

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформацій

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Інформаційна система моніторингу стану здоров'я корів на розумній молочній фермі

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи АПСм -22-1

Вотінов К. О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність

126 Інформаційні системи та технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Архітектурне проектування інформаційних систем

(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Бітченко О.М.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

В.о. зав. кафедри РТКС

(підпис)

Зарудний О.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Архітектурне проектування інформаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові **ВОТІНОВУ КОСТЯНТИНУ ОЛЕКСІЙОВИЧУ**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ
ЗДОРОВ'Я КОРІВ НА РОЗУМНІЙ МОЛОЧНІЙ ФЕРМІ**

затверджена наказом по університету від **3 жовтня 2023 р. № 1295 Ст**

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії **10 січня 2024 р.**

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Сформулювати постановку задачі для подальшої розробки

3.2 Розробити архітектуру системи збору та обробки даних про стан корів

3.3 Розробити користувальницький інтерфейс для прогнозування ймовірності захворювань

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ. 1 Огляд існуючих рішень. 2 Архітектурне проектування інформаційної системи. 3 Схемотехнічне проектування інформаційної системи. 4 Програмна розробка. Висновки. Перелік джерел посилання. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.10-09.10.2023	
2	Огляд існуючих рішень	10.10-25.10.2023	
3	Архітектурне проектування інформаційної системи	26.10-10.11.2023	
4	Схемотехнічне проектування інформаційної системи	11.11-03.12.2023	
5	Програмна розробка	04.12-31.12.2023	
6	Висновки	01.01.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.01-07.01.2024	
8	Оформлення ілюстрацій	7.01- 09.01.2024	
9	Представлення роботи на кафедрі	10.01.2024	

Дата видачі завдання **4 жовтня 2023 р.**

Студент _____
(підпис)

Вотінов К. О.

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Бітченко О.М.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи магістра містить 85 сторінок тексту, 35 рисунків, 10 таблиць, 28 джерел посилання та 3 додатки.

ХУДОБА. ХВОРОБА. ДАТЧИК. ІНТЕРФЕЙС. ТЕМПЕРАТУРА. ПУЛЬС.
ІНТЕРНЕТ. МІКРОКОНТРОЛЕР. ПЛАТФОРМА.

Об'єктом розробки є інформаційна система моніторингу стану здоров'я великої рогатої худоби.

Метод дослідження - описово-аналітичний.

Предметом дослідження є платформа збору та обробки даних з датчиків.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи ферм за рахунок технологій інтернету речей.

В процесі виконання роботи було проведено огляд та аналіз існуючих систем моніторингу та керування, спроектовано архітектуру системи, обрано елементну базу для реалізації системи та розроблено користувальницький інтерфейс для прогнозування ймовірності захворювань.

Робота має практичне значення і може бути використана для розробки і впровадження інтегрованих інформаційних систем моніторингу стану здоров'я тварин для розумних ферм.

ABSTRACT

Explanatory note of the master's thesis contains 85 pages of text, 35 figures, 10 tables, 28 reference sources and 3 appendices.

LIVESTOCK. DISEASE. SENSOR. INTERFACE. TEMPERATURE. PULSE.
INTERNET. MICROCONTROLLER. PLATFORM.

The object of development is an information system for monitoring the health of cattle.

The research method is descriptive and analytical.

The subject of research is a platform for collecting and processing data from sensors.

The purpose of the work is to increase the efficiency of farms through Internet of Things technologies.

In the course of the work, a review and analysis of the existing monitoring and control systems was carried out, the system architecture was designed, an element base was selected for the implementation of the system, and a user interface was developed for predicting the probability of diseases.

The work is of practical importance and can be used for the development and implementation of integrated information systems for animal health monitoring for smart farms.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Огляд існуючих рішень.....	9
1.1 Розумна ферма як об'єкт інтернету речей.....	9
1.2 Програма керування фермою DeLaval DelPro™.....	10
1.2.1 Загальні відомості про DeLaval DelPro™.....	10
1.2.2 Основні джерела інформації DeLaval DelPro™.....	11
1.3 Система AfiMilk.....	15
1.3.1 Загальні відомості про AfiMilk.....	15
1.3.2 Основні інструменти системи AfiMilk.....	16
2 Архітектурне проектування інформаційної системи.....	29
2.1 Огляд та аналіз найпоширеніших захворювань рогатої худоби.....	29
2.1.1 Мастит.....	29
2.1.2 Хвороба дихальних шляхів (ХДШ) у великої рогатої худоби	31
2.1.3 Метаболічні порушення (кетоз).....	32
2.1.4 Проблеми репродуктивного здоров'я.....	34
2.2 Розробка структурної схеми проектованої інформаційної системи	35
3 Схемотехнічне проектування інформаційної системи.....	38
3.1 Вибір та обґрунтування датчика температури тіла.....	38
3.2 Вибір та обґрунтування датчику пульсу.....	40
3.2.1 Модуль PulseSensor.....	41
3.2.2 Інтегральні датчики MAX30102.....	42
3.2.3 Модуль AD8232.....	43
3.3 Вибір та обґрунтування акселерометра.....	46
3.3.1 Акселерометр ADXL345.....	46
3.3.2 Модуль датчика прискорення GY-521 та триосьового гіроскопа MPU-6050.....	46
3.3.3 Трьохосьовий акселерометр LIS3DH.....	48

	6
3.4 Вибір та обґрунтування датчика провідності шкіри.....	49
3.5 Вибір та обґрунтування датчика GPS.....	50
3.6 Обґрунтування вибору мікроконтролера.....	51
4 Програмна розробка.....	54
4.1 Підключення датчиків до мікроконтролера.....	54
4.2 Розрахункові формули.....	56
4.3 Розробка інтерфейсу.....	61
Висновки.....	68
Перелік джерел посилання.....	69
Додаток А – Програмні коди.....	72
Додаток Б – Слайди презентації.....	77
Додаток В – Відомість кваліфікаційної роботи.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

API (Application Programming Interface) – опис способів взаємодії однієї комп'ютерної програми з іншими,
CAN (Controller Area Network) – локальна мережа контролерів,
GPS (Global Positioning System) – система глобального позиціонування,
ICAR (International Committee for Animal Recording) – міжнародний комітет з обліку тварин,
IoT (Internet of Things) – інтернет речей,
I2C (Inter-Integrated Circuit) – послідовна асиметрична шина для зв'язку між інтегральними схемами,
NFC (Near Field Communication) – комунікація ближнього поля,
NEB – (negative energy balance) – негативний енергетичний баланс,
UART (Universal asynchronous receiver/transmitter) – універсальний асинхронний прийомопередавач,
SPI (Serial Peripheral Interface) – послідовний периферійний інтерфейс,
АПМК – агропромисловий молочний комплекс,
АЦП – аналого-цифровий перетворювач,
ВРХ – велика рогата худоба,
МК – мікроконтролер,
ЕКГ – електрокардіограма,
ОС – операційна система,
ПЗ – програмне забезпечення,
ХДШ – хвороба дихальних шляхів.

