

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система дистанційного моніторингу стану
здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІс-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Калінчук В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тихо Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гром'як Р.С.

(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 Калінчуку Віталію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій

Керівник роботи Луцик Надія Степанівна, PhD, доцент

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

Затверджені наказом ректора від «24» квітня 2026 року № 4/9-189

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна 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

Калінчук В.В. Комп'ютерна система дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби 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, дистанційний моніторинг, стан здоров'я, поведінка тварин, мікроконтролер, сенсори.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютерної системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності тваринництва, своєчасного виявлення відхилень у фізіологічному стані тварин та зменшення витрат на їх обслуговування шляхом застосування сучасних інформаційних технологій.

У першому розділі роботи проаналізовано технічне завдання, визначено мету та основні функції системи, а також сформульовано вимоги до її апаратної та програмної частин. Проведено огляд існуючих аналогів систем моніторингу в тваринництві, проаналізовано їх переваги та недоліки, що дозволило обґрунтувати доцільність розробки власного рішення.

У другому розділі розроблено структурну схему та апаратне забезпечення системи, здійснено обґрунтований вибір елементної бази, зокрема мікроконтролера, сенсорів та засобів бездротового зв'язку.

У третьому розділі розроблено алгоритм функціонування системи та реалізовано програмне забезпечення для збору, обробки і передавання даних. Описано результати тестування розробленої системи та оцінку її працездатності.

ANNOTATION

Kalynchuk V.V. Computer System for Remote Monitoring of the Health and Behavior of Cattle 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, remote monitoring, health condition, animal behavior, microcontroller, sensors.

The bachelor's qualification work is devoted to the development of a computer system for remote monitoring of the health and behavior of cattle based on IoT technologies. The relevance of the topic is determined by the need to increase the efficiency of livestock farming, ensure timely detection of deviations in the physiological state of animals, and reduce maintenance costs through the use of modern information technologies.

In the first section, the technical specification is analyzed, the purpose and main functions of the system are defined, and the requirements for its hardware and software components are formulated. An overview of existing analogues of monitoring systems in animal husbandry is provided, and their advantages and disadvantages are analyzed, which made it possible to justify the feasibility of developing our own solution.

The second section focuses on the design of the system architecture and hardware, including a justified selection of the element base such as the microcontroller, sensors, and wireless communication modules.

In the third section, the system operation algorithm is developed and the software for data acquisition, processing, and transmission is implemented. The results of testing the developed system and evaluating its performance are described.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби	10
1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби	12
1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби.....	13
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Структура комп'ютерної системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби	19
2.2 Розробка апаратного забезпечення системи моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби	21
2.2.1 Мікроконтролерний модуль ESP32-S3 N16R8.....	21
2.2.2 Давач температури тіла MAX30205	24
2.2.3 Давач пульсу MAX30102.....	26
2.2.4 Модуль MPU-6050	28
2.2.5 GPS-модуль NEO-6M.....	31
2.3 Розробка електричної схеми пристрою	33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	36
3.1 Розробка алгоритму роботи системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби	36
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	39
3.2.1 Опис функції setup().....	39

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Комп'ютерна система дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Калінчук В.В.</i>						5	76
<i>Перевірів</i>	<i>Луцик Н.С.</i>							
<i>Рецензент</i>	<i>Гром'як Р.С.</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Тиш Е.В.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Осухівська Г.М.</i>						<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>	

3.2.2	Опис функції loop()	41
3.2.3	Опис функцій для опитування датчиків.	41
3.2.4	Опис підпрограми checkAlerts	43
3.2.5	Опис підпрограми sendToUbidots	44
3.3	Реалізація віддаленого моніторингу.	45
3.4	Результати моделювання та тестування системи	47
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		50
4.1	Менеджмент безпеки	50
4.2	Заходи з техніки безпеки при виготовленні печатних плат, при паянні та склеюванні деталей	53
ВИСНОВКИ		57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		58
Додаток А Технічне завдання		
Додаток Б Перелік елементів		
Додаток В Лістинг програми		

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

GPS – Global Positioning System

IoT – Internet of Things

I2C – Inter-Integrated Circuit

JSON – JavaScript Object Notation

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

ВРХ – велика рогата худоба

ДП – давач пульсу

ДТ – давач температури

ІВС – інформаційно-вимірювальна система

КСМ – комп'ютерна система моніторингу

МП – мікроконтролерна плата

РФА – рівень фізичної активності

ССС – серцево-судинна система

ЧСС – частота серцевих скорочень

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу супроводжується активним упровадженням цифрових та комунікаційних технологій, спрямованих на підвищення ефективності виробництва, якості продукції та зменшення експлуатаційних витрат. Однією з ключових проблем у галузі тваринництва є своєчасний контроль стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби, від якого безпосередньо залежать продуктивність, рівень захворюваності та економічні показники господарств. Традиційні методи спостереження, що ґрунтуються на візуальному контролі та періодичних оглядах, є трудомісткими, суб'єктивними та не забезпечують оперативного виявлення відхилень у фізіологічному стані тварин.

У зв'язку з цим актуальною є задача розробки комп'ютерної системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій, яка дозволить автоматизувати процес збору та обробки даних, забезпечити безперервний контроль ключових параметрів та передавання інформації користувачу в реальному часі. Використання сенсорних пристроїв, мікроконтролерних платформ і хмарних сервісів створює передумови для побудови гнучких, масштабованих та енергоефективних систем моніторингу, адаптованих до умов сучасних фермерських господарств.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютерної системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби із застосуванням IoT-технологій, що забезпечує збір, обробку, передавання та візуалізацію даних для підвищення ефективності управління тваринницьким господарством.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- проаналізувати предметну область та сформулювати технічне завдання на розробку системи;
- визначити функціональні та нефункціональні вимоги до апаратного і програмного забезпечення;

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконати огляд і аналіз існуючих аналогів систем моніторингу в тваринництві;
- розробити структурну схему та апаратну частину комп'ютерної системи;
- обґрунтувати вибір елементної бази, зокрема мікроконтролера, сенсорів і засобів зв'язку;
- розробити алгоритм функціонування системи та реалізувати програмне забезпечення;
- провести тестування розробленої системи та оцінити її працездатність і ефективність.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування систем контролю стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

Комп'ютерні системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки сільськогосподарських тварин набувають дедалі більшого поширення в умовах сучасного тваринництва, що зумовлено зростанням масштабів господарств, підвищенням вимог до якості продукції та необхідністю оптимізації виробничих процесів. Використання таких систем дозволяє автоматизувати контроль за станом тварин, зменшити вплив людського фактора та забезпечити оперативне отримання інформації про фізіологічні й поведінкові зміни, які можуть свідчити про захворювання, стрес або порушення умов утримання.

Однією з основних сфер застосування комп'ютерних систем моніторингу є промислові тваринницькі комплекси, де утримується значна кількість поголів'я. У таких умовах традиційні методи спостереження є малоефективними, оскільки не дозволяють здійснювати безперервний індивідуальний контроль кожної тварини. Впровадження IoT-орієнтованих рішень забезпечує можливість цілодобового збору даних про активність, рухову поведінку, температуру тіла та інші параметри, що дає змогу своєчасно виявляти відхилення від норми та запобігати розвитку захворювань.

Іншою важливою сферою застосування є фермерські господарства середнього та малого масштабу, де ресурси для постійного ветеринарного контролю є обмеженими. Комп'ютерна система дистанційного моніторингу в таких умовах виступає інструментом підтримки прийняття рішень, дозволяючи фермеру отримувати об'єктивні дані про стан тварин без необхідності їх постійного фізичного огляду. Це сприяє зниженню витрат на обслуговування поголів'я та підвищенню ефективності управління фермою.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Калінчук В.В.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцук Н.С.</i>					<i>10</i>	<i>9</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Гром'як Р.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

Значний потенціал використання таких систем спостерігається також у племінному тваринництві, де особлива увага приділяється контролю фізіологічного стану та поведінкових характеристик тварин. Аналіз даних, отриманих за допомогою сенсорних пристроїв, дозволяє оцінювати рівень активності, репродуктивні цикли та реакцію тварин на зміну умов утримання, що є важливим для селекційної роботи та підвищення якості поголів'я.

Окремою сферою застосування комп'ютерних систем дистанційного моніторингу є ветеринарна практика та наукові дослідження. Зібрані в автоматичному режимі дані можуть використовуватися для аналізу динаміки захворювань, оцінювання ефективності лікувальних заходів та розробки нових методик утримання і догляду за тваринами. Завдяки можливості збереження історичних даних та їх подальшої обробки з використанням аналітичних інструментів, система створює передумови для формування науково обґрунтованих рекомендацій.

Крім того, впровадження систем моніторингу відповідає сучасним тенденціям цифровізації аграрного сектору та розвитку концепції «розумного фермерства». Інтеграція таких систем з іншими інформаційними рішеннями, зокрема системами управління годівлею, мікрокліматом та логістикою, дозволяє створити єдине інформаційне середовище для комплексного управління тваринницьким господарством. Це забезпечує підвищення продуктивності, зменшення втрат та поліпшення умов утримання тварин.

Отже, аналіз сфер застосування комп'ютерної системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби свідчить про її універсальність та високу практичну значущість. Застосування таких систем є доцільним як у великих промислових комплексах, так і в малих фермерських господарствах, у племінному тваринництві, ветеринарній практиці та наукових дослідженнях, що підтверджує актуальність та перспективність розробки проєктованої системи.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

Вимоги до системи формуються з урахуванням специфіки об'єкта моніторингу, умов експлуатації, а також потреб кінцевих користувачів, до яких належать фермери, оператори тваринницьких комплексів і ветеринарні фахівці.

Першочерговими є функціональні вимоги, що передбачають забезпечення безперервного збору даних про фізіологічний стан та поведінкову активність тварин. Система повинна підтримувати вимірювання ключових параметрів, їх первинну обробку, зберігання та передавання на віддалені сервери або хмарні платформи. Важливою вимогою є можливість формування сповіщень у разі виявлення відхилень від нормальних показників, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні проблеми зі здоров'ям тварин.

Не менш важливими є нефункціональні вимоги, зокрема вимоги до надійності та безперервності роботи системи. З огляду на умови експлуатації в тваринницьких господарствах, система повинна бути стійкою до впливу зовнішніх факторів, таких як вологість, пил, механічні навантаження та температурні коливання. Також необхідно забезпечити коректне відновлення роботи після тимчасових збоїв живлення або втрати зв'язку.

Вимоги до продуктивності системи полягають у забезпеченні своєчасного передавання даних з мінімальними затримками, що є критичним для реалізації функцій оперативного моніторингу та сповіщення. При цьому система має бути енергоефективною, оскільки сенсорні вузли часто працюють автономно та обмежені ресурсами живлення. Це зумовлює необхідність оптимізації алгоритмів обробки даних та використання енергоощадних режимів роботи.

Окрему увагу слід приділити вимогам до масштабованості та гнучкості системи. Проектоване рішення повинно передбачати можливість збільшення кількості підключених сенсорних вузлів, розширення переліку контрольованих параметрів та інтеграцію з іншими системами управління фермою. Крім того,

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

система має забезпечувати захист даних та контроль доступу до інформації, що є важливим з точки зору інформаційної безпеки.

Отже, аналіз вимог до комп'ютерної системи дозволяє сформуванню комплексного уявлення про необхідні функціональні та технічні характеристики, які слугують основою для подальшого проектування апаратного і програмного забезпечення та забезпечують відповідність системи поставленим завданням.

1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

На сучасному ринку представлено ряд рішень, що використовують технології Інтернету речей (IoT), сенсорні пристрої та алгоритми обробки даних для моніторингу здоров'я та поведінки великої рогатої худоби. Ці системи різняться за функціональністю, способами збору інформації, характером аналізу та масштабом впровадження, що зумовлює різний рівень ефективності їх використання в тваринницькій практиці.

Одним із прикладів комерційних рішень є системи розумних нашийників та давачів, що збирають дані про фізіологічні параметри тварин – температуру тіла, рівень активності, положення або рухи [1]. Дані пристрої надають фермеру інформацію про стан кожної тварини та дозволяють відстежувати зміни у поведінці, які можуть свідчити про захворювання або дискомфорт (рис. 1.1).

Проте подібні портативні давачі мають суттєві обмеження. Вони потребують регулярного обслуговування та заміни батарей, що ускладнює їх експлуатацію на великих фермах. Точність вимірювання залежить від правильного розміщення на тілі тварини та її поведінки, що може призводити до помилок у даних при активних рухах або механічних впливах – наприклад при контакті із загородженнями або іншими тваринами. Це створює ризик зниження якості моніторингу та утруднює інтерпретацію отриманих показників.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

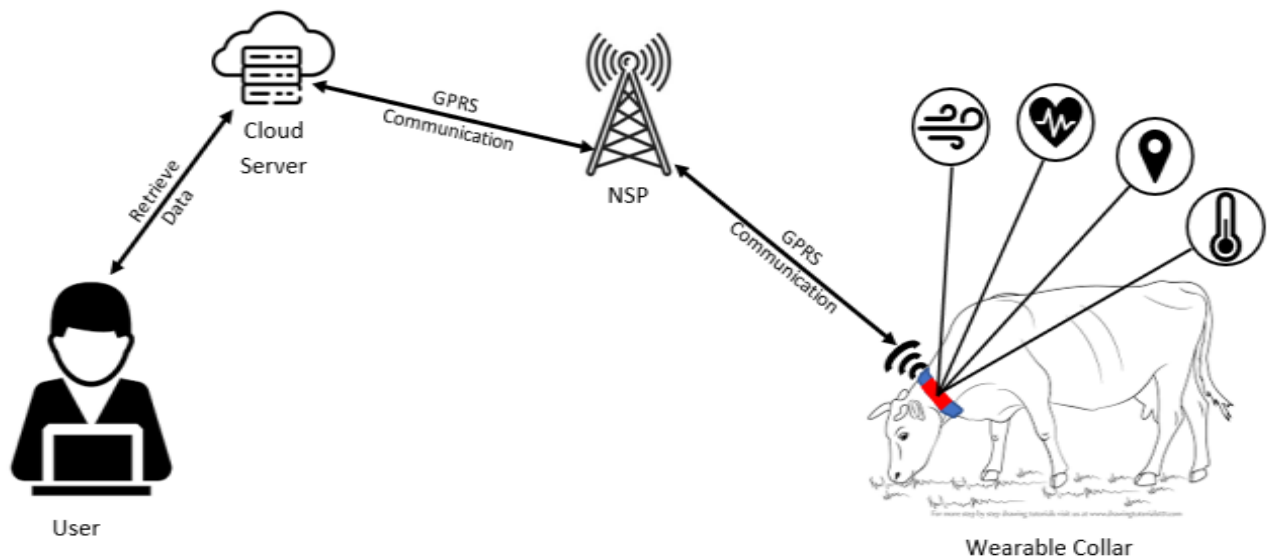


Рисунок 1.1 – Розумний нашійник для моніторингу стану здоров'я та місцезнаходження великої рогатої худоби

Інший напрямок рішень використовує комп'ютерний зір та відеоаналітику для оцінювання поведінки та фізичного стану тварин у стаді [2]. Так, сучасні платформи на основі штучного інтелекту аналізують відеопотік із камер, розпізнають аномалії рухів, зміни у соціальних взаємодіях і навіть ранні ознаки хвороб (рис. 1.2). Цей підхід дозволяє уникати прямого контакту з тваринами та забезпечує безперервне спостереження за групою одночасно.

