі залишки. Залишки одягу, що прилипли до тіла ні в якому разі не можна здирати, а обережно зрізати ножицями. На обпечену поверхню накласти ватно-марлеву пов'язку, змочену в спирті. Якщо є 0,5 % розчин новокаїну, то ним зрошують обпечену поверхню.

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Золотник Р.Р.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					50	6
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

При опіках незначного розміру I ступеня можна обмежитись змазуванням обпеченої частини шкіри 2-3 % розчином марганцевокислого калію та накладанням стерильної пов'язки (на обличчя пов'язку накладати не слід). У випадку значних опіків потерпілого потрібно загорнути в чисте простирадло, а зверху — в теплу ковдру. В разі значних опіків кінцівок потрібно накласти на них транспортні шини [32].

Потерпілі зі значними опіками, які супроводжуються тяжким загальним станом, повинні отримувати необмежену кількість пиття: водно-соляний розчин (одна чайна ложка солі та 1/2 чайної ложки соди на 1 л води), гарячий та солодкий чай. Для зменшення болю дати потерпілому таблетку знеболюючого або 100-150 мл вина чи горілки. Таких потерпілих, а також потерпілих з опіками II-IV ступенів, незалежно від площі пошкодження, потрібно негайно направити до медичного закладу. Під час транспортування не допускати переохолодження потерпілого, до обпечених ділянок не можна торкатися руками, не можна проколювати пухирі і відривати шматки одягу, що прилипли до місць опіку, не можна накладати мазі, порошки, робити примочки [32].

При обмежених опіках, спричинених окропом, обпечену поверхню тіла охолоджують холодною водою з-під крану впродовж 10 хв. Після цього накладають асептичну суху пов'язку, застосовуючи чисту бавовняну тканину, бинт, індивідуальний пакет. У випадку поширених опіків потерпілого загортають у чисте простирадло, вкриваючи ковдрою зверху, та дають пити чай.

Хімічні опіки виникають внаслідок дії на дихальні шляхи, шкіру і слизові оболонки концентрованих неорганічних та органічних кислот, лугів, фосфору, інших речовин. При горінні або вибухах хімічних речовин утворюються термохімічні опіки. Основні зовнішні ознаки хімічних опіків аналогічні термічним опікам. За глибиною ураження тканин хімічні опіки також поділяються на чотири ступені [32].

Опіки кислотами дуже глибокі, на місці опіку утворюється сухий струп. Від азотної кислоти він має світло-жовтий колір, сірчаної кислоти — сіро-білий з

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступною зміною до коричнево-чорного кольору. Обпечені лугами частини тіла мають блідий колір. При опіку лугами тканина волога, тому ці опіки переносяться важче, ніж опіки кислотами.

Якщо одяг потерпілого просочився хімічною речовиною, його треба швидко зняти, розрізати чи розірвати на місці події. Потім механічно видаляють речовини, що потрапили на шкіру (наприклад, вапно), енергійно змивають їх струменем води (краще під тиском — з водопроводу, насоса) не менше як 10-15 хвилин, поки не зникне специфічний запах. Якщо є можливість, то після промивання водою обпечені частини обмивають такими розчинами: у випадках опіку кислотами — 2 % розчином соди чи мильною водою; у випадках опіку лугами — 1-2 % розчином оцтової, лимонної чи борної кислоти. В разі опіку фосфором роблять примочки з 5 % розчину марганцевокислого калію. Після цього на обпечену поверхню потрібно накласти суху пов'язку [32].

При потраплянні хімічної речовини у дихальні шляхи необхідно прополоскати горло водним 3 % розчином борної кислоти, цим же розчином промити очі. У випадку хімічного опіку стравоходу та шлунка потрібно пити сирі яйця або соняшникову олію.

Не можна змивати хімічні сполуки, які займаються або вибухають при контакті з вологою. Якщо невідомо, яка хімічна речовина викликала опік, і немає нейтралізуючого засобу, на місце опіку необхідно накласти чисту суху пов'язку. Потерпілих з хімічними опіками необхідно негайно направити в медичний заклад.