ВСТУП

Зараз ми живемо в світі, де більшість повсякденних завдань спрощені або автоматизовані. Ці технології допомагають нам економити час і створювати комфортні умови експлуатації. Популярність автоматизованих систем обумовлена прагненням людини до комфорту і зручності.

Галузь тваринництва не є винятком. Сьогодні фермери можуть відстежувати демографічну статистику стада за допомогою смартфона, точно визначати місце розташування втраченого теляти за допомогою GPS-нашийника і отримувати текстові повідомлення про початок зміни стану у корів. Ринок натільних гаджетів для тваринництва зростає, і до 2025 року він може досягти 2,5 мільярда доларів.

Це зростання відображає популярність руху точного землеробства, де технологія впроваджена в кожен аспект життя аграрія. Трактори обладнані автономними GPS-модулями, логістика на полях розробляється за допомогою дронів, а автоматизовані доїльні апарати почали використовуватися на великих фермах.

Ідея використання технологій для підвищення ефективності догляду за тваринами і заощадження часу та грошей на візити ветеринара є актуальною. Створення інтегрованої інформаційної системи моніторингу та керування на основі інтернету речей для розумної ферми є перспективним напрямком дослідження.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності роботи ферм за рахунок технологій інтернету речей. Для досягнення цієї мети були сформульовані наступні задачі:

- провести огляд та аналіз існуючих систем моніторингу та керування;
- спроектувати архітектуру системи;
- обрати елементну базу для реалізації системи;
- розробити користувальницький інтерфейс для прогнозування ймовірності захворювань.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Розумна ферма як об'єкт інтернету речей

Розумна ферма – це повністю автономний, роботизований, сільськогосподарський об'єкт, призначений для розведення сільськогосподарських видів/пород тварин (м'ясні, молочні тощо) в автоматичному режимі, що не потребує участі людини (оператора, тваринника, ветеринару тощо) [1].

Така ферма самостійно проводить аналіз економічної доцільності виробництва, споживчої активності, рівня загального здоров'я населення регіону (країна, край, область та ін.) та інших економічних показників, використовуючи необхідні цифрові технології (штучний інтелект, інтернет речей, великі дані, нейронні мережі та ін.), на підставі такого аналізу, ферма приймає рішення які види/породи сільськогосподарської тварини (із заданими якісними та кількісними показниками) необхідно розводити.

Завданням розумних ферм є створення цифрових технологій, які забезпечують незалежність та конкурентоспроможність вітчизняного тваринницького комплексу; залучення інвестицій; створення та впровадження технологій підвищення молочної продуктивності тварин до 13 000 л/рік; зниження рівня захворюваності корів на мастит і отже зниження витрат на антибіотики; створення та впровадження технологій автономного виробництва (без присутності (відсутності) оператора), енергоефективності та енергомобільності в «Розумній фермі»; створення безпечних та якісних, у тому числі функціональних, продуктів харчування.

Структура розумної ферми, на прикладі молочної ферми, наведена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Розумна ферма

1.2 Програма керування фермою DeLaval DelPro™

1.2.1 Загальні відомості про DeLaval DelPro™

Програма DelPro – це не просто частина програмного забезпечення, це платформа для повного управління, яка надає вам точну та своєчасну інформацію, необхідну для роботи ефективної та прибуткової молочної ферми [2]. Це центральний майданчик для збору та аналізу даних від вашої доїльної системи та датчиків, а потім розповсюдження цих даних за допомогою набору спеціально створених, простих у використанні додатків, які спрощують та прискорюють перетворення всіх цих даних у дію.

Здорові корови – запорука успіху будь-якої молочної ферми. DelPro записує та аналізує дані по кожній корові, щоб надати вам точну, надійну та своєчасну інформацію про добробут кожної корови, щоб допомогти вам приймати рішення, які призводять до чудового здоров'я, відтворення та довголіття тварин.

DelPro дозволяє швидше діагностувати проблеми зі здоров'ям тварин, скорочуючи витрати на лікування, збільшуючи тривалість життя та знижуючи продуктивність; оптимізувати корми для скорочення відходів та підвищення продуктивності; точно визначати полювання для зниження витрат на запліднення та поліпшення відтворення; і робити прогнози для пошуку способів збільшити прибутковості вашої ферми.

DelPro був розроблений, щоб допомогти вам зосередитися на ключових завданнях, які допоможуть вам працювати більш продуктивно. Він зберігає цінні дані про продуктивність для подальшого використання цих даних для створення звітів, попереджень та планів дій, які допоможуть вам приймати більш обґрунтовані рішення.

DelPro існує для того, щоб ваші корови виробляли молоко вищої якості, щоб корови, яких не можна доїти, не доїли, а некондиційне молоко не потрапляло до загального танку.

Молочне тваринництво з кожним роком стає все більш досконалим. Сьогодні існує ряд датчиків і записуючих пристроїв, які автоматично записують дані, які колись взагалі було неможливо виміряти. Керуючи цими датчиками та їх даними, DelPro гарантує, що ви отримаєте своєчасну, зрозумілу та корисну інформацію.

DelPro об'єднує безліч джерел даних на фермі, обробляє, аналізує їх для створення цінної інформації та звітів, які допоможуть вам виконувати свою роботу. До основних джерел можна віднести навігатор стада, систему визначення вгодваності корів, систему моніторингу активності корів тощо.

1.2.2 Основні джерела інформації DeLaval DelPro™

1.2.2.1 Навігатор Стада™

Навігатор Стада™ – це передова аналітична система (рисунок 1.2). Вона виявляє корів, яким необхідно особливу увагу, і надає вам ясну інформацію про

те, що потрібно робити. Завчасні та конкретні попередження дозволяють вжити швидких заходів: підвищити ефективність виробництва, прибутковість, покращити умови перебування тварин та забезпечити безпеку їжі.