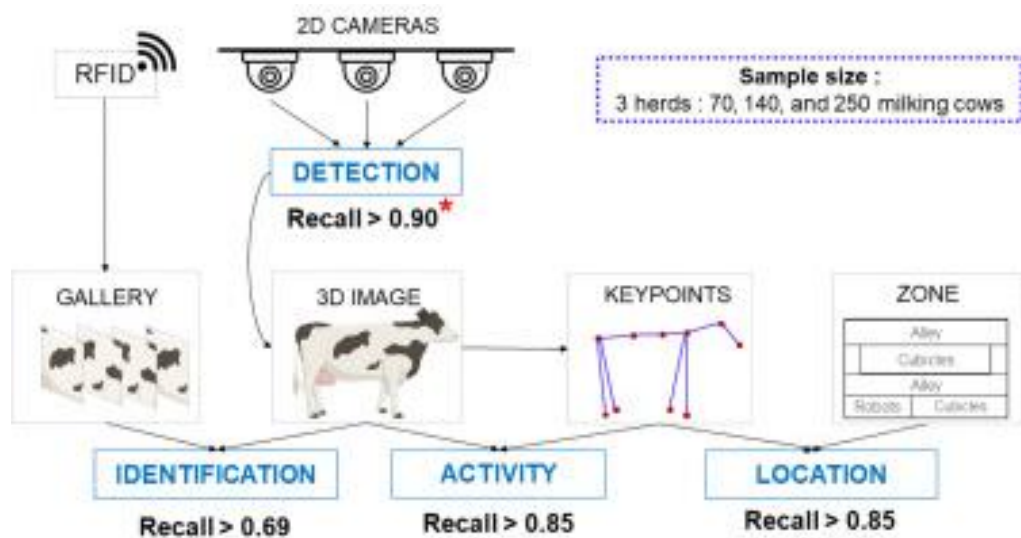


Рисунок 1.2 – Система ідентифікації, моніторингу активності та визначення місцезнаходження на основі відеокамер у приміщеннях молочних ферм

Проте такі рішення мають вагомі недоліки. Вони потребують суттєвих обчислювальних ресурсів для обробки відеоданих, що збільшує вартість впровадження та підтримки. Крім того, ефективність відеоаналітики сильно залежить від умов освітлення, розташування камер і якості відеопотоків, що ускладнює її застосування у відкритих фермерських господарствах.

Комерційні системи, такі як FaunaTech Livestock Monitor [3], поєднують GPS-відстеження, сенсорну інформацію та хмарну аналітику для надання комплексних даних про місцезнаходження та стан здоров'я тварин (рис. 1.3).

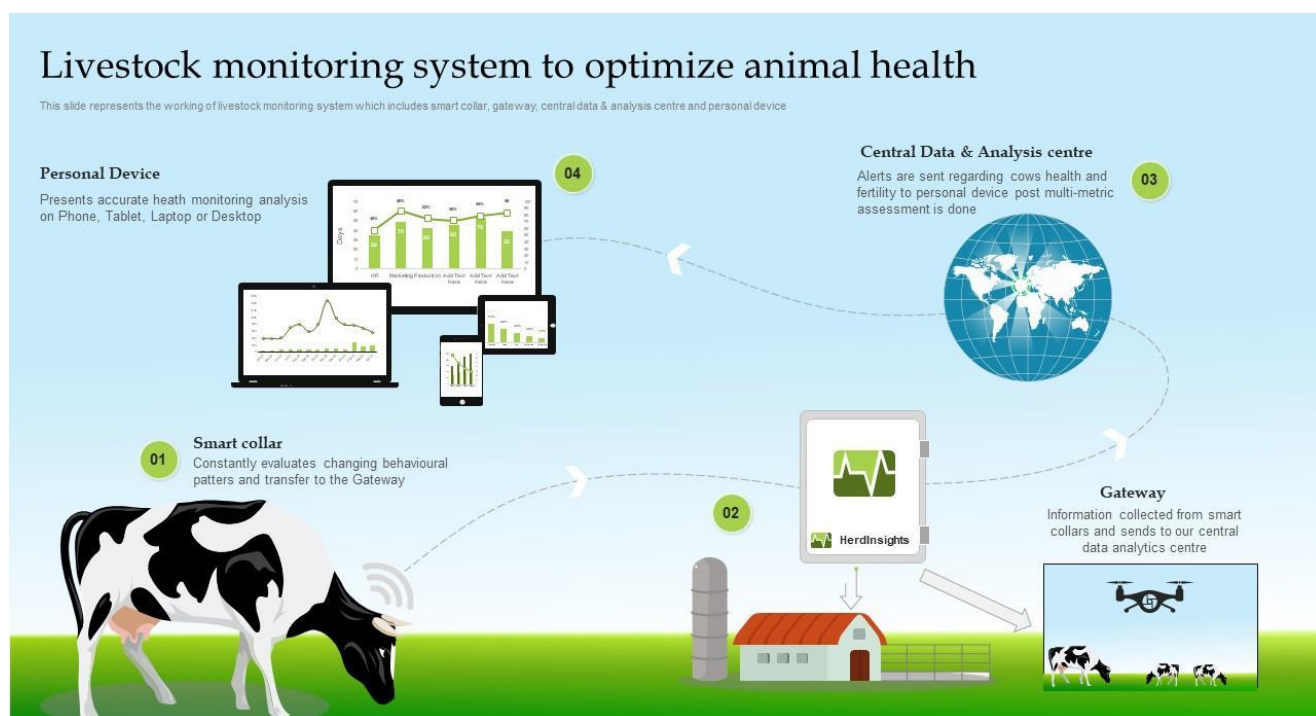


Рисунок 1.3 – Система моніторингу місцезнаходження та стану здоров'я тварин FaunaTech Livestock Monitor

Подібні рішення забезпечують корисну функціональність, проте мають істотні технічні обмеження. GPS-модулі забезпечують отримання інформації про переміщення, але вони недостатньо чутливі для оцінки тонких змін у поведінці або фізіології тварини. Крім того, залежність від стільникового зв'язку обмежує їх використання у регіонах з низьким покриттям мобільних мереж, тоді як часті передачі великих обсягів даних на хмару підвищують експлуатаційні витрати.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Серед наукових розробок присутні IoT-фреймворки [4] з підтримкою низькопотужного зв'язку LoRa та використовують машинне навчання для аналізу поведінки і здоров'я тварин віддалено (рис. 1.4).

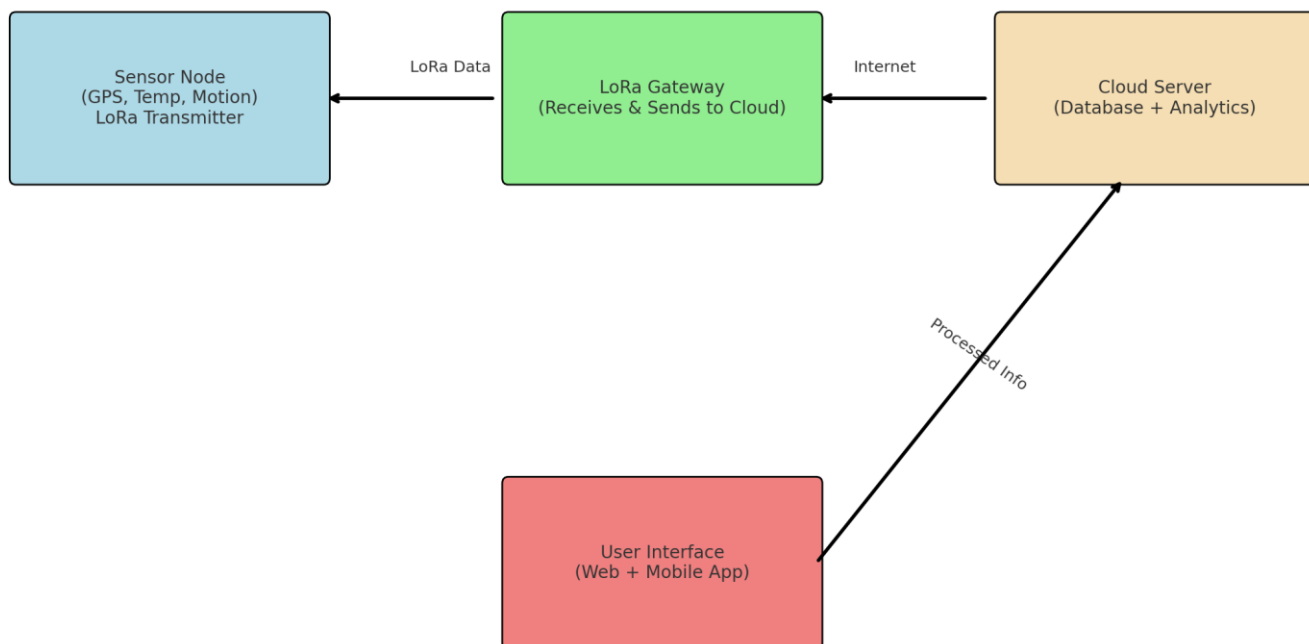


Рисунок 1.4 – Структура системи AgroTrack для аналізу поведінки і здоров'я тварин

Такі системи демонструють перспективність у плані енергоефективності та покриття великих територій, але їхня реальна реалізація часто обмежена експериментальними пристроями та не враховує повний спектр вимог фермерських господарств.

У результаті аналізу сучасних засобів моніторингу [5] можна виділити кілька загальних недоліків: висока вартість впровадження і експлуатації, залежність від стільникових мереж, обмежена точність вимірювань у складних умовах, потреба у значних обчислювальних ресурсах і складність інтеграції з існуючими системами управління господарством. Ці обмеження обумовлюють необхідність розробки власного IoT-рішення, яке б поєднувало адаптивність до умов господарства, доступність, високу точність моніторингу та можливість інтеграції з існуючими процесами без значних додаткових витрат.

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Розв'язання задачі дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби можливе з використанням різних підходів, що відрізняються за архітектурою системи, методами збору даних, способами їх передавання та обробки. Аналіз можливих рішень дозволяє визначити найбільш доцільний варіант реалізації з урахуванням вимог технічного завдання, умов експлуатації та обмежень, характерних для тваринницьких господарств.

Одним із можливих рішень є побудова системи на основі локальних автономних пристроїв без підключення до мережі Інтернет, де дані зчитуються та зберігаються безпосередньо на носіях інформації або передаються оператору під час ручного зчитування. Такий підхід відрізняється простотою реалізації та відносно низькою вартістю апаратної частини, проте не забезпечує оперативного доступу до інформації, унеможливує віддалений контроль та значно знижує ефективність реагування на критичні зміни стану тварин. Крім того, відсутність централізованого зберігання даних ускладнює аналіз історичних показників.

Іншим варіантом є використання систем, побудованих на основі відеоспостереження та комп'ютерного зору, які здійснюють аналіз поведінки тварин за допомогою камер і програмних алгоритмів. Такі рішення дозволяють контролювати одразу групу тварин без необхідності використання портативних пристроїв. Однак їх застосування потребує значних обчислювальних ресурсів, стабільного електроживлення та сприятливих умов зйомки. В умовах реальних ферм ефективність відеоаналітики часто знижується через погане освітлення, забруднення камер і складну просторову організацію приміщень, що робить даний підхід менш універсальним.

Більш перспективним є підхід, заснований на використанні портативних сенсорних вузлів, закріплених на тваринах, у поєднанні з бездротовими IoT-технологіями. У цьому випадку система забезпечує індивідуальний моніторинг кожної тварини, дозволяючи фіксувати зміни фізіологічних параметрів і поведінки з високою часовою роздільною здатністю. Дані передаються на центральний

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сервер або хмарну платформу, де здійснюється їх зберігання, обробка та візуалізація. Такий підхід забезпечує гнучкість, масштабованість і можливість віддаленого доступу до інформації.

В межах IoT-підходу можливі різні варіанти реалізації системи залежно від обраних засобів зв'язку та архітектури. Використання стільникових мереж забезпечує широке покриття, але підвищує експлуатаційні витрати та залежність від якості мобільного зв'язку. Альтернативою є застосування локальних бездротових мереж або енергоефективних протоколів далекого радіусу дії, що дозволяє зменшити енергоспоживання та забезпечити роботу системи в умовах обмеженої інфраструктури.