4.2 Заходи щодо захисту обладнання від короткого замикання

Коротке замикання – це електричне з'єднання двох точок електричного кола з різними значеннями потенціалів, яке порушує його нормальну роботу і не передбачене конструкцією пристрою. Коротке замикання може виникати при пошкодженні ізоляції струмоведучих елементів або внаслідок механічного контакту елементів, які працюють без ізоляції. Також коротким замиканням

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вважається стан, при якому опір навантаження менший за внутрішній опір джерела живлення [33].

У трифазних електричних мережах розрізняють такі види коротких замикань:

- однофазне (замикання фази на землю);
- двофазне на землю (дві фази замикаються між собою і одночасно на землю);
- двофазне (замикання двох фаз між собою);
- трифазне (три фази замикаються між собою).

В електричних машинах можливі такі види коротких замикань:

- міжвиткове – замикання між собою витків обмотки статора або ротора;
- замикання обмотки на металевий корпус.

З метою захисту від короткого замикання вживають спеціальні заходи, зокрема, обмежують струм короткого замикання [33]:

- використовують пристрої релейного захисту для відключення пошкоджених ділянок кола;
- застосовують обладнання автоматичного вимкнення – швидкодіючий комутаційний апарат з функцією обмеження струму короткого замикання тобто автоматичні вимикачі чи плавкі запобіжники;
- використовують розпаралелювання електричних кіл тобто відключення секційних і шиноз'єднувальних вимикачів;
- застосовують знижувальні трансформатори з розщепленою обмоткою низької напруги;
- встановлюють струмообмежуючі електричні реактори.

Реактор являє собою котушку з індуктивним опором. Він підключається в електричне коло по послідовній схемі. В нормальному режимі роботи на реакторі є падіння напруги близько 4 %. У випадку виникнення короткого замикання основна частина напруги припадає на реактор. Існує декілька видів реакторів: масляні, бетонні [33].

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною причиною появи коротких замикань є пошкодження ізоляції електрообладнання, яке може бути викликаним [33]:

- незадовільним доглядом за обладнанням;
- механічним пошкодженням ізоляції, проїздом під лініями негабаритних механізмів;
- старінням ізоляції;
- прямими ударами блискавки;
- перенапруженням (особливо в мережах з ізольованими нейтраліями).

Частою причиною пошкоджень в електричній частині електрообладнання є некваліфіковані дії обслуговуючого персоналу.

При застосуванні спрощених схем з'єднань понижуючих підстанцій використовують спеціальні пристрої – короткозамикачі, які створюють навмисні короткі замикання для швидких відключень ушкоджень, які виникли. Поряд з короткими замиканнями випадкового характеру в системах електропостачання присутні також навмисні короткі замикання, які викликані внаслідок дії короткозамикачів.

При появі в системі електропостачання коротких замикань її загальний опір зменшується, що спричиняє збільшення струмів в її колах в порівнянні зі значеннями струмів нормального режиму, а це призводить до зниження напруги окремих точок системи електропостачання, яке є особливо великим поблизу місця короткого замикання.

В залежності від тривалості і місця виникнення ушкодження його наслідки можуть відбиватися на всій системі електропостачання або мати місцевий характер.

При великій віддаленості короткого замикання значення струму короткого замикання може становити лише невелику частину номінального струму живлення генераторів і поява такого короткого замикання сприймається ними як невелике підвищення навантаження. Сильне зниження напруги виникає лише поблизу місця короткого замикання, в той час як в інших точках системи електропостачання це зниження є менш помітним. При таких умовах небезпечні наслідки короткого

					<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

замикання будуть проявлятися лише в найближчих до місця аварії частинах системи електропостачання [34].