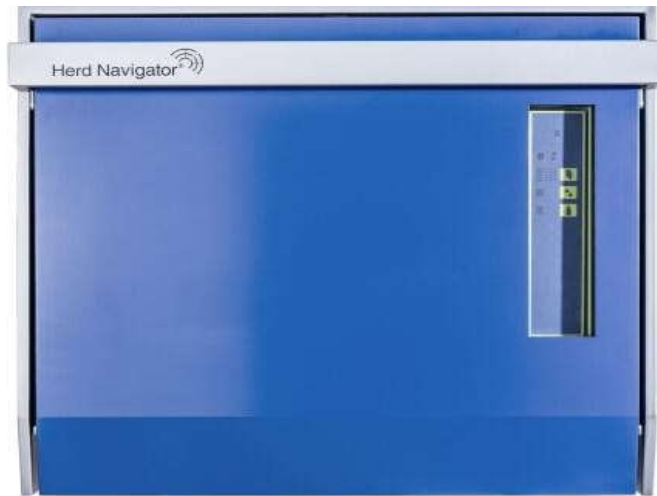


Рисунок 1.2 – Навігатор Стада™

Можливості системи Навігатор Стада™:

- автоматичний відбір проб молока під час доїння, аналіз заданих показників з молока;
- система аналізує чотири параметри, специфічні для маститу, відтворення, порушень обміну речовин та балансу харчового білка;
- виявляє корів, яким необхідна особлива увага – щодо відтворення, стану здоров'я та умов перебування;
- рекомендує план дій щодо покращення стану корови;
- дозволяє швидко вжити заходів ще до того, як у корови виявляться клінічні ознаки захворювання;
- автоматичний засіб виявлення статевого полювання знаходить навіть корів із прихованим статевим полюванням за індикатором "золотого стандарту" – прогестерону;
- підвищує ефективність виконання повсякденних завдань і скорочує витрати часу та зусиль на рутинну роботу.

1.2.2.2 Система визначення вгодваності корів

Система визначення вгодваності корів DeLaval BCS забезпечує точне визначення бала вгодваності дозволяє краще планувати корм, що допомагає забезпечити здоровий запас жиру у корів. Це сприяє виробництву молока, репродуктивної ефективності та продуктивному довголіттю корови. Камера DeLaval BCS усуває здогади та неточності ручної оцінки (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Камера DeLaval BCS

Отримана інформація з даної системи дозволяє:

- покращити здоров'я корів. Узгоджені та точні оцінки діють як система раннього попередження, якщо корова відхиляється від ідеальної кривої стану тіла. Будь-які відхилення дозволяє робити дії на ранніх стадіях, щоб допомогти вашим коровам стати здоровішими та продуктивнішими;
- зробити годування точним. Бал вгодваності часто використовується як критичний захід того, наскільки ефективно харчування на фермі. Тому це необхідно робити точно і у певний час у циклі лактації. Знання балу вгодваності ваших корів може допомогти вам спланувати годування, щоб ваші корови мали здорові резерви жиру, тим самим сприяючи виробництву молока, репродуктивній ефективності та продуктивному довголіттю корови. Це також може знизити вартість корму шляхом зниження раціонів коровам із надмірною масою;
- підвищити виробництво молока. Збереження ваших корів в ідеальному стані під час лактації допоможе забезпечити максимальну молоковіддачу.

З регулярними оновленнями ви можете стежити за ідеальною кривою стану тіла;

- покращити відтворення. Регулярні оновлення балів вгодованості можуть бути використані для забезпечення ідеального стану корів при осіменінні та готелі. Правильний стан тіла протягом усього періоду тільності може зменшити проблеми з отелом і після отелення, і забезпечити телятам ідеальний початок життя;

- знизити трудовитрати. Автоматичне визначення бала вгодованості усуває необхідність у ручному визначенні балів. Це означає, що ви можете використовувати свій час для виконання інших важливих завдань на фермі.

1.2.2.3 Система моніторингу активності корів

Сучасні корови молочного напрямку дають до 9000 літрів молока за лактацію при хороших генетичних даних. Збільшення надоїв молока може призвести до негативного енергетичного балансу і репродуктивних проблем.

Система моніторингу активності корів (рисунок 1.4) забезпечує:

- точний облік індивідуальної активності корів дозволить Вам вчасно визначити час початку полювання для отримання оптимальних результатів осіменіння;

- індивідуальний погодинний моніторинг активності вчасно надає інформацію про стадію нерухомого полювання корів;

- індивідуальний облік активності зменшує трудовитрати, необхідні для діагностики полювання корів;

- зниження активності може бути показником проблем зі здоров'ям тварин;

- коректний запис даних – найкращий шлях досягнення успіху в ідентифікації та підготовці заходів щодо розведення.



Рисунок 1.4 – Система моніторингу активності корів

1.3 Система AfiMilk

1.3.1 Загальні відомості про AfiMilk

AfiMilk – це інструмент управління, спрямований на досягнення максимальної продуктивності та збільшення прибутку на молочній фермі [3].

У зв'язку з індустріалізацією молочної галузі за останні 30 років, управління та експлуатація сучасних молочних ферм зазнали значних змін. Збільшення розміру стада призвело до переходу від окремого підходу до управління тваринами до орієнтації на групи тварин в середньому. Цей підхід може призводити до значних втрат, тому особлива увага приділяється спостереженню за станом тварин та лікуванню, яке необхідне для збереження їх здоров'я та вироблення молока .

Розробки AfiMilk для догляду за коровами базуються на багаторічному науково-дослідницькому та практичному досвіді ведення сільського господарства, і допомагають досягти мети: автоматизувати навички фермера в розрізненні стану худоби, від виявлення тічки до визначення конкретних показників стану здоров'я.

Система AfiMilk вже має успішні результати в спостереженні за станом тварин. Виявлення проблем з харчуванням, аналіз порушень процедур доїння та попередження про несправності обладнання допомагають у запобіганні оперативних збитків на молочній фермі. Інструменти AfiMilk забезпечують

керівників молочних ферм необхідною інформацією для практичного догляду за худобою. Точне виявлення проблем, за допомогою розробок AfiMilk, дозволяє операторам зосередити увагу на конкретних коровах, які потребують особливого догляду, спрощуючи догляд за окремими тваринами у стадах будь-яких розмірів, зменшуючи невизначеність проблем зі здоров'ям, покращуючи родючість та збільшуючи стадо.

Збір та аналіз даних в режимі реального часу стало можливим завдяки датчикам AfiMilk, які встановлені в доїльних пунктах. Ці дані агрегуються та аналізуються з використанням AfiFarm – бази даних та програмного забезпечення з вбудованими звітами та інструментами, пов'язаними з різними аспектами управління молочною продукцією (рисунк 1.5).