Також можливим є поєднання різних підходів, зокрема інтеграція сенсорних вузлів із елементами аналітики на краю мережі та хмарними сервісами. Така гібридна архітектура дозволяє виконувати первинну обробку даних безпосередньо на мікроконтролері, зменшуючи обсяг передаваних даних, а складніший аналіз і зберігання реалізовувати на серверному рівні. Це сприяє підвищенню енергоефективності та надійності системи.

Найбільш обґрунтованим для реалізації поставленого завдання є використання IoT-орієнтованої комп'ютерної системи з портативними сенсорними модулями, бездротовим передаванням даних і централізованою обробкою інформації. Такий підхід забезпечує оптимальне поєднання функціональності, масштабованості, економічної доцільності та відповідності вимогам сучасного тваринництва, що й зумовлює вибір напряму подальшої розробки системи.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>18</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 дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

Система дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби побудована за модульним принципом із використанням технології IoT та передбачає ієрархічну організацію збору, обробки, передачі та візуалізації даних. На рисунку 2.1 наведена структурна схема цієї системи, яка відображає взаємозв'язки між вимірювальними приладами, мікроконтролерним модулем, підсистемою живлення та хмарною IoT-платформою.

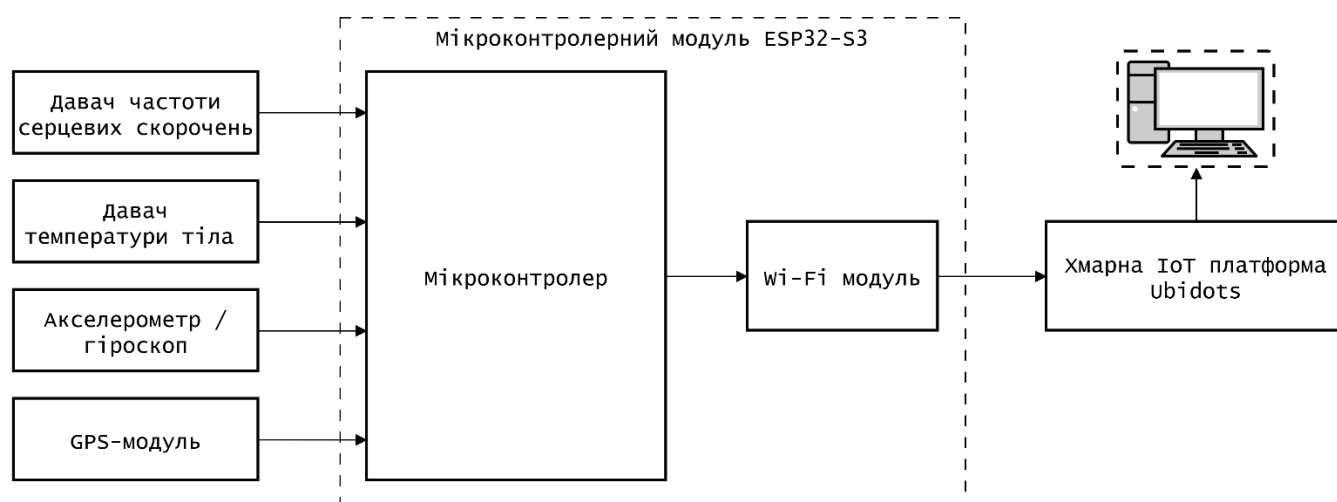


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

Центральним елементом системи є мікроконтролерний модуль ESP32-S3-WROOM-1 на базі мікроконтролера ESP32-S3, який виконує функції збору даних з периферійних сенсорів, їх первинної цифрової обробки, формування пакетів телеметрії та передачі інформації до хмарного сервісу. Завдяки наявності Wi-Fi модуля забезпечується бездротове підключення до мережі без

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Калінчук В.В.			<i>Проектна частина</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Луцик Н.С.					19	17
Рецензент		Гром'як Р.С.				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>		
Н. Контр.		Тиш Е.В.						
Зав. каф.		Осунівська Г.М.						

необхідності використання додаткових комунікаційних пристроїв. Мікроконтролер також реалізує алгоритми фільтрації шумів, усереднення вимірювань та контролю граничних значень параметрів.

До складу вимірювальної підсистеми входить давач температури тіла MAX30205, який підключений до мікроконтролера через інтерфейс I2C. Він забезпечує високоточне вимірювання температури в діапазоні, характерному для фізіологічних показників великої рогатої худоби. Отримані дані використовуються для раннього виявлення запалення або інфекційних захворювань.

Для аналізу рухової активності та просторового положення тварини застосовується інерційний вимірювальний модуль MPU-6050, що містить тривісний акселерометр і гіроскоп. Даний модуль також підключається через шини I2C та забезпечує визначення таких поведінкових характеристик, як періоди лежання, стояння, руху, різкі зміни активності або аномальна поведінка. Обробка цих даних дозволяє формувати індикатори рівня активності та виявляти потенційні відхилення у стані здоров'я.

Для контролю місцезнаходження тварини використовується GPS-модуль NEO-6M, що взаємодіє з мікроконтролером через інтерфейс UART. Він забезпечує визначення географічних координат, швидкості переміщення та реалізацію функції геозонування. Це особливо актуально для пасовищного утримання, де необхідний контроль переміщення поголів'я.

Додатково до системи інтегровано оптичний давач частоти серцевих скорочень MAX30102, який дозволяє вимірювати пульс тварини за допомогою фотоплетизмографічного методу. Сигнал з цього сенсора проходить попередню цифрову обробку в мікроконтролері для виділення інформативної складової та розрахунку частоти серцевих скорочень.

Зібрані та оброблені дані передаються через бездротовий інтерфейс Wi-Fi до хмарної IoT-платформи Ubidots, яка виконує функції довготривалого зберігання інформації, аналітичної обробки та візуалізації. На платформі формуються інформаційні панелі, графіки зміни виміряних параметрів, а також реалізуються механізми сповіщення при перевищенні встановлених порогових значень.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка апаратного забезпечення системи моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

2.2.1 Мікроконтролерний модуль ESP32-S3 N16R8

Мікроконтролерний модуль ESP32-S3 N16R8 є універсальною апаратною платформою, що поєднує в собі високопродуктивний 32-бітний мікроконтролер, модулі Wi-Fi та BLE, а також широкий набір периферійних інтерфейсів. ESP32-S3 належить до сімейства, що спеціалізується на розробці енергоефективних IoT-рішень. Версія N16R8 інтерфейс USB Type-C для живлення та програмування, а також набір стандартних інтерфейсів вводу-виводу, що забезпечують гнучкість при підключенні сенсорних модулів та інших периферійних пристроїв (рис. 2.2).

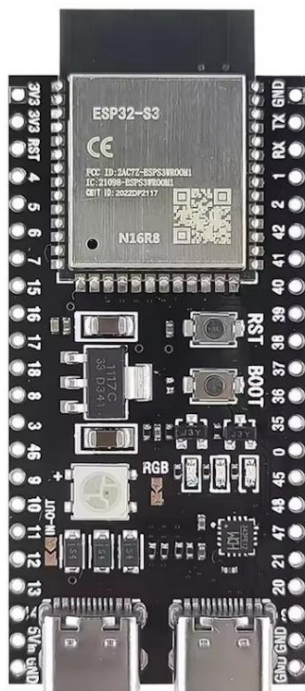


Рисунок 2.2 – Мікроконтролерний модуль ESP32-S3 N16R8

Основою модуля є двоядерний 32-бітний процесор Xtensa® LX7. Така архітектура дозволяє ефективно виконувати як операції збору та первинної обробки даних з датчиків, так і алгоритми фільтрації, агрегації та підготовки телеметрії перед передаванням на віддалені IoT-платформи. Одночасна підтримка Wi-Fi та Bluetooth робить ESP32-S3 універсальним рішенням для реалізації різних

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сценаріїв комунікації: бездротового підключення до локальної мережі або прямого з'єднання з мобільними пристроями.

Модуль також оснащений достатнім обсягом оперативної пам'яті SRAM і підтримкою зовнішньої флеш-пам'яті 16 МБ, що дозволяє розміщувати складні прошивки з реалізацією локальних алгоритмів обробки даних без необхідності частого звернення до хмарних сервісів. Це важливо для підвищення надійності системи та зменшення загального обсягу переданих даних, що суттєво впливає на енергоспоживання. Основні характеристики модуля ESP32-S3 N16R8 приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики модуля ESP32-S3 N16R8

Характеристика	Значення
Архітектура	Двоядерний Tensilica Xtensa® LX7
Частота процесора	До 240 МГц
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth 5.0 LE
Оперативна пам'ять (SRAM)	~512 КБ (вбудована)
Флеш-пам'ять	16 МБ
Інтерфейси	I2C, SPI, UART, ADC, PWM, GPIO
USB	USB Type-C (живлення/програмування)
Режими енергозбереження	Light sleep, Deep sleep
Живлення	3,0 – 3,6 В
Робоча температура	-40 ... +85 °C

ESP32-S3 підтримує широкий набір периферійних інтерфейсів: I2C, SPI, UART, ADC, PWM, що дозволяє легко підключати до модуля різноманітні сенсорні пристрої, включаючи температурні давачі, акселерометри, GPS-модулі, давачі пульсу та інші вузли. Наявність двох каналів ADC дозволяє здійснювати аналогові вимірювання без додаткових компонентів, що спрощує апаратну частину проекту (рис. 2.3).

2.2.2 Давач температури тіла МАХ30205

Давач МАХ30205 – це цифровий сенсор, що призначений для прецизійного вимірювання температури біологічних об'єктів у реальних умовах експлуатації. Сенсор інтегрує в одному корпусі точний температурний елемент із цифровим перетворювачем, що дозволяє отримувати температурні значення безпосередньо у цифровому форматі через стандартний інтерфейс I2C (рис. 2.4).

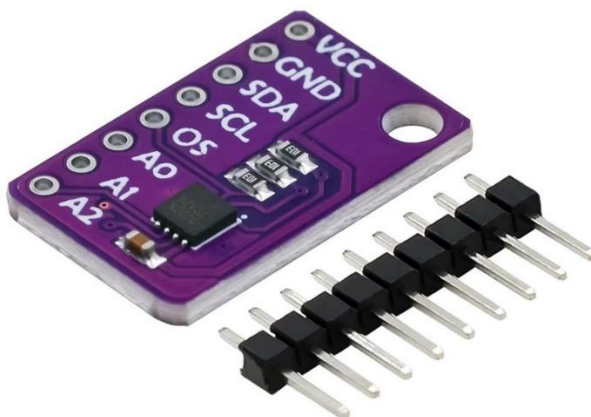


Рисунок 2.4 – Давач температури тіла МАХ30205

Конструктивно МАХ30205 виконаний у компактному корпусі типу SC70, що забезпечує зручність монтажу на друковану плату мікроконтролерного вузла. Внутрішня структура сенсора включає високоточний біполярний температурний давач, АЦП, схему калібрування та цифровий інтерфейс. Така інтеграція дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх електричних шумів та досягати високої стабільності показників без необхідності застосування додаткових компонентів для лінійної обробки сигналу.

Принцип роботи МАХ30205 базується на вимірюванні зміни напруги, що виникає на температурно-залежному елементі, та перетворенні цієї напруги у цифровий код за допомогою вбудованого АЦП. Після цього мікроконтролер, підключений до давача через шину I2C, читає готові цифрові значення температури у форматі, що відповідає обраному діапазону вимірювань. Сенсор автоматично виконує внутрішню компенсацію зсувів і забезпечує високу точність результату протягом тривалого часу експлуатації.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однією з ключових переваг МАХ30205 є його висока точність ($\pm 0,1$ °C) у ділянці, близькій до фізіологічних значень тіла тварини, що робить його привабливим для застосування у системах моніторингу здоров'я. У порівнянні з універсальними термісторами або аналоговими давачами, цифровий давач значно спрощує апаратну частину системи, оскільки мікроконтролер отримує готовий цифровий сигнал без необхідності виконувати складні обчислення або калібрування. В таблиці 2.2 зведені технічні характеристики давача МАХ30205.

Таблиця 2.2 – Характеристики давача температури тіла МАХ30205

Параметр	Значення
Тип давача	Цифровий сенсор температури тіла
Діапазон вимірювань	0 ... 50 °C
Точність	$\pm 0,1$ °C (у фізіологічному діапазоні)
Інтерфейс зв'язку	I2C
Дозвіл вимірювань	16-бітний
Живлення	2,7 ... 3,3 В
Робоча температура	-40 ... +125 °C

МАХ30205 має низьке енергоспоживання, що є критичним фактором для автономних вузлів IoT, які працюють від акумулятора. Сенсор може функціонувати у режимах зниженого енергоспоживання, а також легко інтегрується з сучасними мікроконтролерами, включаючи ESP32-S3, через стандартні протоколи комунікації.

Для реалізації комп'ютерної системи моніторингу стану здоров'я великої рогатої худоби вибір Мах30205 є обґрунтованим з огляду на:

- високу точність вимірювань у критично важливому діапазоні температур тіла тварин;
- цифровий інтерфейс I2C, що забезпечує просте підключення та обробку даних мікроконтролером;

- низьке енергоспоживання, що сприяє тривалій роботі автономних вузлів на акумуляторах;
- малі габарити та інтегрованість, що спрощують конструкцію сенсорного вузла.

Завдяки цим характеристикам МАХ30205 дозволяє отримувати стабільні та репрезентативні дані про температурний стан тіла тварин, що є важливим параметром для ранньої діагностики захворювань та оцінки загального стану здоров'я поголів'я.