Струм короткого замикання, будучи навіть малим у порівнянні з номінальним струмом генераторів, зазвичай у багато разів перевищує номінальний струм кола, в якому трапилось коротке замикання. Тому і при короткочасному протіканні струму короткого замикання він може спричинити додатковий нагрів провідників і струмоведучих елементів вище допустимого рівня.

Струми короткого замикання спричиняють суттєві механічні зусилля між провідниками, які є особливо великими на початку процесу короткого замикання, коли струм досягає максимального значення. При недостатній міцності провідників і їх кріплень можуть виникати руйнування механічного характеру.

Різке глибоке зниження напруги при короткому замиканні впливає на роботу споживачів. В першу чергу це відноситься до двигунів, тому що навіть при короткочасному зниженні напруги на 30-40 % вони можуть зупинитися, при цьому відбувається перекидання двигунів [34]. Цей процес негативно відбивається на роботі промислового підприємства, оскільки для відновлення нормального виробничого процесу потрібен тривалий час і несподівана зупинка двигунів може спричинити брак продукції підприємства.

При достатній тривалості і малій віддаленості короткого замикання можливе випадання з синхронізму станцій, які працюють паралельно, тобто порушення нормальної роботи всієї електричної системи, що є небезпечним наслідком короткого замикання.

Існують такі наслідки коротких замикань [34]:

- електромагнітний вплив на комунікації та лінії зв'язку;
- випадання із синхронізму окремих частин електричної системи, електростанцій і генераторів та виникнення аварій, включаючи системні аварії;
- зниження рівня напруги в мережі, що спричиняє гальмування електродвигунів, зменшення їх обертового моменту, зниження продуктивності або навіть до їх перекидання;
- займання в електроустановках;
- термічні та механічні пошкодження електрообладнання.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставлену мету, що полягала у розробці комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій.

Проаналізовано технічне завдання, визначено основні вимоги до системи та виконано огляд існуючих рішень у сфері моніторингу та керування процесами сушіння. У результаті аналізу встановлено їхні обмеження, що обґрунтувало необхідність розробки власного рішення.

Описано структуру комп'ютерної системи, створено структурну та електричну принципову схеми, а також обґрунтовано вибір апаратних компонентів. Запропонована конфігурація забезпечує надійний збір даних, керування виконавчими пристроями та можливість масштабування системи.

Розроблено алгоритм роботи системи, реалізовано ПЗ для мікроконтролера та виконано інтеграцію з хмарною IoT-платформою. Це забезпечило можливість віддаленого моніторингу параметрів процесу та їх подальшого аналізу.

У процесі моделювання та експериментального тестування було підтверджено працездатність системи, коректність функціонування її основних компонентів та стабільність роботи в різних режимах.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yu P., Zhu W., Shen C., Qiao Y., Zhang W., Zhu Y., Cai J. Current status of grain drying technology and equipment development: A review. *Foods*, 2025. 14(14), P. 2426.
2. Chang K., Li J., Jin Y., Liu C. Development of Grain Dryer Control Technology from the Perspective of Low Carbon and Intelligentization. *Applied Sciences*, 2024. 14(22). P. 10587.
3. Manjunatha K.N., Manjunath A., Kammar P.Y., Revankar R.R., Rutkute S.S., Patil M. Automated Solar Concentrated Coffee Bean Dryer with Real Time Monitoring System. In 2025 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKECS). 2025. P. 1-7.
4. Anwari M.F., Hamidi E.A.Z., Ridwan A.M., Yuningsih Y., Fitriani P.D., Halim I.A., Chidayah P.P.N. Automation System in Coffee Beans Dying Process Based on IoT. In 2023 9th International Conference on Wireless and Telematics. 2023. P. 1-5.
5. Acosta-Minoli C., Carmona P.C., Mesa-Mazo M., Vargas-Gil J.D., Velásquez J.P. IoT-based technology for the coffee drying process data analysis of small farmers. *Revista Facultad de Ingeniería*, 2024. 33(69). P. 145-154.
6. 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.
7. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
8. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018. 740 с.
9. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek Ł. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*. Volume 18, Issue 2, 2024. P. 296–304.
10. Lupenko S.A., Osukhivska H.M., Lutsyk N.S., Stadnyk N.B., Zozulia A.M., Shablii N.R. The comparative analysis of mathematical models of cyclic signals structure and processes. *Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine*, 2016. 82(2), P. 115-127.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

12. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A., Khvostivska L. Component method for analyzing the energy consumption signal as a periodically correlated random process. ITTAP'2025: 5th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems. Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 4146. P. 128-137.

13. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.

14. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

15. Palamar M., Yavorska M., Palamar A., Strembitskyi M. Modeling and Research of Satellite Antenna Adjustment Process for Earth Remote Sensing. 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, Kharkiv, Ukraine, November 14-18, 2022. P. 317-320.

16. Strembitskyi M., Yavorska M., Palamar A., Kochan R., Yeromenko V. A comparative study of bug algorithms for robot navigation. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2025), Ternopil, Ukraine, June 11-12, 2025. Vol. 4057 P. 312-321.

17. Palamar M., Nakonetchnyi Y., Palamar A., Strembitskyi M., Apostol Y. Modernization of the azimuth drive design for the antenna system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 117, No 1, P. 54–61.

18. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

20. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2024), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

21. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

22. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

23. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851.

24. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Комп'ютерна система для моніторингу метеорологічних параметрів на основі IoT. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей Х міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24–25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 112.

25. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

27. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

28. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

29. Palamar A., Karpinskyy M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

30. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

31. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

32. Ярошевська В.М. Безпека життєдіяльності. Підручник. – 2-е вид. К.: ВД „Професіонал”, 2006. 560 с.

33. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К.: Основа, 2016. 267 с.

34. Бедрій Я.І. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-е вид. перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2018. 240 с.

					КС КРБ 123.165.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедру КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ
СУШІННЯ КАВОВИХ ЗЕРЕН НА ОСНОВІ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н. Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

_____ Золотник Р.Р.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютерна система моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.165.00.00.

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Золотник Роман-Віктор Романович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/9-188 від «24» квітня 2026 року.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 21.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Оформлення технічної документації до кваліфікаційної роботи бакалавра здійснюється згідно діючих вимог вітчизняних та міжнародних стандартів. Технічна документація до кваліфікаційної роботи бакалавра включає в себе текст пояснювальної записки та креслення, які максимально інформативно та стисло відображають основні результати розробки комп'ютерної системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технологій. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проектування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЕСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система призначена для автоматизованого збору даних з сенсорів, що контролюють ключові параметри процесу сушіння кавових зерен, їх передавання, збереження, візуалізації та подальшого аналізу з використанням IoT-технологій. Система має забезпечувати безперервний моніторинг процесу та надавати користувачеві актуальну інформацію про стан сушіння у зручному для сприйняття вигляді.

Основним призначенням системи є підвищення ефективності процесу сушіння, зменшення впливу людського фактору та створення умов для прийняття обґрунтованих рішень щодо коригування технологічних параметрів.

2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є розробка апаратно-програмного комплексу, який забезпечить централізований контроль параметрів сушіння кавових зерен, їх візуалізацію в реальному часі та накопичення історичних даних для аналізу і оптимізації технологічного процесу.

Досягнення поставленої мети передбачає впровадження сучасних IoT-підходів, що дозволяють реалізувати віддалений доступ до даних, масштабованість системи та можливість її подальшої модернізації.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом автоматизації є процес сушіння кавових зерен, який характеризується зміною фізичних параметрів середовища та матеріалу сушіння. До основних параметрів, що впливають на якість сушіння, належать температура, відносна вологість повітря та тривалість процесу. Об'єкт має динамічний характер і потребує постійного контролю з метою запобігання пересушуванню або недостатньому висушуванню зерен.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути модульною, надійною та адаптованою до умов тривалої безперервної експлуатації. Вона має забезпечувати стабільну роботу апаратної та програмної частин, можливість віддаленого доступу до даних і простоту використання для кінцевого користувача. Архітектура системи повинна передбачати можливість розширення функціоналу без суттєвих змін базової структури.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структурно система повинна складатися з таких основних компонентів:

- вимірювального модуля з сенсорами температури та вологості;
- мікроконтролерного блоку для обробки та передавання даних;
- каналу зв'язку для передавання інформації до IoT-платформи;
- серверної або хмарної частини для зберігання та візуалізації даних;
- клієнтського інтерфейсу користувача.