Рисунок 1.5 – Приклад звіту з використанням AfiFarm

1.3.2 Основні інструменти системи AfiMilk

1.3.2.1 Інструмент управління стадом AfiFarm

Нині в умовах жорсткої конкуренції власники молочних ферм потребують ефективних засобів управління, які спрощують їхню повсякденну роботу, забезпечують аналізом поточної ситуації та інформацією, необхідною для довгострокового планування.

AfiFarm є найповнішою з представлених на світовому ринку програм з управління молочною фермою та стадом [4]. Вона допомагає користувачам приймати аргументовані рішення на основі великої бази даних, одержуваних автоматично в режимі реального часу від модулів системи AfiMilk, AfiAct, AfiWeigh та інших джерел інформації про тварин та події.

AfiFarm готується за індивідуальними вимогами користувача. Можна створити панель ярликів швидкого доступу, встановити автоматичний порядок дій, розробити спеціальні повідомлення, відобразити дані у вигляді звітів або графіків, налаштувати автоматичні процеси (друк звітів, вибір завдань на заданий день та інше). Таким чином, AfiFarm може бути запрограмована на обслуговування конкретних фахівців-користувачів (ветеринарів, осеменаторів тощо) без ознайомлення всього персоналу з програмою загалом.

Програмне забезпечення Afifarm є ключем до комп'ютеризованої системи керування стадом [5]. Завдяки цьому програмному забезпеченню фермер миттєво та просто контролює всі важливі моменти процесу виробництва молока. Завдяки простому та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу інформація надається менеджеру господарства вчасно та у максимально зрозумілій формі.

Немає потреби витрачати час на пошук того, що має значення між такою кількістю чисел. Ми добре знаємо, наскільки дорогоцінним є час для фермера. Afifarm автоматично пропонує за допомогою відповідного списку, з яким легко ознайомитись, яких тварин слід запліднити, а також тварин з підозрою на мастит або кетоз. Він попередить, якщо знайдуться тварини, які підлягають сушінню або швидкому роду, а також простежить терміни дії щеплень, медичних процедур і так далі.

Завдяки виробничим даними, що автоматично реєструються, ми можемо перевіряти продуктивний статус тварин як щодня, так і протягом усього періоду лактації, щоб оцінити продуктивність всього стада (крім даних окремого суб'єкта). Це конкретний ключ до успіху. Вміти керувати великим стадом, розглядаючи його як єдине ціле, і при цьому не упускати з уваги потреби кожної окремої тварини в стаді.

1.3.2.2 Нашийник для моніторингу корів AfiCollar

Загальний вигляд ошийника AfiCollar та метод його застосування наведено на рисунку 1.6.

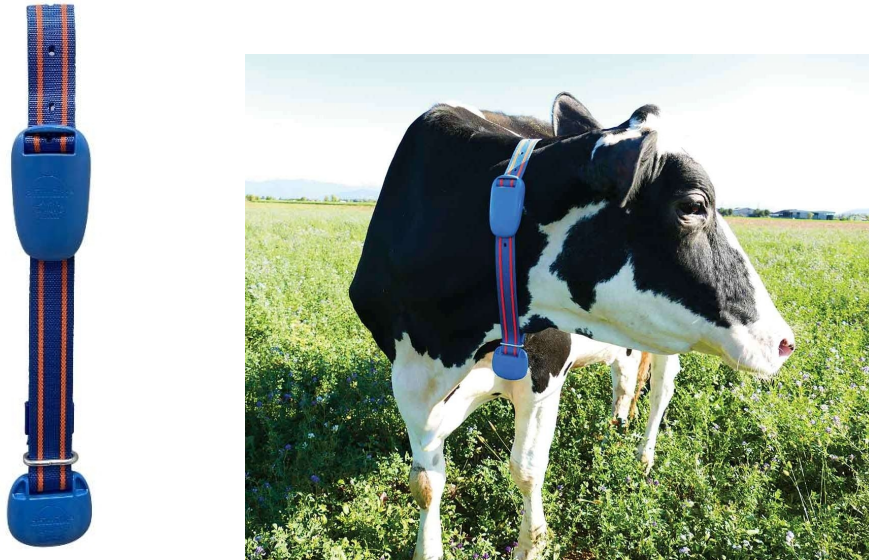


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд ошийника AfiCollar та метод його застосування

AfiCollar призначений для ефективного відстеження моделей руху. Запатентована унікальна технологія містить у собі [6]:

- міцний акумулятор із тривалим терміном служби та надійна механічна конструкція;
- точна ідентифікація у доїльному залі;
- власний 3D-акселерометр для ефективного відстеження моделей руху;
- бездротова технологія великого радіусу дії;
- мітка NFC спрощує використання з мобільними пристроями;
- доступний у будь-який час та в будь-якому місці за допомогою мобільного додатку Afi2Go Pro.

AfiCollar забезпечує чутливість виявлення охоти 95 % у різних умовах ферми і включає оптимізовані алгоритми для корів і телиць, а також для різних режимів, таких як закриті корівники і пасовища. 3 датчики, 1 пакет

моніторингу здоров'я. Румінація – це чутливий та ранній індикатор проблем зі здоров'ям. Однак безліч факторів можуть викликати зниження румінації, що робить її дуже сприйнятливою до помилкових тривог. AfiCollar поєднує в собі функцію виявлення жуйки, жування та активності для точного оповіщення про проблеми зі здоров'ям, такі як:

- мастит;
- кетоз;
- проблеми із травленням;
- якість корму;
- загальний стан здоров'я.

Функції які виконує AfiCollar наведено на рисунку 1.7.