2.2.3 Давач пульсу МАХ30102

Давач пульсу МАХ30102 — це високоточний оптичний сенсор, призначений для визначення частоти серцевих скорочень (ЧСС) та рівня кисню в крові (SpO_2) за допомогою фотоплетизмографічного методу. Він базується на поєднанні світлодіодів та фотодіода в одному компактному корпусі, МАХ30102 представляє собою цифровий компонент, що легко інтегрується в IoT-системи завдяки простому цифровому інтерфейсу I2C (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Давач пульсу МАХ30102

Конструктивно модуль складається з 2 світлодіодів — червоного та інфрачервоного — а також чутливого фотодіода, розміщених у тісному оптичному контакті. Світлодіоди по черзі випромінюють світлові хвилі, які проходять через кровоносні судини або тканини. Частина світла відбивається або пропускається

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напівпрозорими структурами, після чого фотодіод фіксує інтенсивність відбитого сигналу. Зміни інтенсивності сигналу зумовлені пульсовими хвилями кровотоку, що дозволяє розрахувати частоту серцевих скорочень та інші параметри.

Принцип роботи MAX30102 базується на аналізі циклічних коливань світлового сигналу, що виникають у відповідь на кожне серцеве скорочення. При кожному ударі серця об'єм крові в периферичних судинах змінюється, що впливає на кількість відбитого світла. Ці зміни перетворюються фотодіодом у електричний сигнал, який підсилюється та фільтрується вбудованою аналоговою електронікою, а потім перетворюється АЦП у цифрову форму. Після цього мікроконтролер може зчитувати дані через I2C, виконувати алгоритмічну обробку та виводити значення частоти серцевих скорочень у зручному вигляді. Технічні параметри датчика пульсу MAX30102 наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні параметри датчика пульсу MAX30102

Параметр	Значення
Тип сенсора	Оптичний PPG
Вбудовані світлодіоди	Червоний (Red) та інфрачервоний (IR)
Інтерфейс зв'язку	I2C
Дозвіл вимірювань	16-біт
Діапазон робочих частот	Налаштовуваний
Живлення	1,8...3,3 В
Розміри модуля	Компактні, інтегровані

Однією з ключових переваг MAX30102 є компактність і висока інтеграція компонентів, що дозволяє мінімізувати розміри сенсорного вузла та зменшити кількість зовнішніх компонентів. Це робить датчик придатним для використання в портативних та автономних IoT-системах, де важливі невеликі габарити, низьке енергоспоживання та надійність передачі даних.

Для реалізації комп'ютерної системи моніторингу здоров'я великої рогатої худоби вибір MAX30102 обґрунтований необхідністю отримувати додаткові

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

біометричні параметри тварин, зокрема частоту серцевих скорочень, яка є важливим показником фізіологічного стану. Зміни ЧСС можуть свідчити про стрес, хворобу або надмірну фізичну активність, що робить цей параметр критично важливим для оцінки стану тварин.

Інтеграція МАХ30102 з мікроконтролерною платформою ESP32-S3 через I2C забезпечує гнучкість апаратної реалізації та ефективність передачі даних. Мікроконтролер отримує готові цифрові значення без потреби в складних зовнішніх підсилювачах або фільтрах. Це значно спрощує схему підключення та програмну реалізацію.

Незважаючи на те, що вимірювання ЧСС у тварин, особливо великої рогатої худоби, є складнішим, ніж у людей (через шерсть, рухи та інші фактори), використання МАХ30102 дозволяє отримати репрезентативні дані при належному механічному розміщенні сенсора та алгоритмічній обробці сигналу. Застосування фільтрації, адаптивних алгоритмів виділення сигналу і корекції артефактів руху підвищує якість вимірювань у польових умовах.

2.2.4 Модуль MPU-6050

Модуль MPU-6050 є інтегрованим 6-осьовим інерційним вимірювальним пристроєм, що поєднує в одному корпусі трьохосьовий акселерометр і трьохосьовий гіроскоп. MPU-6050 широко використовується в системах моніторингу руху та позиціонування завдяки високій точності вимірювань, компактним розмірам та відносно низькій вартості.

Конструктивно модуль складається з MEMS-давачів (мікроелектромеханічних систем), схеми обробки сигналів та цифрового інтерфейсу. MEMS-акселерометр вимірює прискорення тіла у трьох ортогональних напрямках (X, Y, Z), тоді як MEMS-гіроскоп визначає кутову швидкість обертання навколо відповідних осей. Внутрішня схема містить також 16-бітові АЦП для перетворення аналогових сигналів сенсорних елементів у цифрові дані (рис. 2.6).

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

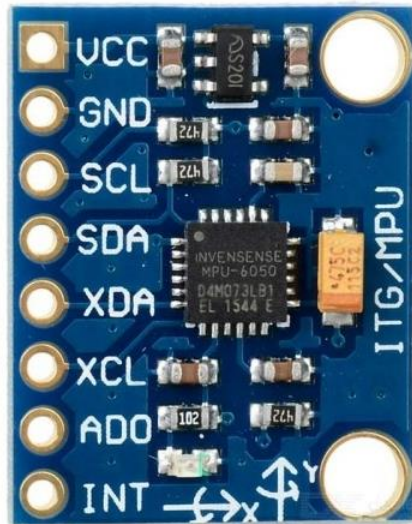


Рисунок 2.6 – Модуль MPU-6050

Принцип роботи MPU-6050 базується на реакції MEMS-елементів на зовнішні прискорення та обертальні рухи. Акселерометр реагує на зміну лінійної швидкості руху, у той час як гіроскоп визначає зміни в орієнтації та обертові прискорення. Дані з обох сенсорів передаються через внутрішню обробну логіку та надходять на зовнішній контролер через цифровий інтерфейс I2C. Такий спосіб передачі даних усуває потребу в додаткових аналогових вузлах і забезпечує високу стійкість до електричних шумів. Параметри модуля MPU-6050 наведені таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри модуля MPU-6050

Параметр	Значення
Тип давача	6-осьовий IMU (акселерометр + гіроскоп)
Акселерометр – діапазон	$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g
Гіроскоп – діапазон	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/с
Інтерфейс зв'язку	I2C
Частота вибірки	До 1 кГц
Розрядність АЦП	16 біт
Живлення	2,3 ... 3,4 В

Однією з ключових переваг MPU-6050 є можливість синхронного вимірювання лінійних та кутових параметрів руху. Це дозволяє не лише оцінювати рівень активності тварини (наприклад, кількість і тривалість кроків, переходів між положеннями стояння/лежання), але й отримувати інформацію щодо характеру рухів, що може свідчити про патології або стресові реакції. У поєднанні з алгоритмами фільтрації дані MPU-6050 можуть бути використані для побудови складних профілів поведінки.

Важливою характеристикою модуля є його висока чутливість та широкі діапазони вимірювань, що дозволяють адаптувати пристрій до різних сценаріїв застосування. Наприклад, в умовах моніторингу великої рогатої худоби важливо зафіксувати як активні періоди руху, так і тривалі періоди спокою, що може свідчити про втому або захворювання. Завдяки цифровому інтерфейсу I2C MPU-6050 легко інтегрується з сучасними мікроконтролерами, такими як ESP32-S3, що є центральним елементом проєктованої системи.

Вибір MPU-6050 для реалізації комп'ютерної системи моніторингу стану здоров'я великої рогатої худоби обґрунтований його здатністю:

- забезпечувати безперервне та синхронне вимірювання активності тварин за трьома осями, що дозволяє виявляти зміни поведінки;
- підтримувати цифровий інтерфейс I2C, що спрощує апаратну інтеграцію з мікроконтролерами;
- працювати з достатньою точністю та стабільністю в польових умовах;
- мати компактні розміри та низьке енергоспоживання, що критично для автономних IoT-вузлів.

Завдяки цим характеристикам MPU-6050 є ефективним компонентом для побудови підсистеми оцінки поведінки худоби, яка в поєднанні з іншими сенсорами дає повнішу картину щодо стану тварин.

Отже, модуль MPU-6050 є оптимальним рішенням для підсистеми оцінки рухової активності в комп'ютерній системі моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.5 GPS-модуль NEO-6M

Модуль NEO-6M — це високоточний GPS-приймач, що призначений для визначення координат об'єкта у глобальній системі позиціонування. Він широко використовується в навігаційних та телеметричних застосуваннях завдяки поєднанню високої чутливості, стабільної роботи та доступної вартості. Модуль поставляється у вигляді компактної друкованої плати з інтегрованою GPS-антенною і набором інтерфейсних контактів для підключення до зовнішнього контролера (рис. 2.7).

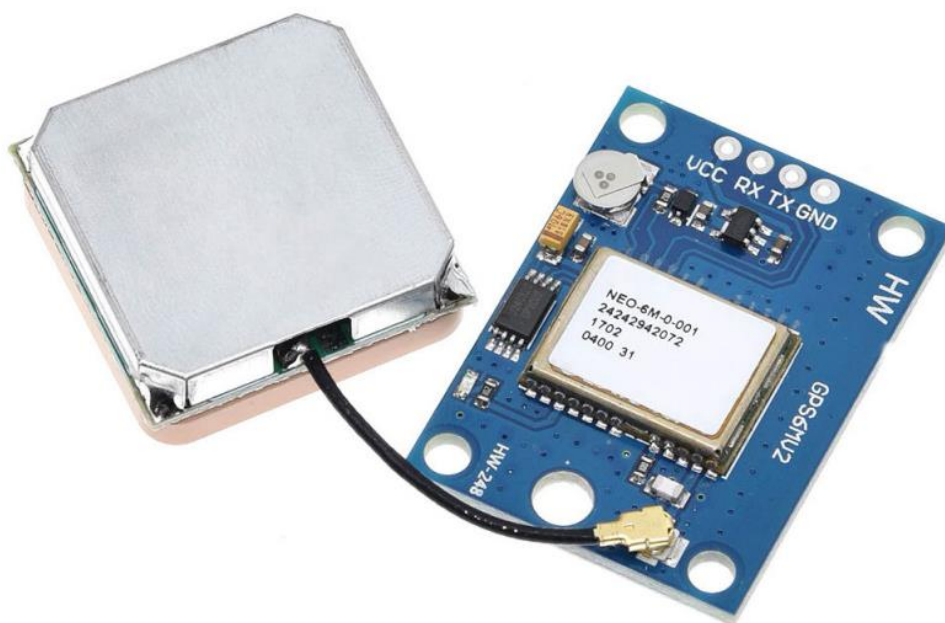


Рисунок 2.7 – GPS-модуль NEO-6M

Конструктивно NEO-6M включає основний GPS-чип u-blox NEO-6 разом з внутрішньою антенною та можливістю підключення зовнішньої активної антени, резонатором для стабільного формування частоти, фільтрами та підсилювачами сигналу, а також перетворювачем інтерфейсів. Друкована плата містить стабілізатор живлення, що дозволяє модулю працювати від стандартної напруги 3,3–5 В, забезпечуючи простоту підключення до різних мікроконтролерних платформ.

Принцип роботи GPS-модуля базується на прийомі супутникових сигналів у діапазоні L1 від мережі глобальних навігаційних супутників. Приймач обчислює

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

своє положення, швидкість та час на основі затримок і фаз отриманих супутникових сигналів. Дані про положення обробляються внутрішніми алгоритмами тріангуляції та виходять у вигляді NMEA-повідомлень через послідовний інтерфейс UART. Це дозволяє зовнішньому мікроконтролеру легко зчитувати координати (широта, довгота) та інші навігаційні параметри. Характеристики GPS-модуля NEO-6M наведені таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики GPS-модуля NEO-6M

Характеристика	Значення
GPS-чип	u-blox NEO-6
Частота прийому	L1 (~1575,42 МГц)
Тип антени	Вбудована / зовнішня активна
Точність позиціонування	~2,5–3 м (відкрита місцевість)
Інтерфейс	UART (TTL-рівні)
Напруга живлення	3,3–5 В
Споживаний струм	~30–45 mA під час трекінгу
Початковий холодний старт	~27–30 с
Оновлення позиції	До 5 Гц
Робоча температура	–40 ... +85 °C

Однією з ключових переваг NEO-6M є його здатність працювати при слабкому сигналі супутника, що важливо для відкритих пасовищ або ферм з частковими перешкодами на шляху сигналу (дерева, огорожі). Висока чутливість приймача та точні алгоритми обробки забезпечують стабільне позиціонування з похибкою, що зазвичай не перевищує кількох метрів у відкритих умовах. Це дозволяє не лише визначати місцезнаходження тварини, але й оцінювати її переміщення, швидкість руху та територію випасу.

Обґрунтування вибору GPS-модуля NEO-6M для комп'ютерної системи контролю великої рогатої худоби полягає у потребі в простому, надійному та економічному рішенні для визначення геопозиції.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання GPS-даних у системі дозволяє:

- відстежувати реальні переміщення тварин на території господарства;
- реалізувати геозонування, тобто контроль виходу за межі допустимої території;
- використовувати швидкість зміни координат для оцінки поведінкових параметрів (наприклад, активності);
- зберігати історію переміщень для подальшого аналітичного аналізу.

Інтеграція NEO-6М з мікроконтролером ESP32-S3 через UART робить систему гнучкою та легкою для модернізації. Доступ до навігаційної інформації в реальному часі дозволяє створювати розширені модулі аналітики поведінки тварин у поєднанні з іншими сенсорними даними (температура, активність, пульс), що суттєво підвищує інформативність системи моніторингу.

Загалом, GPS-модуль NEO-6М є оптимальним вибором для підсистеми позиціонування в IoT-рішенні дистанційного моніторингу, оскільки поєднує високу чутливість, простоту інтеграції, низьке енергоспоживання та доступну вартість, що відповідає технічним та економічним вимогам проєкту.

Завдяки своїй конструкції, принципу обробки сигналів супутникової навігації та інтеграції з мікроконтролерною платформою, модуль NEO-6М ефективно вирішує завдання відстеження геолокації тварин у складі комп'ютерної системи моніторингу, забезпечуючи надійність та точність роботи навіть у складних польових умовах.

2.3 Розробка електричної схеми пристрою

Електрична принципова схема пристрою дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби реалізована на базі мікроконтролерної плати ESP32-S3, яка виступає центральним обчислювальним та комунікаційним вузлом системи. До неї підключено сенсор руху MPU-6050, GPS-модуль NEO-6М та оптичний давач пульсу MAX30102, а також вузол живлення та допоміжні елементи обв'язки (рис. 2.8).