Функціонування системи має бути організоване за принципом циклічного збору даних з подальшим їх передаванням і обробкою.

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

Передавання даних між вимірювальним модулем та IoT-платформою повинно здійснюватися з використанням бездротових технологій зв'язку, зокрема Wi-Fi. Протоколи обміну даними мають бути стандартними, надійними та енергоефективними. Система повинна забезпечувати коректну роботу при короткочасних втратах зв'язку з подальшим відновленням передавання даних.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати кілька режимів роботи, зокрема:

- основний режим безперервного моніторингу;
- режим налаштування та калібрування сенсорів;
- тестовий режим для перевірки працездатності компонентів.

Перехід між режимами має здійснюватися програмно без необхідності втручання в апаратну частину.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Архітектура системи повинна передбачати можливість підключення додаткових сенсорів, реалізацію функцій автоматичного керування процесом сушіння та інтеграцію з іншими інформаційними системами. Також допускається розширення аналітичного функціоналу шляхом впровадження алгоритмів прогнозування та оптимізації.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу без збоїв. Апаратні компоненти мають бути захищені від впливу зовнішніх факторів, характерних для виробничого середовища. Програмне забезпечення повинно передбачати обробку помилок та некоректних даних.

Показники надійності системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,8 %.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Система повинна виконувати такі основні функції:

- збір даних з сенсорів у реальному часі;
- попередню обробку та фільтрацію даних;
- передавання інформації на IoT-платформу;
- візуалізацію поточних і архівних даних;
- забезпечення доступу користувача до результатів аналізу.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратна частина системи повинна базуватися на сучасному мікроконтролері з достатнім обсягом пам'яті та підтримкою бездротового зв'язку. Сенсори повинні забезпечувати необхідну точність вимірювань і бути сумісними з мікроконтролером. Живлення системи має бути стабільним та безпечним.

Вимоги до елементної бази розробки:

- режими роботи і умови експлуатації вибраних елементів повинні відповідати вказаним в ТЗ;
- вибрана елементна база має забезпечувати необхідні режими роботи системи;
- елементна база по можливості має бути широкоживаною, доступною і дешевою. Необхідно також враховувати можливість заміни вибраних елементів на аналогічні (вітчизняні чи імпортного виробництва).

Вимоги до мікроконтролера:

- мікроконтролер має підтримувати RISC архітектуру команд;
- мікроконтролер повинен містити необхідний набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.) та потрібну кількість керованих портів введення /виведення.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 1. структурна схема системи;
 2. схема електрична принципова;
 3. блок-схема алгоритму роботи;
 4. результати моделювання системи.

*Примітка: В комплект конструкторської 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 КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02 – 15.02
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютерної системи	20.04 – 25.04
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютерної системи	26.04 – 05.05
5.	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	26.05 – 07.06
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	08.06 – 14.06
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	22.06.2026

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

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

Додаток Б
Перелік елементів

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Конденсатори</u>		
C1, C2	0805-X7R-50V-100 нФ±20%	2	
	<u>Мікросхема</u>		
DD1	Стабілізатор напруги LM7805	1	
	<u>Дисплеї</u>		
LCD1	LCD дисплей з I2C модулем	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	0805-0,125-4,7 кОм±5%	1	
R2	0805-0,125-10 кОм±5%	1	
	<u>Реле</u>		
RL1, RL2	Модуль реле 5VDC JQC-3FF-S-Z	2	
	<u>Модулі</u>		
U1	Wi-Fi модуль ESP-32 DevKit V1	1	
U2	Цифровий давач температури DS18B20	1	
U3	Дачач температури та вологості DHT22	1	
	<u>Роз'єми</u>		
X1 ... X3	Роз'єм ХН2.54-3Р 2-х контактний	3	