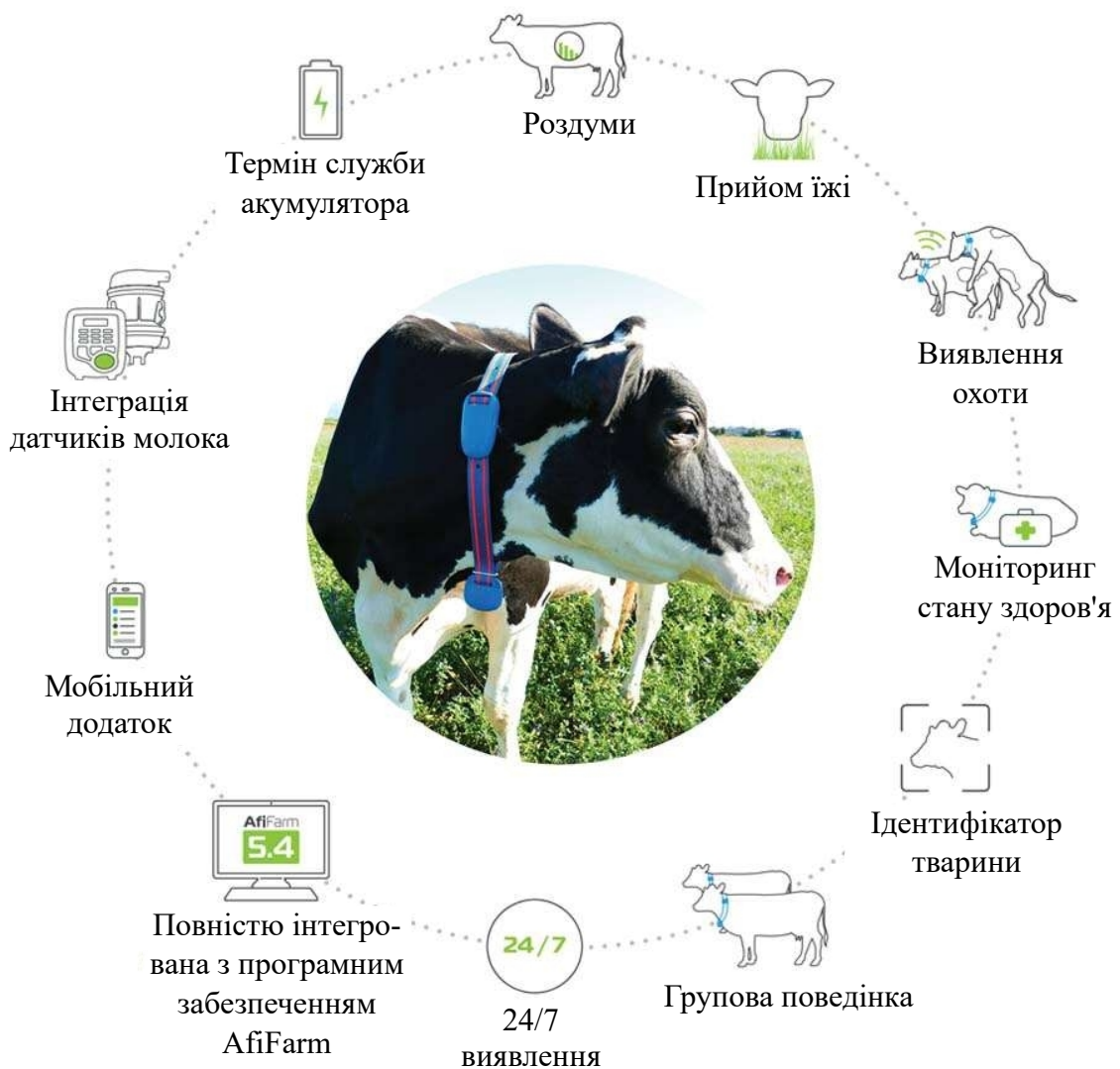


Рисунок 1.7 – Функції які виконує AfiCollar

На своєму веб-сайті компанія заявила: «Водонепроникний та міцний інтелектуальний нашійник, закріплений на тварині, передає дані на базу, що працює на сонячній енергії, у радіусі 4 км. Потім база відправляє сигнали на вежу стільникового зв'язку, яка передає дані в хмару, яка оперативно інформує вас через робо-дзвінок та SMS-повідомлення, одночасно оновлюючи вашу онлайн-панель управління» [7].

Організація зв'язку в системі AfiCollar наведена на рисунку 1.8.

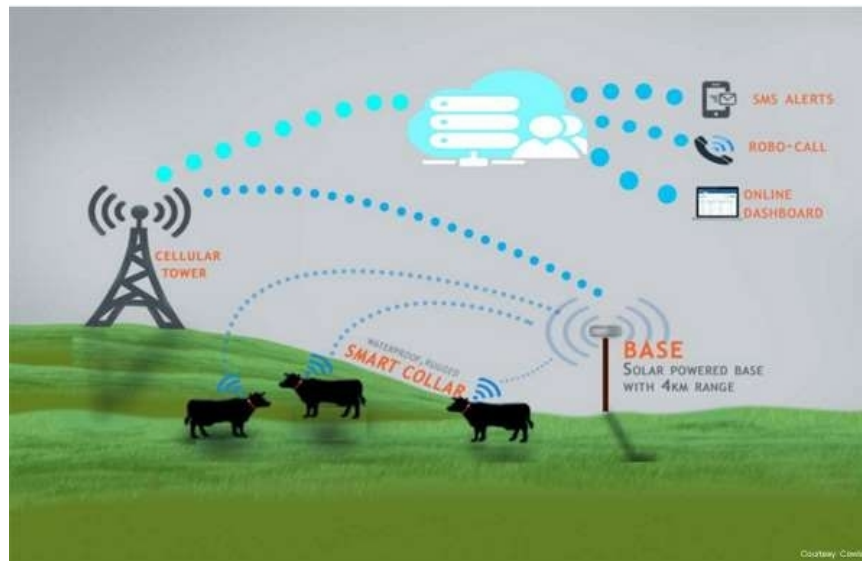


Рисунок 1.8 – Організація зв'язку в системі AfiCollar

Пристрій може визначати, коли корова їсть, спить, спаровується та виконує будь-яку іншу важливу діяльність. Дані згодовування визначають важливі аспекти тварини, тобто. здоров'я корови, течний цикл та будь-які порушення в поведінці.

AfiCollar співпрацює з лічильниками молока Afimilk MPC і AfiLab, щоб надати точні дані про якість молока кожної корови та її індивідуальне здоров'я. Ці дані використовуються для раннього виявлення та попередження про проблеми зі здоров'ям, наприклад кетоз.

1.3.2.3 Система виявлення охоти AfiAct

Система виявлення охоти ґрунтується на крокомірі AfiTag. AfiTag – це маленький, але потужний пристрій (траспордер) кріпиться до ноги корови та

відповідає за моніторинг її рухової активності (кількості кроків) та поведінки у стані спокою (як довго тварина лежить і як довго стоїть) [8].