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електрична принципова схема демонструє логічно завершену структуру з централізованим керуванням на базі ESP32-S3, спільною цифровою шиною I2C для сенсорів MPU-6050 та MAX30102, а також окремим UART-інтерфейсом для GPS-модуля NEO-6M. Обрана конфігурація портів забезпечує ефективний розподіл апаратних ресурсів мікроконтролера, мінімізацію кількості провідників та можливість масштабування системи. Схема відповідає вимогам до енергоефективності, надійності та функціональної достатності для реалізації дистанційного моніторингу фізіологічних параметрів і активності великої рогатої худоби.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>35</i>

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

Алгоритм роботи системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби побудований за ієрархічним принципом та охоплює етапи ініціалізації обладнання, збору первинних даних, попередньої обробки сигналів, формування інформативних показників, передачі даних до віддаленого сервера та реагування на виявлені відхилення. В основі функціонування системи лежить мікроконтролерна платформа ESP32-S3, яка координує роботу сенсорних модулів, виконує локальну обробку даних і забезпечує IoT-комунікацію через бездротові канали зв'язку.

Після подачі живлення система переходить у режим ініціалізації, під час якого здійснюється конфігурація тактових генераторів, портів введення-виведення та периферійних інтерфейсів (I2C, UART, Wi-Fi). Далі виконується перевірка доступності підключених модулів — акселерометра та гіроскопа MPU-6050, давача пульсу MAX30102, давача температури тіла MAX30205 та GPS-модуля NEO-6M. У разі успішного встановлення зв'язку з усіма компонентами система переходить у штатний режим роботи. Якщо виявлено помилку ініціалізації будь-якого сенсора, активується процедура повторної спроби з'єднання або формується службове повідомлення про несправність.

Основний цикл алгоритму (рис. 3.1) реалізований як безперервний процес періодичного зчитування сенсорних даних із заданим інтервалом дискретизації. З модуля MPU-6050 зчитуються значення лінійного прискорення по трьох осях та кутової швидкості, що дозволяє визначати рівень фізичної активності тварини, зміну положення тіла, наявність тривалого лежання або аномальної рухливості. Давач MAX30205 надає дані про температуру тіла великої рогатої худоби.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Калінчук В.В.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					36	14
<i>Рецензент</i>		<i>Гром'як Р.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

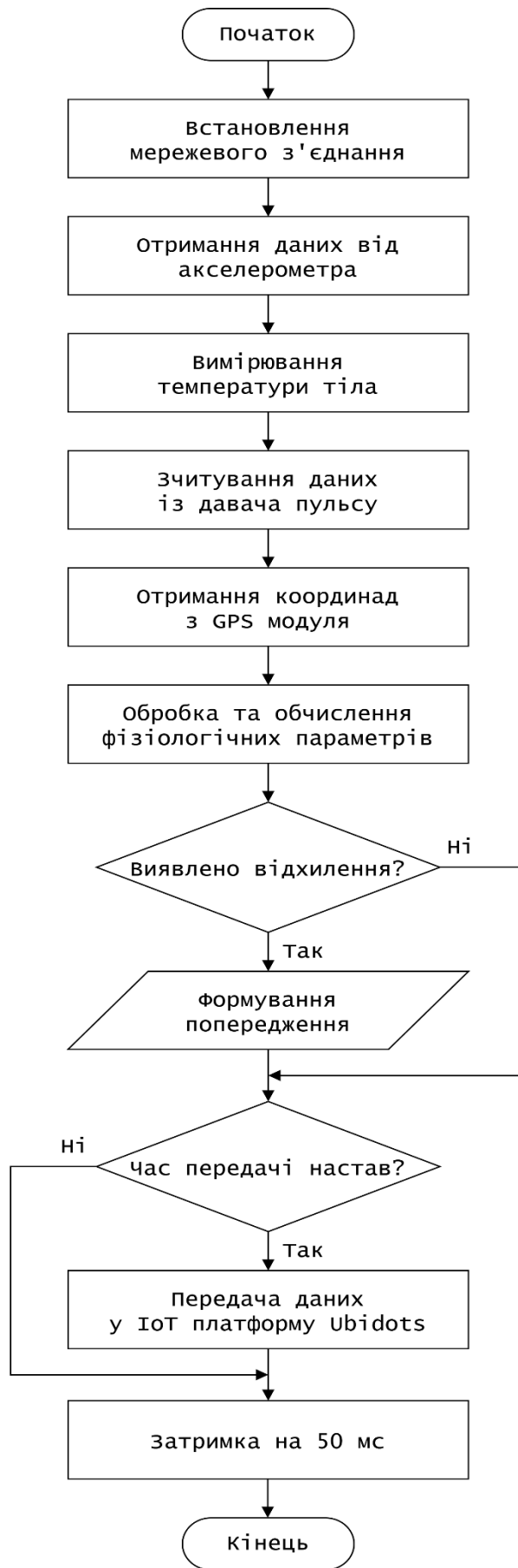


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи основної підпрограми у системі дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби

З давача МАХ30102 збираються сирі фотоплетизмографічні дані, які проходять цифрову фільтрацію (усунення постійної складової, згладжування та виділення пульсової компоненти), після чого розраховується частота серцевих скорочень. GPS-модуль передає координати місцеположення, швидкість переміщення та часові мітки у форматі NMEA, що дозволяє здійснювати просторовий аналіз поведінки тварини.

На етапі попередньої обробки даних застосовуються алгоритми фільтрації та нормалізації сигналів. Для акселерометричних даних використовується обчислення модуля вектора прискорення та ковзне середнє для зменшення впливу випадкових коливань. Для сигналу пульсу реалізується алгоритм детекції піків із адаптивним порогом, що забезпечує стійкість до шумів і рухових артефактів. Отримані параметри агрегуються в часових вікнах, що дозволяє формувати інформативні показники: середню активність, частоту серцевих скорочень, тривалість фаз спокою та переміщення.

Після обробки формується структурований пакет даних, який містить ідентифікатор тварини, часову мітку, координати, фізіологічні показники та службову інформацію про стан системи. Передача даних до хмарної платформи здійснюється через вбудований Wi-Fi-модуль мікроконтролера.

Окремим блоком алгоритму є модуль аналізу граничних станів. Якщо значення частоти серцевих скорочень виходить за встановлені допустимі межі або фіксується нетипова поведінка (наприклад, тривала нерухомість чи різке зростання активності), система формує тривожне повідомлення та передає його на сервер із підвищеним пріоритетом. Це дозволяє оперативно реагувати на потенційні ознаки захворювання, стресу або травмування тварини.

З метою енергоефективності алгоритм передбачає перехід мікроконтролера в режим зниженого енергоспоживання між циклами вимірювання. Частота опитування сенсорів адаптивно змінюється залежно від рівня активності тварини: при спокійному стані інтервал збільшується, а при виявленні рухової активності — зменшується для підвищення точності моніторингу.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка програмного забезпечення

3.2.1 Опис функції setup()

Підпрограма setup() є ключовим етапом ініціалізації всієї комп'ютерної системи, оскільки саме в ній виконується налаштування апаратних інтерфейсів, запуск сенсорних модулів та встановлення мережевих з'єднань (рис. 3.2).

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);  
  // MPU6050  
  mpu.initialize();  
  // MAX30102  
  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_STANDARD)) {  
    while (1);  
  }  
  particleSensor.setup();  
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);  
  particleSensor.setPulseAmplitudeIR(0x0A);  
  // MAX30205  
  if (!tempSensor.begin()) {  
    Serial.println("MAX30205 not found!");  
  }  
  // GPS  
  Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, GPS_RX, GPS_TX);  
  // WiFi  
  connectWiFi();  
  // MQTT  
  client.setServer(MQTT_SERVER, MQTT_PORT);  
  connectMQTT();  
}
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду підпрограми setup()

На початку підпрограми виконується ініціалізація інтерфейсу I2C за допомогою функції Wire.begin(), де явно задаються пини ліній даних (SDA) та тактового сигналу (SCL). Це дозволяє мікроконтролеру коректно взаємодіяти з підключеними до цієї шини сенсорними модулями. Використання програмно визначених пінів забезпечує гнучкість конфігурації апаратної частини системи.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Після цього виконується ініціалізація модуля MPU6050 за допомогою виклику методу `mpu.initialize()`. Даний виклик активує внутрішні реєстри сенсора та переводить його у робочий режим, що дозволяє надалі зчитувати значення прискорення та кутової швидкості.

Ініціалізація оптичного давача пульсу MAХ30102 виконується більш розширено. Спочатку здійснюється перевірка доступності сенсора через виклик `particleSensor.begin()`. У разі, якщо сенсор не відповідає або не підключений, програма переходить у нескінченний цикл `while(1)`, що фактично блокує подальше виконання. Такий підхід дозволяє уникнути некоректної роботи системи без критично важливого модуля. Після успішної ініціалізації викликається функція `particleSensor.setup()`, яка встановлює базові параметри роботи сенсора. Додатково налаштовується інтенсивність світлодіодів, що визначає рівень випромінювання червоного та інфрачервоного світла. Вибір помірною значення інтенсивності дозволяє досягти компромісу між якістю сигналу та енергоспоживанням. Далі відбувається ініціалізація давача температури тіла за допомогою методу `tempSensor.begin()`. Наступним етапом є ініціалізація GPS-модуля шляхом запуску другого апаратного UART-інтерфейсу за допомогою `Serial1.begin()`.

Після ініціалізації сенсорних модулів виконується підключення до бездротової мережі Wi-Fi за допомогою виклику функції `connectWiFi()`. У цій функції реалізовано процедуру встановлення з'єднання з точкою доступу, що є необхідною умовою для подальшої передачі даних на віддалений сервер. Успішне підключення до мережі забезпечує доступ до Інтернету та можливість використання IoT-платформи.

Завершальним етапом підпрограми `setup()` є налаштування MQTT-клієнта для взаємодії з хмарною платформою. За допомогою виклику `client.setServer()` задається адреса сервера та порт підключення. Після цього викликається функція `connectMQTT()`, яка встановлює з'єднання з брокером повідомлень та виконує автентифікацію за допомогою токена доступу. Це забезпечує готовність системи до передавання телеметричних даних у реальному часі.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						40
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3.2.2 Опис функції loop()

Основний цикл loop() реалізує комплексну взаємодію апаратної частини з хмарною платформою, забезпечує збір, обробку та передачу даних, а також підтримує безперервний контроль стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби через IoT-технології (рис. 3.3).

```
void loop() {  
  client.loop();  
  readMPU();  
  readTemperature();  
  readHeartRate();  
  readGPS();  
  checkAlerts();  
  if (millis() - lastSend > sendInterval) {  
    sendToUbidots();  
    lastSend = millis();  
  }  
  delay(50);  
}
```

Рисунок 3.3 – Лістинг коду підпрограми loop()

В межах цього циклу виконується обробка MQTT-клієнта client.loop(), яка підтримує активність підключення та обробку повідомлень. Після цього послідовно викликаються функції readMPU(), readTemperature(), readHeartRate(), readGPS() та checkAlerts(), які зчитують дані з сенсорів, обчислюють ключові параметри та перевіряють наявність граничних станів. Для забезпечення періодичної відправки даних на Ubidots використано підпрограму sendToUbidots(). Завершальним етапом циклу є затримка delay(), яка забезпечує стабільну роботу системи та запобігає надмірному навантаженню мікроконтролера.

3.2.3 Опис функцій для опитування датчиків

Підпрограма readMPU() призначена для зчитування даних з акселерометра MPU6050. У її межах оголошуються змінні типу, які використовуються для збереження значень прискорення вздовж трьох осей (рис. 3.4).

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void readMPU() {
    int16_t ax, ay, az;
    mpu.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
    float accel = sqrt(ax * ax + ay * ay + az * az);
    activityLevel = accel / 16384.0;
}

```

Рисунок 3.4 – Лістинг коду функції readMPU()

За допомогою виклику функції `mpu.getAcceleration(&ax, &ay, &az)` відбувається отримання сирих (необроблених) даних із сенсора. Далі виконується обчислення результуючого вектора прискорення шляхом застосування формули евклідової норми: $\text{sqrt}(ax * ax + ay * ay + az * az)$. Отримане значення характеризує загальний рівень прискорення незалежно від напрямку руху. Для приведення результату до відносних одиниць виконується нормалізація шляхом ділення на коефіцієнт 16384, що відповідає чутливості сенсора при стандартному діапазоні вимірювання $\pm 2g$. Результат зберігається у змінній `activityLevel`, яка використовується для оцінки рівня фізичної активності.

Підпрограма `readHeartRate()` реалізує алгоритм визначення частоти серцевих скорочень на основі даних з оптичного сенсора MAX30102 (рис. 3.5).

```

void readHeartRate() {
    long irValue = particleSensor.getIR();
    if (checkForBeat(irValue)) {
        static unsigned long lastBeat = 0;
        unsigned long delta = millis() - lastBeat;
        lastBeat = millis();
        heartRateValue = 60.0 / (delta / 1000.0);
    }
}

```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду функції readHeartRate()

Спочатку зчитується значення інфрачервоного сигналу за допомогою функції `particleSensor.getIR()`, яке відповідає рівню відбитого світла від тканин і крові. Далі використовується функція `checkForBeat()`, яка аналізує сигнал і визначає наявність пульсової хвилі. У разі виявлення серцевого скорочення

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обчислюється інтервал часу між поточним і попереднім ударом серця. Для цього використовується статична змінна `lastBeat`, яка зберігає момент попереднього спрацювання. Різниця між поточним значенням `millis()` і `lastBeat` дозволяє визначити тривалість одного кардіоциклу. Частота серцевих скорочень розраховується за формулою, що переводить період у кількість ударів за хвилину. Отримане значення зберігається у змінній `heartRateValue`.

Підпрограма `readGPS()` забезпечує зчитування та обробку даних з GPS-модуля (рис. 3.6).