<i>КС КРБ 123.165.00.00 ПЕ</i>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Золотник Р.Р.		
Перевірів		Осухівська Г.М.		
Рецензент		Литвиненко Я.В.		
Н. Контр.		Луцик Н.С.		
Зав. каф.		Осухівська Г.М.		
Пристрій для моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен на основі IoT-технології Перелік елементів				
		Літ.	Арк.	Акрушів
			71	1
ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера для реалізації системи моніторингу та контролю процесу сушіння кавових зерен.

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "secret.h"

// ===== DHT22 =====
#define DHTPIN 15
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
// ===== DS18B20 =====
#define ONE_WIRE_BUS 4
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// ===== LCD =====
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// ===== Relay pins =====
#define RELAY_HEATER 25
#define RELAY_FAN 26
// ===== Thresholds =====
float tempMin = 30.0;
float tempMax = 45.0;
float humidityMin = 60.0;
float humidityMax = 70.0;
// ===== Time =====
unsigned long lastSend = 0;
unsigned long interval = 20000; // 20 сек
// ===== Model coefficients =====
float a = 0.5;
float b = 0.3;
float c = 5;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
```

```

pinMode(RELAY_HEATER, OUTPUT);
pinMode(RELAY_FAN, OUTPUT);
digitalWrite(RELAY_HEATER, HIGH);
digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
dht.begin();
sensors.begin();
lcd.init();
lcd.backlight();
WiFi.begin(ssid, password);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Connecting WiFi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
lcd.clear();
lcd.print("WiFi connected");
delay(1000);
}

void loop() {
    // ===== Read sensors =====
    float humidity = dht.readHumidity();
    float tempAir = dht.readTemperature();
    sensors.requestTemperatures();
    float tempGrain = sensors.getTempCByIndex(0);
    if (isnan(humidity) || isnan(tempAir)) {
        Serial.println("DHT error");
        return;
    }
    // ===== Moisture model =====
    float grainMoisture = a * humidity + b * tempAir + c;
    // ===== Heater control =====
    if (tempAir < tempMin) {
        digitalWrite(RELAY_HEATER, LOW);
    } else if (tempAir > tempMax) {
        digitalWrite(RELAY_HEATER, HIGH);
    }
    // ===== Fan control =====
    if (humidity > humidityMax) {
        digitalWrite(RELAY_FAN, LOW); // увімкнути
    } else if (humidity < humidityMin) {
        digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH); // вимкнути
    }
    // ===== LCD display =====

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T:");
lcd.print(tempAir);
lcd.print(" H:");
lcd.print(humidity);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("G:");
lcd.print(tempGrain);
lcd.print(" M:");
lcd.print(grainMoisture);

// ===== Serial output =====
Serial.println("-----");
Serial.print("Temp Air: "); Serial.println(tempAir);
Serial.print("Humidity: "); Serial.println(humidity);
Serial.print("Temp Grain: "); Serial.println(tempGrain);
Serial.print("Moisture: "); Serial.println(grainMoisture);

// ===== Send to ThingSpeak =====
if (millis() - lastSend > interval) {
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    HTTPClient http;
    String url = server;
    url += "?api_key=" + apiKey;
    url += "&field1=" + String(tempAir);
    url += "&field2=" + String(humidity);
    url += "&field3=" + String(tempGrain);
    url += "&field4=" + String(grainMoisture);
    http.begin(url);
    int httpCode = http.GET();
    if (httpCode > 0) {
      Serial.println("Data sent to ThingSpeak");
    } else {
      Serial.println("Error sending data");
    }
    http.end();
  }
  lastSend = millis();
}

delay(2000);
}

```