Загальний вигляд транспордера AfiTag та його установка на нозі наведені на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Транспордер AfiTag

Завдяки бездротовій технології ці дані автоматично відправляються на спеціальну антену кожні 15 хвилин, а потім передаються в програмне забезпечення управління Afifarm щогодини. Таким чином, програмне забезпечення зможе щогодини відстежувати «стандартну поведінку» кожної окремої тварини у стаді та оперативно попереджати нас, якщо якась корова проявить підвищення активності, що перевищує встановлений параметр уваги. Завдяки цій технології ми можемо навіть ухвалити рішення про отримання СМС-повідомлення, що попереджає про початок охоти у корови. що дозволяє нам докладно дізнатися про ситуацію із твариною за допомогою звичайного смартфона. Датчик охоти Afiact не тільки повідомляв нам, у якої тварини тічка, але і скільки годин почалася тічка, даючи нам можливість більш точно вибрати найкращий момент для запліднення, щоб отримати максимально можливий відсоток запліднення. Ця ж система, що відстежує і сухостійних корів, здатна виявити поведінку тварини, що наближається до моменту народження, і надіслати нам попередження про «швидкі пологи». Натомість система моніторингу відпочинку дозволяє нам перевірити правильність часу відпочинку тварини, насправді тварина лягає не тільки для сну, але й для жування та відпочинку своїх

кінцівок. Хороший відпочинок призведе до збільшення надоїв молока та покращення здоров'я копит. Можливості системи AfiTag наведено на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Можливості системи AfiTag

AfiTag забезпечує:

- щоденний та цілодобовий контроль за поведінкою корови, її активністю, часом спокою та неспокійного стану, що дозволяє фермеру приймати ефективні рішення щодо відтворення, здоров'я та управління;
- правильне формування даних, які стосуються тварин, і створення надійної бази даних, що має найважливіше значення для успішного прийняття рішень.

1.3.2.4 Молокомір AfiMilk MPC

Якість молока є ключовою не тільки для оптимального виробництва молока, але й відображає здоров'я та репродуктивний потенціал корови.

Як частина системи управління фермою AfiMilk, простий у використанні молокомір AfiMilk MPC (рисунок 1.11) дозволяє повністю контролювати процес доїння на кожному доїльному місці [9].



Рисунок 1.11 – Молокомір AfiMilk MPC

Afimilk MPC (контролер доїльного місця) надає операторам доїння важливі функції та попередження:

- якісне доїння – забезпечує необхідний захист від руйнівних коливань вакууму;
- знімання доїльного апарату – точні регульовані пороги для автоматичної зупинки доїння при зменшенні молоковіддачі. Вакуумне закриття за часом гарантує плавне вивільнення вимені з колектора доїльного апарату;
- пульсація – забезпечує два режими керування пульсацією. Базовий режим дозволяє встановлювати частоту та співвідношення пульсації. Автоматичний режим керує частотою та співвідношенням пульсації залежно від молоковіддачі. При знятті доїльного апарату пульсація припиняється, що суттєво зменшує знос обладнання;
- стимуляція – дозволяє проводити стимуляцію перед доїнням.

Панель керування AfiMilk MPC служить інструментом зв'язку між

оператором доїння та системою управління агропромислового молочного комплексу (АПМК) представляючи потрібну інформацію про корову, яку доять в даний момент (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Панель управління Afimilk MPC

Цей пристрій допомагає операторам приймати рішення щодо доїння корів, які вимагають особливої уваги. На екран панелі управління виводиться інформація:

– коди попереджень які дозволяють попереджати операторів доїння про корови, які потребують особливої уваги у доїльному залі. Коди присвоюються коровам, молоко яких не повинно потрапляти в загальну цистерну (молозиво/антибіотики/високий рівень соматичних клітин/наявність крові). Установка кодів у цьому випадку блокує клавішу початку доїння для цих корів Ці коди попереджають оператора про необхідність доїти корів в окремій, призначеній для такого молока, ємності Блокування початку доїння знімається за допомогою пароля, що вводиться з клавіатури;

– сигнал тривоги, пов'язаний із кодом здоров'я, можна встановити так щоб він вказував на конкретних корів, що вимагають особливої уваги чи лікування;

- дані корови. При ідентифікації корови на доїльному місці на екрані виводиться ідентифікаційний номер корови. Після початку доїння номер корови змінюється кількістю надоеного молока. Додаткові дані корови можна побачити, набравши певну комбінацію кнопок на екрані;
- попередження – передчасне припинення доїння. Попередження видається у разі, якщо надій молока для кожної конкретної корови виявився нижчим за очікуване;
- попередження – мастит. Попередження видається в режимі реального часу при високій ймовірності маститу (те кількість молока нижче очікуваного рівня, а електропровідність вище норми);
- попередження – несправність обладнання. Сигналізує про несправність обладнання на доїльному місці.

1.3.2.5 Аналізатор молока AfiLab

AfiLab – це інноваційна система аналізатора молока, яка вимірює компоненти молока в реальному часі для кожної дійної корови [10].

Аналізатор молока AfiLab встановлюється на кожному доїльному пункті для вимірювання компонентів молока – жиру, білка та лактози – від кожної корови. Він збирає важливу інформацію для раннього виявлення захворювань та генетичного поліпшення.

Що показують нам компоненти молока [11]

1. Ефективність харчування. AfiLab попереджає вас про проблеми з кормом. Оскільки корми є найважливішою статтею витрат на молочних фермах, життєво важливо оптимізувати контроль годівлі:
 - підтримку оптимального режиму харчування.
 - визначення наслідків зміни раціону.
 - виявлення зниження якості корму.
2. Генетична оптимізація. Точні датчики автоматично контролюють дані про молоко при кожному доїнні (а не щомісячні лабораторні тести), надаючи

безцінну інформацію для збору генетичних даних, які забезпечують:

- лічильник молока, схвалений Afimilk MPC ICAR, точно реєструє надої;
- аналізатор молока AfiLab відстежує та записує компоненти молока – жир та білок.

У базі даних зберігається інформація про кожну корову, з кожного доїння.

3. Виявлення критичних проблем зі здоров'ям. Використовуючи об'єднані дані з надоїв, електропровідності та компонентів молока, ми можемо виявити захворювання на ранніх стадіях: субклінічний кетоз, субклінічний мастит, проблеми з травленням та багато іншого.

AfiLab - це удосконалена технологія, яка входить у систему AfiMilk і надає інформацію про склад молока, таку як жирність, білок, лактоза та кров. Ці дані використовуються для оцінки цінності та якості молока. Також молочний склад допомагає виявляти метаболічні проблеми корови та інші специфічні проблеми зі здоров'ям. Загальний вигляд AfiLab представлено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Загальний вигляд аналізатора AfiLab

Лабораторія в молокопроводі Afimilk дозволяє проводити розширений аналіз молока. Унікальні прилади вимірюють надій та якість молока кожної корови, а також контролюють компоненти молока (жир, білок, лактозу).