```
// ЗЧИТУВАННЯ GPS
void readGPS() {
    while (Serial1.available()) {
        gps.encode(Serial1.read());
    }
    if (gps.location.isValid()) {
        latitude = gps.location.lat();
        longitude = gps.location.lng();
    }
}
```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду функції `readGPS()`

У циклі `while ()` відбувається перевірка наявності даних у буфері UART-інтерфейсу, після чого кожен байт послідовно передається у функцію `gps.encode()`. Ця функція виконує декодування NMEA-повідомлень, що надходять від GPS-приймача. Після обробки даних виконується перевірка валідності координат за допомогою `gps.location.isValid()`. У разі, якщо координати є коректними, значення широти та довготи зчитуються за допомогою `gps.location.lat()` та `gps.location.lng()` відповідно і зберігаються у змінних `latitude` та `longitude`.

3.2.4 Опис підпрограми `checkAlerts`

Підпрограма `checkAlerts()` призначена для аналізу отриманих даних і виявлення потенційно небезпечних станів. У ній реалізовано просту порогову логіку прийняття рішень (рис. 3.7).

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

```

void checkAlerts() {
    if (heartRateValue > 120 || heartRateValue < 40) {
        Serial.println("ALERT: Abnormal Heart Rate!");
    }

    if (activityLevel < 0.2) {
        Serial.println("ALERT: Low Activity!");
    }
}

```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду підпрограми checkAlerts()

Зокрема, якщо значення частоти серцевих скорочень перевищує 120 ударів за хвилину або є меншим за 40, система формує попередження шляхом виведення повідомлення "ALERT: Abnormal Heart Rate!" у послідовний порт. Аналогічно, якщо рівень активності activityLevel є меншим за 0.2, що може свідчити про тривалу нерухомість або критичний стан тварини, виводиться повідомлення "ALERT: Low Activity!". Такий підхід дозволяє оперативно виявляти відхилення від нормального стану та може бути розширений додатковими механізмами оповіщення, наприклад передачею повідомлень через мережу.

3.2.5 Опис підпрограми sendToUbidots

Підпрограма sendToUbidots() відповідає за формування і відправку телеметричних даних у хмару (рис. 3.8).

```

void sendToUbidots() {
    if (!client.connected()) {
        connectMQTT();
    }
    String payload = "{";
    payload += "\"heart_rate\":" + String(heartRateValue) + ",";
    payload += "\"activity\":" + String(activityLevel) + ",";
    payload += "\"latitude\":" + String(latitude, 6) + ",";
    payload += "\"longitude\":" + String(longitude, 6);
    payload += "}";
    String topic = "/v1.6/devices/";
    topic += DEVICE_LABEL;
    client.publish(topic.c_str(), payload.c_str());
}

```

Рисунок 3.8 – Лістинг коду функції captureAndSendPhoto()

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спершу виконується перевірка підключення до MQTT-брокера через умовний оператор `if`, і при його відсутності відбувається повторне встановлення з'єднання за допомогою функції `connectMQTT()`. Далі формується JSON-повідомлення `payload`, яке включає основні параметри моніторингу: частоту серцевих скорочень `heartRateValue`, рівень активності `activityLevel`, широту `latitude` та довготу `longitude`. Широта та довгота формуються з точністю до шести знаків після коми для забезпечення високої точності географічного позиціонування. Створюється топік для публікації даних на платформу Ubidots, який містить ім'я пристрою `DEVICE_LABEL`. Після цього повідомлення публікується на брокері за допомогою `client.publish()`, що забезпечує регулярну передачу даних у хмару для подальшого аналізу та візуалізації.

3.3 Реалізація віддаленого моніторингу

Для забезпечення віддаленого збору, зберігання та візуалізації даних у розробленій системі дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби було використано хмарну IoT-платформу Ubidots. Налаштування платформи здійснювалося з урахуванням вимог до безперервного приймання телеметричних даних, їх подальшого аналізу та формування сповіщень у разі виявлення відхилень фізіологічних показників тварини.

Після створення облікового запису було отримано персональний токен доступу (API Token), який використано для автентифікації мікроконтролера ESP32-S3 під час передавання даних за протоколом MQTT. У розділі керування пристроями було створено новий логічний пристрій (Device), якому надано унікальну назву відповідно до ідентифікатора тварини. Це забезпечило структуроване зберігання даних і можливість масштабування системи при додаванні нових об'єктів моніторингу.

Після створення пристрою було налаштовано змінні (Variables), що відповідали фізіологічним та поведінковим параметрам, які передавалися з мікроконтролера. Зокрема, були створені змінні для частоти серцевих скорочень (`heart_rate`), температури тіла (`body_temperature`), рівня рухової активності

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(activity), географічної широти (latitude) та довготи (longitude). Для кожної змінної було визначено тип даних (numeric), одиниці вимірювання (удари за хвилину, умовні одиниці активності, градуси) та параметри відображення на інформаційній панелі. Після першої передачі даних з пристрою платформа автоматично почала накопичувати часові ряди вимірювань (рис. 3.9).

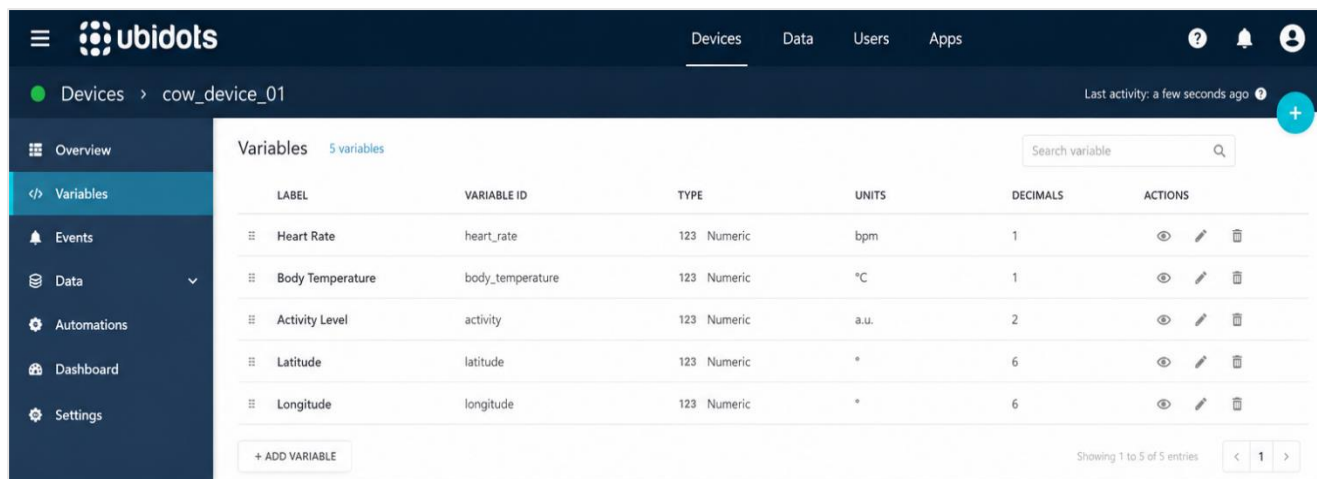


Рисунок 3.9 – Процес створення та налаштування пристрою в платформі Ubidots

Далі було реалізовано налаштування інформаційної панелі (Dashboard). На ній було створено віджети типу Line Chart для відображення динаміки ЧСС та рівня активності у часовій області. Для просторового аналізу переміщення тварини було додано віджет типу Map, у якому використовувалися змінні latitude та longitude для відображення поточного місцеположення на карті. Така конфігурація дозволила здійснювати як оперативний контроль, так і ретроспективний аналіз поведінки тварини за довільний період.

Окремим етапом налаштування стало створення подій (Events) для автоматичного реагування на відхилення показників від допустимих меж. Було визначено граничні значення частоти серцевих скорочень відповідно до фізіологічної норми для великої рогатої худоби. У разі перевищення верхнього або нижнього порогу система формувала тригер події, що ініціював надсилання сповіщення. Аналогічно було налаштовано подію для виявлення тривалої відсутності рухової активності. Умови спрацювання подій задавалися у вигляді

логічних виразів із зазначенням часової затримки для уникнення хибних спрацьовувань.

Для забезпечення надійності передавання даних було використано протокол MQTT з підключенням до сервера `industrial.api.ubidots.com` через стандартний порт 1883. У налаштуваннях було враховано періодичність надсилання телеметрії та реалізовано механізм повторного підключення у разі втрати зв'язку. Після інтеграції пристрою з платформою було проведено тестування передачі даних у реальному часі, під час якого перевірено коректність формування JSON-пакетів, відповідність назв змінних та стабільність відображення інформації на панелі керування.

Отже, у результаті виконаного налаштування хмарної IoT-платформи було забезпечено повноцінну інфраструктуру для збору, зберігання, візуалізації та аналізу даних про фізіологічний стан і поведінку великої рогатої худоби. Використання платформи Ubidots дозволило реалізувати централізований моніторинг, механізми автоматичного сповіщення та можливість подальшої інтеграції з аналітичними сервісами, що підвищує ефективність управління тваринницьким господарством.

3.4 Результати моделювання та тестування системи

На першому етапі перевірки працездатності розробленої системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби було виконано її моделювання в середовищі Circuit Designer. Метою моделювання була перевірка коректності електричних з'єднань, відповідності рівнів живлення, правильності конфігурації інтерфейсів I2C та UART, а також оцінювання логіки взаємодії між мікроконтролером та сенсорними модулями до виготовлення фізичного прототипу.

У середовищі моделювання було створено схему, що включала мікроконтролерну плату на базі ESP32-S3, акселерометр та гіроскоп MPU-6050, оптичний давач пульсу MAX30102, давач температури тіла MAX30205 та GPS-модуль. У процесі побудови схеми було перевірено правильність підключення

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ліній SDA та SCL до відповідних GPIO мікроконтролера, наявність спільної шини заземлення та відповідність напруги живлення 3,3 В для всіх периферійних модулів. Особливу увагу було приділено перевірці коректності з'єднання UART-інтерфейсу GPS-модуля, що є критичним для отримання NMEA-повідомлень (рис. 3.10).

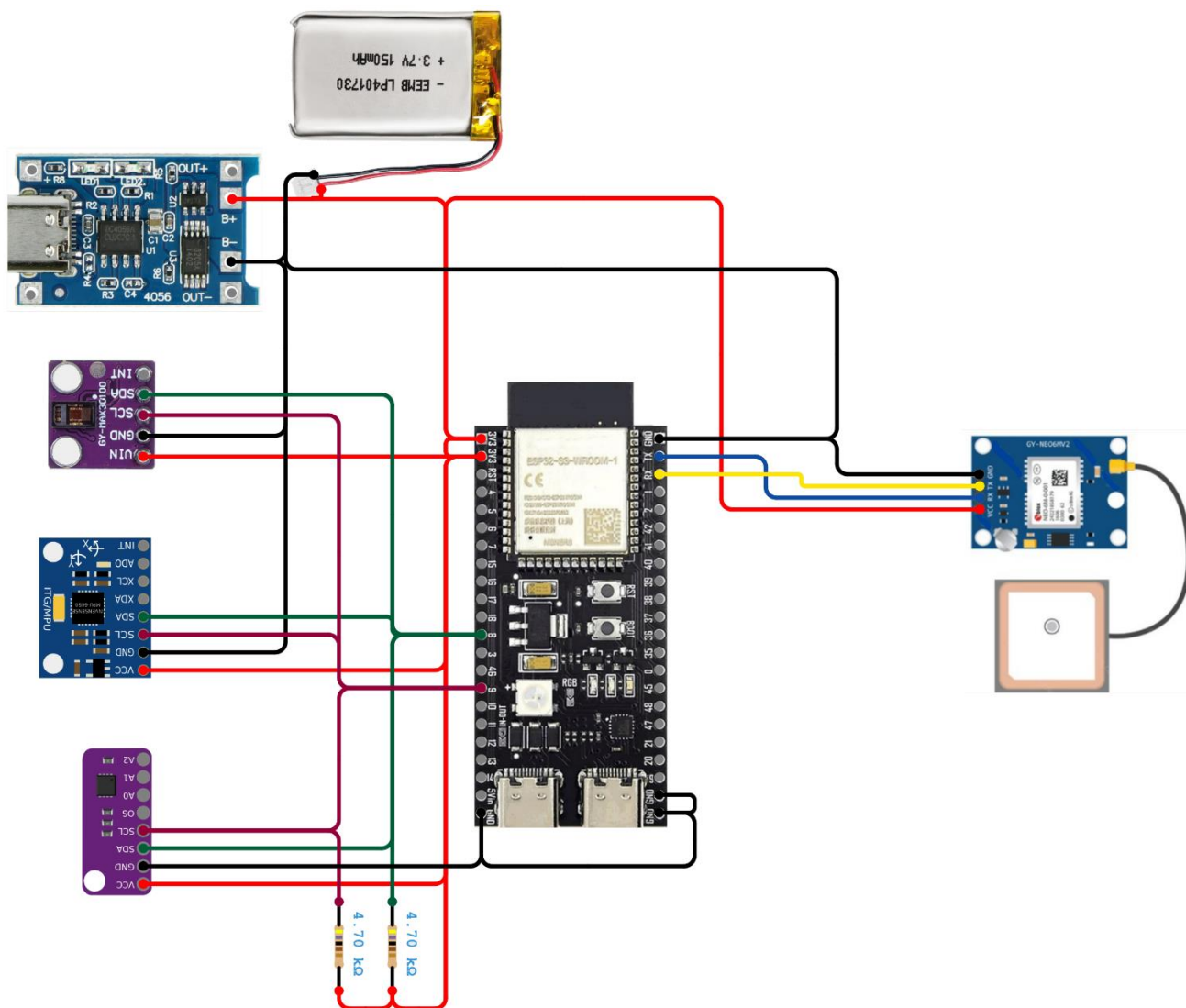


Рисунок 3.10 – Модель системи дистанційного моніторингу стану здоров'я великої рогатої худоби

Після завершення побудови схеми було проведено логічне тестування сигналів. У режимі симуляції здійснювалася імітація змін значень прискорення, частоти серцевих скорочень та координат. Було перевірено, що при зміні параметрів на вході модулів система формує відповідні цифрові значення на шині

										Арк.
										48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ					

I2C та коректно інтерпретує їх у програмному кодї. Також було змодельовано ситуації втрати живлення одного з модулїв для перевірки реакції системи на помилки ініціалізації. Результати моделювання підтвердили відсутність конфліктів адрес на шині I2C та правильність логіки алгоритму обробки даних.

На наступному етапі було виконано тестування фізичного прототипу системи. Спочатку було зібрано макет на монтажній платі з використанням реальних компонентів.

Тестування модуля MPU-6050 проводилося шляхом зміни просторового положення пристрою. У процесі експерименту було зафіксовано адекватну реакцію акселерометра на нахил та рух, а також стабільність показників після застосування цифрової фільтрації. Перевірка давача пульсу MAX30102 та давача температури тіла MAX30205 здійснювалася шляхом імітації контакту з біологічною тканиною та аналізу отриманих сигналів. Було підтверджено коректність визначення частоти серцевих скорочень та температури тіла у допустимому діапазоні значень.

GPS-модуль NEO-6M тестувався на відкритій місцевості для забезпечення стабільного приймання супутникового сигналу. У ході випробувань визначено середній час «холодного старту» та перевірено точність позиціонування. Отримані координати порівнювалися з даними смартфона, що дозволило оцінити похибку визначення місцеположення, яка не перевищувала декількох метрів.

Окремо було проведено тестування передавання даних на хмарну IoT-платформу Ubidots. Було перевірено формування MQTT-пакетів, стабільність з'єднання через Wi-Fi та відображення змінних на інформаційній панелі.

На завершальному етапі було виконано комплексне тестування всієї системи в умовах, наближених до реальних. Пристрій функціонував у безперервному режимі протягом тривалого часу, що дозволило оцінити стабільність роботи, температурний режим компонентів та рівень енергоспоживання. Результати експериментальних досліджень підтвердили працездатність системи, коректність алгоритму обробки даних і надійність передавання інформації до хмарної платформи. Отримані результати засвідчили відповідність розробленої системи поставленим технічним вимогам.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Менеджмент безпеки

Менеджмент безпеки передбачає багато складових, які починаються з заходів підготовки і передбачення надзвичайної ситуації, оповіщення і захисту у разі її настання, та евакуації населення і ліквідації її наслідків. Тому процес управління має багато заходів до і після настання надзвичайної ситуації.

Оповіщення про загрозу і постійне інформування населення досягається:

- завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних автоматизованих систем централізованого оповіщення населення;
- організаційно-технічним з'єднанням територіальних систем централізованого оповіщення і систем оповіщення на об'єктах господарювання;
- завчасним створенням і організаційно-технічним з'єднанням з системами спостереження і контролю постійно діючих локальних систем оповіщення та інформації населення в зонах можливого катастрофічного затоплення, районах розміщення радіаційних і хімічних підприємств, інших потенційно небезпечних об'єктів;
- централізованим використанням загальнодержавних і відомчих систем зв'язку, радіопровідного, телевізійного оповіщення, радіотрансляційних мереж та інших технічних засобів передачі інформації.

Спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою забезпечується [33]:

- створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до них існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості;

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Калінчук В.В.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцук Н.С.</i>					<i>50</i>	<i>7</i>
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осунівська Г.М.</i>						

- організацією збору, опрацювання і передачі інформації про стан довкілля, забруднення продуктів харчування, харчової сировини, фуражу, води радіоактивними, хімічними речовинами та інфекційними мікроорганізмами;
- наданням населенню можливості придбати найпростіші засоби захисту і контролю в особисте користування.

Укриттю в захисних спорудах підлягає усе населення відповідно до його належності до груп (працююча зміна, населення, яке проживає в небезпечних зонах). Створення фонду захисних споруд досягається шляхом [33]:

- комплексного освоєння підземного простору міст і населених пунктів для взаємопогодженого розміщення в ньому споруд і приміщень соціально-побутового, виробничого і господарського призначення та з урахуванням пристосування і використання частини приміщень для укриття населення в надзвичайних ситуаціях;
- обстеження і взяття на облік підземних і наземних будівель та споруд, що відповідають вимогам захисту, споруд підземного простору міст, гірничих виробок і природних порожнин;
- дообладнання з урахуванням реальної обстановки підвальних та інших заглиблених приміщень;
- будівництва заглиблених споруд, які окремо стоять, об'єктів господарювання, пристосованих для захисту;
- масового будівництва в період загрози найпростіших сховищ та укриттів;
- завчасного будівництва за рішенням Кабінету Міністрів України окремих сховищ і протирадіаційних укриттів.

Наявний фонд захисних споруд використовується для господарських, культурних і побутових потреб у порядку, визначеному органами МНС України. Евакуаційні заходи в умовах неповного забезпечення захисними спорудами в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Евакуації підлягає населення, яке проживає в населених пунктах, що знаходяться у зонах можливого катастрофічного затоплення, небезпечного радіоактивного забруднення, хімічного ураження, в районах прогнозованого виникнення локальних збройних конфліктів у 50-кілометровій прикордонній смузі, в районах виникнення стихійного лиха, великих аварій і катастроф (якщо виникає безпосередня загроза життю та заподіяння шкоди здоров'ю людини).

Залежно від обстановки, яка склалася на час надзвичайної ситуації, може бути проведено загальну або часткову евакуацію населення тимчасового або безповоротного характеру. Загальна евакуація в особливий період проводиться в окремих регіонах за рішенням Кабінету Міністрів України для всіх категорій населення і планується на випадок [33]:

- небезпечного радіоактивного забруднення навколо АЕС (якщо виникає безпосередня загроза життю та заподіяння шкоди здоров'ю населення, яке проживає в зоні ураження);
- загрози катастрофічного затоплення місцевості з чотиригодинним добіганням проривної хвилі;
- загрози або виникнення збройного конфлікту в районах 50-кілометрової прикордонної смуги.

Часткова евакуація здійснюється в умовах переведення за рішенням Кабінету Міністрів України системи захисту населення і територій на воєнний стан до початку застосування агресором сучасних засобів ураження, а в мирний час – у разі загрози або виникнення стихійного лиха, аварії, катастрофи.

Під час проведення часткової евакуації завчасно вивозиться не зайняте у виробництві і сфері обслуговування населення: студенти, учні навчальних закладів, вихованці дитячих будинків, пенсіонери та інваліди, які утримуються у будинках для осіб похилого віку, разом з викладачами та вихователями, обслуговуючим персоналом і членами їхніх сімей. Евакуація населення здійснюється комбінованим способом, який передбачає у мирний час вивезення основної частини населення з міст і небезпечних районів усіма видами наявного транспорту, а у воєнний час – транспортом, який не передається до складу ЗСУ, у поєднанні з виведенням найбільш витривалої частини населення пішки.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

4.2 Заходи з техніки безпеки при виготовленні печатних плат, при паянні та склеюванні деталей

Для розробки комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій використовуються друковані плати, які є основою для створення електронних схем управління пристроєм. Друкована (печатна) плата – це пластина, яка виготовлена з діелектрика (гетинакс, текстоліт), на якій сформований принаймні один провідний малюнок. Електронні компоненти монтуються на друковану плату і з'єднуються своїми виводами з елементами провідного малюнка шляхом паяння, або, значно рідше – зварювання, внаслідок чого збирається електронний пристрій (або змонтована друкована плата). Друкована плата проєктується індивідуально залежно від типів корпусів деталей і електронної схеми. Для їх розробки використовують спеціальне програмне забезпечення.

Сучасна технологія виготовлення друкованих плат містить з велику кількість різних хімічних, фотохімічних і механічних операцій. Більшість речовин і матеріалів, які застосовуються при виготовленні друкованих плат, є небезпечними для життя і здоров'я людини. Шкідливі речовини і їх пари можуть проникати в організм людини через кишково-шлунковий тракт, шкіру і органи дихання [34].

Вдихання хімічних речовин в будь-якому стані (пил, пари, чи газ) спричиняє ураження верхніх дихальних шляхів і загально-токсичний ефект при всмоктуванні речовин в кров. У кишково-шлунковий тракт шкідливі речовини попадають при курінні, вживанні води і їжі на ділянках виготовлення друкованих плат.

Нагрівання розчинів призводить до виділення краплин рідини і інтенсивного пароутворення, які тягнуть за собою частинки розчину, а це спричиняє забруднення атмосфери виробничих приміщень. Крім цього, під час різних операцій утворюються і поступають в атмосферу проміжні речовини, які можна віднести до першого класу безпеки. Так, хлоровані вуглеводні (тетрахлоретилен, трихлоретилен) при взаємодії з сонячним світлом чи відкритими джерелами полум'я утворюють нову речовину – надзвичайно небезпечний газ фосген, а при

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реагентному способі очищення відпрацьованих вод від сполук ціану може утворюватися хлорціан [34].

Попадання кислоти в лужний ціанистий електроліт, змішування ціанистих і кислих стоків вентиляційних вихлопів може спричинити утворення ціаністого водню. Процеси хімічного фрезерування, електрохімічної обробки, травлення і знежирення супроводжуються виділенням парів лугів, кислот і потраплянням їх в повітря зони дихання. Багато шкідливих речовин надходить в організм через шкіру, особливо небезпечними є розчинники, луги, концентровані кислоти і хромові композиції. У відділах приготування електролітів завжди має місце висока концентрація парів токсичних речовин і пилу, особливо під час: змішування сипучих компонентів, дозуванні при приготуванні розчинів, обробки матеріалів і під час транспортних операцій.

При ціаністому срібленні і мідненні утворюється ціанистий водень, який потрапляє в атмосферу, в цьому випадку відчувається запах мигдалю. Поява у повітрі шкідливих речовин над ваннами є результатом виносу дрібних краплинок електроліту бульбашками газів (кисню і водню), які виділяються на електродах під час електролітичного процесу та випаровування розчинів. Ціанистий водень утворюється внаслідок контакту ціаністого розчину з вуглекислою. Біля ванн окисдування утворюються пари лугів; біля ванн кадміювання – оксиди кадмію; біля ванн декапірування – пари соляної кислоти; при очистці свинцевих анодів – пил свинцю; при хромуванні – хромовий ангідрид; при нікелюванні – пари сполучення нікелю [34].

Однією з умов дотримання безпеки праці є забезпечення здійснення етапів виробництва відповідно до технологічної послідовності окремих операцій, передбачаючи механізацію і автоматизацію процесів, а також централізацію приготування електролітів. Пульти операторів автоматичних ліній з програмним управлінням повинні бути віддалені від ванн на певну відстань, що виключає вплив на працівників небезпечних виробничих факторів.

При неможливості автоматизації процесів має бути забезпечена комплексна механізація окремих етапів – підготовчих, транспортних, фінішних, зокрема завантаження друкованих плат у ванни і їх вивантаження. Використання ручних

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робіт допускається при відсутності в технологічному процесі речовин 1-го і 2-го класів небезпеки із застосуванням індивідуального і колективного захисту працівників.

Особливу увагу необхідно звернути на заміну токсичних речовин нетоксичними чи менш токсичними, заміну небезпечних операцій менш шкідливими. Так, використання інгібіторів і присадок дозволяє зменшити витрати на вентиляцію, а також значно знизити виділення парів кислоти з поверхні травильних і гальванічних ванн (дзеркало ванни покривається піною).

При склеюванні та паянні деталей, виконанні монтажних робіт присутні певні шкідливі фактори. Тому усі робочі місця обладнуються витяжною вентиляцією, а працівники використовувати засоби індивідуального захисту шкіри, очей і органів дихання. Повітря має бути чистим, потрібної вологості і температури.

Усе це робить вентиляцію одним з найефективніших засобів оздоровлення, підвищення продуктивності праці і безпеки та покращення якості продукції при монтажних роботах. За способом переміщення повітря вентиляція може бути механічною, природною і змішаною. Природний обмін повітря у робочому приміщенні здійснюється через двері, кватирки, вікна, ґратки на підлозі та у стінах. При механічній вентиляції повітря видаляється або подається системою вентиляційних каналів за допомогою вентиляторів [35].

У приміщеннях де виконуються монтажні роботи, використовують механічну і природню вентиляцію. За місцем дії вентиляція може бути і загальнообмінною, принцип дії якої базується на розрідженні речовин, які виділяються, свіжим повітрям до певної температури і концентрації. У приміщеннях, в яких можливе різке надходження у повітря великої кількості шкідливої пари, пилу, газів, передбачається аварійна вентиляція. Для ефективної роботи системи вентиляції кількість повітря, яке надходить повинна відповідати кількості видаленого повітря, або різниця між ними повинна бути мінімальною. Витяжні і припливні системи у приміщенні розміщені так, що свіже повітря подається у ті частини, в яких кількість шкідливих речовин мінімальна (або відсутня зовсім), а видаляється там, де їх видалення є мінімальним; приплив повітря відбувається у робочі зони, а витяжка з верхньої зони приміщення.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система вентиляції не викликає ні перегріву ні переохолодження працівників і не створює шуму на робочих місцях, який би міг перевищувати допустимі норми. Система вентиляції також повинна бути пожежо- і вибухонебезпечною, надійною, простою в експлуатації і економічною.

Вентиляція забезпечує потрібний обмін повітря завдяки різниці густини теплого повітря, яке знаходиться всередині приміщення і холоднішого повітря зовні, а також внаслідок вітрових потоків. Природна вентиляція може бути організованою і неорганізованою. У першому випадку повітря видаляється і надходить через щілини і пори кватирок, вікон і зовнішніх огорож.

Організована вентиляція здійснюється дефлекторами і аерацією. Аерація – це організований і регулюючий природний обмін повітря. Дефлектори являють собою спеціальні пасажі, що використовують енергію вітру і встановлюються на витяжних повітровідводах [35].

Штучна вентиляція підтримує постійний обмін повітря незалежно від зовнішніх метеорологічних умов, завдяки механічним і повітроводам вентиляторам. Повітря, яке надходить до приміщення, у випадку необхідності охолоджується або підігрівається, осушується або зволожується. Забезпечується очищення повітря, яке виводиться в атмосферу.

Припливна загальнообмінна система вентиляції виконує забирання повітря ззовні вентилятором через калорифер, в якому повітря зволожується і нагрівається, а потім подається до приміщення. Забруднення повітря витісняється неочищеним через щілини, вікна, двері.

Місцева вентиляція за способом обміну повітря також поділяється на витяжну та припливну. Витяжна вентиляція видаляє забруднене повітря, знижуючи ризик отруєння та подразнення дихальних шляхів. Припливна вентиляція подає свіже очищене повітря, покращуючи самопочуття, концентрацію та загальний комфорт людини. Разом ці системи підвищують безпеку та ефективність умов праці.

Під час розробки системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби були дотримані заходи з техніки безпеки при виготовленні печатних плат, при паянні та склеюванні деталей.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						56
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

У рамках виконання кваліфікаційної роботи реалізовано комп'ютерну систему дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій, яка забезпечує збір, обробку та передачу даних про фізіологічний стан і активність тварин.

Виконано аналіз предметної області і обґрунтовано актуальність створення систем моніторингу стану великої рогатої худоби. Проаналізовано основні проблеми сучасного тваринництва, пов'язані з необхідністю своєчасного виявлення захворювань, контролю фізичної активності та визначення місцеположення тварин. Також було виконано огляд існуючих аналогів і визначено їх основні недоліки.

У роботі сформульовано технічні вимоги до проєктованої системи та розроблено її структуру. Обґрунтовано вибір мікроконтролерного модуля ESP32-S3, датчиків MAX30205, MAX30102, MPU-6050 та GPS-модуля NEO-6M. Синтезовано структурну та електричну принципову схеми системи, які забезпечують взаємодію всіх компонентів і передачу даних до хмарної IoT-платформи Ubidots.

Розроблено алгоритм роботи системи та створено ПЗ для мікроконтролера ESP32-S3. Програмна частина реалізує зчитування даних із сенсорів, обробку інформації, визначення граничних станів, формування попереджень і передачу результатів моніторингу на хмарну платформу за протоколом MQTT.

На завершальному етапі виконано моделювання системи, а також проведено випробування фізичного прототипу. Результати тестування підтвердили працездатність системи, коректність функціонування її основних модулів та можливість використання розробленого рішення для дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rajapakse T., Maduranga M., Dissanayake M. IoT-enabled cattle health and location monitoring system. WSEAS Transactions on International Journal of Applied Sciences & Development, 1, 2022. P. 64-74.
2. Toulemonde A.C., Madouasse A., Le Cozler Y., Guatteo R. Assessing the reliability of camera-based identification, activity monitoring, and location in housing systems on dairy farms. JDS Communications, 2026. Vol. 7, No. 3, P. 371-377.
3. Farooq M. S., Sohail O. O., Abid A., Rasheed S. A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart livestock environment. IEEE Access, 10, 2022. P. 9483-9505.
4. Mohapatra H. A LoRa IoT Framework with Machine Learning for Remote Livestock Monitoring in Smart Agriculture. arXiv preprint arXiv:2510.07322. 2025. P. 1-26.
5. Слонь Ю. В., Склярів П. М. Огляд систем контролю поведінки тварин на ринку України з коротким описом принципу роботи та технічною характеристикою. Scientific Progress & Innovations, 2025. № 28 (1). С. 128–140.
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. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart rhythm with increased informativeness. Acta mechanica et automatic. 2018. Vol. 12. P. 311-315.
10. Shabliy N., Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Malyshevskaya O. Keystroke dynamics analysis using machine learning methods. Applied Computer Science. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 75-83.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

12. 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.

13. 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 (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, November 14-18, 2022. P. 317-320.

14. Zozulia A., Lytvynenko I., Lutsyk N., Lupenko S., Yasniy O. Method of vector rhythmcardiosignal automatic generation in computer-based systems of heart rhythm analysis. *Visnyk of TNTU*. 2020. Vol. 97, P. 122-132.

15. 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.

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. Yasniy O., Lutsyk N., Demchyk V., Osukhivska H., Malyshevska O. The prediction of structural properties of Ni-Ti shape memory alloy by the supervised machine learning methods. *CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023)*, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 73–78.

18. 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.

					<i>КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						59
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

30. Palamar A., Karpinskyu M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. 7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011), June 1-3, 2011. P. 173–177.

31. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

32. Palamar A., Karpinskyu M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium 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.

33. Запорожець О.І. Безпека життєдіяльності. Підручник, 2-е видання, Центр учбової літератури, 2020. 448 с.

34. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. 215 с.

35. Андрейчук Н.І., Кіт Ю.В., Шибанов С.В., Шерстньова О.В. Охорона праці : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2021. 276 с.

					КС КРБ 123.267.00.00 ПЗ	Арк.
						61
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 кафедрою КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ
ЗДОРОВ'Я ТА ПОВЕДІНКИ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ 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

_____ PhD Луцик Н.С.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІс-41

_____ Калінчук В.В.

“ 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 дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.267.00.00.

1.2 Виконавець

Студент групи СІс-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Калінчук Віталій Васильович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/9-189 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 дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби на основі IoT-технологій. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проєктування 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 дистанційного моніторингу призначена для безперервного збору, обробки та передавання даних про стан здоров'я і поведінкову активність великої рогатої худоби. Система забезпечує контроль ключових параметрів життєдіяльності тварин та надає користувачам можливість віддаленого доступу до актуальної та історичної інформації з використанням мережі Інтернет.

2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є підвищення продуктивності та безпеки тваринництва шляхом упровадження IoT-орієнтованого рішення для

дистанційного моніторингу, аналізу та візуалізації показників стану здоров'я і поведінки великої рогатої худоби в режимі реального часу.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом моніторингу є велика рогата худоба, яка утримується в умовах фермерських або промислових тваринницьких господарств. Характерною особливістю об'єкта є необхідність постійного контролю фізіологічних параметрів, таких як температура тіла, рівень активності, положення тіла та інші показники, що можуть свідчити про стан здоров'я, стрес або початок захворювання. Умови експлуатації системи передбачають роботу в агресивному середовищі, зокрема підвищену вологість, запиленість та температурні коливання.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна забезпечувати цілодобову автоматизовану роботу без постійного втручання оператора, мати модульну структуру, бути масштабованою та адаптованою до різних умов утримання тварин. Вона має відповідати вимогам енергоефективності, безпеки експлуатації та захисту інформації.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структура системи повинна включати сенсорні вузли, закріплені на тваринах, мікроконтролерний блок обробки даних, модуль бездротового

зв'язку, серверну або хмарну частину та користувацький інтерфейс. Функціонування системи передбачає послідовні етапи:

- зчитування даних із сенсорів;
- первинну обробку та фільтрацію інформації;
- передавання даних до хмарного сервісу;
- зберігання, аналіз та візуалізацію даних для користувача.

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

Обмін даними між елементами системи повинен здійснюватися з використанням бездротових технологій зв'язку, таких як Wi-Fi, GSM/LTE або LPWAN-рішення. Засоби зв'язку мають забезпечувати стабільне передавання інформації на великих відстанях, мінімальні затримки та захист даних від несанкціонованого доступу.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати автоматичний режим функціонування, у якому всі процеси збору та передавання даних виконуються без участі користувача. Також має бути реалізований режим оповіщення, що активується при виявленні критичних або нетипових показників, а також сервісний режим для налаштування та діагностики системи.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Архітектура системи повинна передбачати можливість подальшого розвитку, зокрема розширення переліку контрольованих параметрів, інтеграцію додаткових сенсорів, упровадження алгоритмів машинного навчання для

прогнозування стану здоров'я та інтеграцію з іншими інформаційними системами управління фермою.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечувати високу надійність роботи в умовах тривалої експлуатації, стійкість до відмов окремих компонентів та коректне відновлення роботи після збоїв живлення або втрати зв'язку. Апаратні елементи мають бути захищені від механічних пошкоджень та впливу зовнішніх факторів.

Показники надійності системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби 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 про фізіологічний стан та активність тварин;
- обробку та аналіз отриманої інформації;
- зберігання історичних даних;
- формування сповіщень про відхилення від норми;
- візуалізацію даних у зручному для користувача вигляді.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення системи має ґрунтуватися на сучасній мікроконтролерній платформі з підтримкою бездротових інтерфейсів. Сенсорні модулі повинні забезпечувати достатню точність вимірювань, бути

енергоефективними та безпечними для тварин. Джерела живлення мають гарантувати автономну роботу протягом тривалого часу.

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	25.06.2026

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

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера для реалізації системи дистанційного моніторингу стану здоров'я та поведінки великої рогатої худоби.

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <Wire.h>
#include <MPU6050.h>
#include <TinyGPSPlus.h>
#include "MAX30105.h"
#include "heartRate.h"
#include "MAX30205.h"

/***** НАЛАШТУВАННЯ WIFI *****/
const char* WIFI_SSID = "WIFI_SSID";
const char* WIFI_PASS = "XXXXXXX";

/***** UBIDOTS *****/
const char* UBIDOTS_TOKEN = "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX";
const char* MQTT_CLIENT_NAME = "cow_monitor_01";
const char* DEVICE_LABEL = "cow_device_01";
const char* MQTT_SERVER = "industrial.api.ubidots.com";
const int MQTT_PORT = 1883;

/***** ОБ'ЄКТИ *****/
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
MPU6050 mpu;
TinyGPSPlus gps;
MAX30105 particleSensor;
MAX30205 tempSensor;

/***** ПІНИ *****/
#define SDA_PIN 8
#define SCL_PIN 9
#define GPS_RX 44
#define GPS_TX 43

/***** ГЛОБАЛЬНІ ЗМІННІ *****/
float heartRateValue = 0;
float activityLevel = 0;
float latitude = 0;
float longitude = 0;
float bodyTemperature = 0;

unsigned long lastSend = 0;
const unsigned long sendInterval = 10000;
```

```

/*****
 * SETUP
 *****/
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);
  // MPU6050
  mpu.initialize();
  // MAX30102
  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_STANDARD)) {
    while (1);
  }
  particleSensor.setup();
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);
  particleSensor.setPulseAmplitudeIR(0x0A);
  // MAX30205
  if (!tempSensor.begin()) {
    Serial.println("MAX30205 not found!");
  }
  // GPS
  Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, GPS_RX, GPS_TX);
  // WiFi
  connectWiFi();
  // MQTT
  client.setServer(MQTT_SERVER, MQTT_PORT);
  connectMQTT();
}

/*****
 * ОСНОВНИЙ ЦИКЛ
 *****/
void loop() {
  client.loop();
  readMPU();
  readTemperature();
  readHeartRate();
  readGPS();
  checkAlerts();
  if (millis() - lastSend > sendInterval) {
    sendToUbidots();
    lastSend = millis();
  }
  delay(50);
}

/*****
 * ЗЧИТУВАННЯ MPU6050
 *****/
void readMPU() {
  int16_t ax, ay, az;
  mpu.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
  float accel = sqrt(ax * ax + ay * ay + az * az);
}