Вони також надійно виявляють:

- мастит;
- субклінічний кетоз;
- ацидоз;
- проблеми з годуванням.

Аналізатор молока AfiLab встановлюється між молокоміром Afimilk MPC та молокопроводом на кожному доїльному місці. Безперервний збір даних, що забезпечується приладом AfiLab, дозволяє отримувати не тільки дані про молоко в режимі онлайн, але і важливу інформацію, яка може бути використана для виявлення тварин, на яких необхідно звернути увагу, а також для роботи в області селекції поліпшення генетики молочного стада.

Функції та переваги:

- раннє виявлення кетозу;
- раннє виявлення підгострого ацидозу рубця (SARA);
- точне планування режиму годування (за допомогою контролю за вмістом жиру та білка), що дозволяє скоротити витрати на годування;
- своєчасні попередження про зниження якості корму для запобігання втратам продуктивності;
- попередження про наявність крові у молоці;
- попередження про проблеми з миттям для забезпечення правильного промивання обладнання доїльного залу;
- можливість напівавтоматичного та автоматичного калібрування.

1.3.2.6 Система вимірювання ваги корів AfiWeigh

Стан організму корови характеризує її загальний фізіологічний статус. Без автоматизованих засобів оцінки стану організму худоби фахівці на молочних фермах не зможуть зважати на цей важливий параметр при прийнятті рішень.

Система AfiWeigh – це автоматичні ваги, що вимірюють вагу корів на

дорозі з доїльного залу [12]. Дана система дозволяє також оцінювати корів на придатність до запліднення, ефективність кормів, що споживаються, і можливі післяпологові проблеми, які відображаються в масі тіла корови.

При використанні ваг AfiWeigh як автономна система з їх допомогою можна оцінювати динаміку зростання телят і телиць порівняно з очікуваними графіками збільшення у вазі.

AfiWeigh може забезпечити ефективне управління фермою за рахунок таких функцій:

- фіксування збільшення у вазі корів, що допомагає визначати час для запліднення; корови з позитивним енергетичним балансом організму в післяпологовий період демонструють збільшення маси тіла;
- вимірювання збільшення або втрати у вазі корів, що отелювались кілька разів, в період лактації, що вказує на ефективність кормів, що споживаються, і може виявити потенційні помилки в стратегії годування;
- виявлення суттєвих змін маси тіла під час сухостійного періоду, що свідчить про неправильне годування корови;
- розрахунок автоматичного розподілу кормів для корів, що містяться на випасі, відповідно до їхньої ваги.

2 АРХІТЕКТУРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Огляд та аналіз найпоширеніших захворювань рогатої худоби

З метою діагностики та моніторингу здоров'я тварин на молочній фермі було обрано найпоширеніші хвороби рогатої худоби а саме:

- мастит;
- хвороба дихальних шляхів (ХДШ) у великої рогатої худоби;
- метаболічні порушення (кетоз);
- проблеми репродуктивного здоров'я;
- проблеми з ногами та копитами;
- моніторинг стресу та загального стану здоров'я.

Далі буде наведено більш конкретні вимоги до показників діагностики та необхідних сенсорів для збору інформації.

2.1.1 Мастит

Мастит – це поширена і потенційно серйозна проблема зі здоров'ям у корів, яка виникає внаслідок запалення молочної залози (рисунок 2.1), зазвичай спричиненого бактеріальною інфекцією [13]. Своєчасна діагностика та втручання є надзвичайно важливими для запобігання поширенню інфекції та забезпечення здоров'я та продуктивності корови.

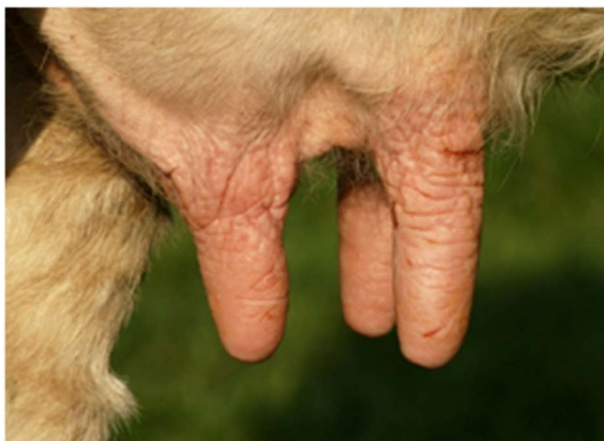


Рисунок 2.1 – Вигляд вимені при захворюванні маститом

Наслідки маститу [14]:

- скорочення виробництва;
- пізнє виявлення призводить до хронічного пошкодження;
- складне просочення;
- основна причина примусового вибракування.

Корова надовго вибуває зі списку дійних, а відновлення її удійності потребує часу та витрат на медикаменти. Навіть після проведеного лікування молоко ще деякий час не годиться для реалізації - в ньому містяться антибіотики.

Раннє виявлення має життєво важливе значення для ефективного лікування, а також для запобігання виробничим втратам і запобіганню перехресному зараженню здорових тварин.

Показники для діагностики маститу та їх значущість:

- температура тіла. Підвищена температура тіла є одним з перших ознак інфекції. У випадку маститу це свідчить про те, що організм корови бореться з запальною реакцією;
- пульс. Підвищений пульс може свідчити про стрес або біль, які можуть супроводжувати мастит;
- рівень активності. Моніторинг рівня активності допомагає виявити зміни у поведінці. У випадку маститу зменшення активності може свідчити про дискомфорт чи біль в області вимені;
- провідність шкіри. Зміни в провідності шкіри можуть свідчити про стрес або дискомфорт. У контексті маститу збільшення провідності шкіри може вказувати на реакцію на біль або запалення.

Отже, для виявлення маститу в проєктованій системі доцільно застосувати наступні сенсори:

- термометр (для вимірювання температури);
- датчик пульсу (для вимірювання пульсу);
- датчик провідності шкіри (для вимірювання провідності шкіри);
- акселерометр (для вимірювання рівня активності);
- GPS для вимірювання рівня активності.

Акселерометр виявляє різні типи активності, такі як ходьба, біг, а також може визначити, чи впала корова. Для повноти інформації також використовується датчик GPS який дозволяє визначити місцезнаходження корови. Це може бути корисним для відстеження руху тварини та виявлення можливих змін у поведінці чи активності, що можуть вказувати на проблеми зі здоров'ям.

Об'єднавши дані з цих сенсорів, система моніторингу IoT може надати комплексний огляд стану здоров'я корови, що дозволяє своєчасно виявити мастит. Потім можна провести необхідне втручання, яке може включати в себе прийом антибіотиків та поліпшення гігієнічних практик у догляді за вим'ям.