```

```

    activityLevel = accel / 16384.0;
}

/*****
 * ЗЧИТУВАННЯ ПУЛЬСУ
 *****/
void readHeartRate() {
    long irValue = particleSensor.getIR();
    if (checkForBeat(irValue)) {
        static unsigned long lastBeat = 0;
        unsigned long delta = millis() - lastBeat;
        lastBeat = millis();
        heartRateValue = 60.0 / (delta / 1000.0);
    }
}

/*****
 * ЗЧИТУВАННЯ GPS
 *****/
void readGPS() {
    while (Serial1.available()) {
        gps.encode(Serial1.read());
    }
    if (gps.location.isValid()) {
        latitude = gps.location.lat();
        longitude = gps.location.lng();
    }
}

/*****
 * ЗЧИТУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ
 *****/
void readTemperature() {
    bodyTemperature = tempSensor.getTemperature();
}

/*****
 * ПЕРЕВІРКА ГРАНИЧНИХ СТАНІВ
 *****/
void checkAlerts() {
    if (heartRateValue > 120 || heartRateValue < 40) {
        Serial.println("ALERT: Abnormal Heart Rate!");
    }
    if (activityLevel < 0.2) {
        Serial.println("ALERT: Low Activity!");
    }
    if (bodyTemperature > 39.5 || bodyTemperature < 36.0) {
        Serial.println("ALERT: Abnormal Body Temperature!");
    }
}

/*****
 * ВІДПРАВКА ДАНИХ НА UBIDOTS
 *****/

```

```

*****/
void sendToUbidots() {
  if (!client.connected()) {
    connectMQTT();
  }
  String payload = "{";
  payload += "\"heart_rate\":" + String(heartRateValue) + ",";
  payload += "\"activity\":" + String(activityLevel) + ",";
  payload += "\"temperature\":" + String(bodyTemperature) + ",";
  payload += "\"latitude\":" + String(latitude, 6) + ",";
  payload += "\"longitude\":" + String(longitude, 6);
  payload += "}";
  String topic = "/v1.6/devices/";
  topic += DEVICE_LABEL;
  client.publish(topic.c_str(), payload.c_str());
}

/*****
* ПІДКЛЮЧЕННЯ WIFI
*****/
void connectWiFi() {
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
  }
}

/*****
* ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО MQTT
*****/
void connectMQTT() {
  while (!client.connected()) {
    client.connect(MQTT_CLIENT_NAME, UBIDOTS_TOKEN, "");
    delay(1000);
  }
}

```