Цей підхід допомагає не тільки вчасно лікувати хворих корів, але й запобігає поширенню інфекції на інших членів стада, що в кінцевому Підсумку сприяє загальному самопочуттю та продуктивності молочного господарства.

2.1.2 Хвороба дихальних шляхів (ХДШ) у великої рогатої худоби

Хвороба дихальних шляхів (ХДШ) у великої рогатої худоби – це складний і багатофакторний захворювання дихальних шляхів, яке часто виявляється у худоби. Респіраторні хвороби вважаються одними з найнебезпечніших захворювань великої рогатої худоби (ВРХ), що наносять великі економічні збитки для операторів галузі скотарства через зниження продуктивності та витрати на лікування.

Показники для діагностики ХДШ:

- температура тіла. Підвищення температури тіла є ключовою ранньою ознакою інфекції чи запалення. У контексті ХДШ це свідчить про те, що імунна система корови реагує на респіраторний стрес, такий як бактеріальна або вірусна інфекція.

- пульс. Збільшення пульсу часто пов'язане з респіраторною недостатністю. У випадку ХДШ це свідчить про те, що тварина може відчувати труднощі у диханні, що є типовим симптомом хвороби.

- рівень активності. Моніторинг рівня активності допомагає виявити

зміни у поведінці. У випадку ХДШ зменшення активності може вказувати на те, що корова відчуває дискомфорт і менш схильна до звичайних активностей.

Отже, для виявлення хвороби дихальних шляхів в проєктованій системі доцільно застосувати наступні сенсори:

- термометр (для вимірювання температури);
- датчик пульсу (для вимірювання пульсу);
- акселерометр (для вимірювання рівня активності);
- GPS (для вимірювання рівня активності).

Об'єднавши дані з цих сенсорів, система моніторингу IoT може надати комплексний огляд стану здоров'я корови, що дозволяє своєчасно виявити ХДШ. Потім можна провести необхідне втручання, яке може включати в себе прийом антибіотиків та догляд.

Додатково, важливо враховувати, що ХДШ часто є багатofакторним захворюванням, що означає, що може бути кілька основних причин. Тому вчасна діагностика та комплексний підхід до лікування та профілактики є важливими у керуванні ХДШ у стаді великої рогатої худоби. Цей підхід допомагає не тільки вчасно лікувати хворих корів, але й сприяє загальному здоров'ю та продуктивності стада.

2.1.3 Метаболічні порушення (кетоз)

Свіжі корови (після отелення) страждають від зниження апетиту та слабкості. Коли щоденне споживання корму не задовольняє енергетичні потреби, корови переходять у стан негативного енергетичного балансу (NEB), що призводить до стресу та підвищення рівня кетонових тіл у крові (тобто кетозу) [15].

Лікування може бути дуже ефективним, але виявити кетоз складно. Наприклад, набори виявлення можуть показувати суперечливі результати при застосуванні в різний час доби. Дослідження показують, що до 75 % випадків кетозу залишаються непоміченими (субклінічними).

Метаболічні порушення у великої рогатої худоби, такі як кетоз, виникають внаслідок порушень нормальних метаболічних процесів. Кетоз виникає, коли в крові накопичується надмірна кількість кетонових тіл, часто через від'ємний баланс енергії у високопродуктивних молочних корів.

До показників для діагностики кетозу можна віднести:

- рівень активності. Моніторинг рівня активності допомагає виявити зміни у поведінці. У випадку метаболічних порушень, зменшення активності може вказувати на те, що корова відчуває дискомфорт або втомленість.

- температура тіла. Хоча це не є специфічним для метаболічних порушень, підвищення температури тіла може свідчити про наявність підсумовуючих проблем. Моніторинг температури може допомогти виключити або виявити супутні захворювання.

- пульс. Моніторинг пульсу надає уявлення про фізіологічний стан корови. Підвищений пульс може бути ознакою стресу або дискомфорту, які можуть бути пов'язані з метаболічними порушеннями.

Необхідні сенсори:

- акселерометр (для вимірювання рівня активності);
- GPS (для вимірювання рівня активності);
- термометр (для вимірювання температури);
- датчик пульсу (для вимірювання пульсу).

Об'єднавши дані з цих сенсорів, система моніторингу IoT може надати комплексний огляд стану здоров'я корови, що дозволяє своєчасно виявити метаболічні порушення, такі як кетоз. Потім можна провести необхідне втручання, яке може включати в себе коригування раціону корови, введення глюкози чи інші ветеринарно-рекомендовані заходи.

Важливо враховувати, що запобігання метаболічним порушенням часто передбачає ретельний контроль за харчуванням корови та забезпеченням їй належного балансу поживних речовин, особливо під час періодів високої продуктивності чи стресу. Цей комплексний підхід не тільки допомагає в швид-

кому лікуванні уражених корів, але також сприяє загальному здоров'ю та продуктивності стада.

2.1.4 Проблеми репродуктивного здоров'я

Однією з найпоширеніших проблем у світовому молочному скотарстві є репродуктивна патологія, яка завдає значних економічних збитків усій галузі. У вітчизняних господарствах на сьогодні репродуктивна патологія серед корів реєструється в межах від 2...3 % до 7 % на рік від загальної кількості тільних тварин. У першу чергу це пов'язано з особливостями перебігу та складністю встановлення етіології репродуктивної патології інфекційного генезу [16].

Репродуктивне здоров'я є критичним аспектом загального благополуччя корови, особливо у молочному скотарстві, де успішне розведення і отелення є ключовими для стійкості стада.

Тічка і отелення – дві основні події відтворення, які виграють від підключених пристроїв через їхню вирішальну важливість в економіці стада та кількості часу, необхідного для їх виявлення.

Основними фізіологічними параметрами, що контролюються окремо або у поєднанні за допомогою підключених пристроїв, є [17]:

- активність корови. Моніторинг рівня активності важливий для виявлення ознак охоти (еструсу). Збільшення активності може свідчити про те, що корова готова до розведення;
- температура тіла. Хоча це не пов'язано безпосередньо з репродуктивним здоров'ям, зміни в температурі можуть надати цінні уявлення. Наприклад, спад температури іноді може свідчити про наближення отелення;
- поведінка корови в процесі жування або харчової поведінки.

Поєднання кількох індикаторів в одному датчику може максимізувати ефективність виявлення тічки та отелення. Ще належить докласти зусиль для прогнозування отелів, які вимагатимуть допомоги людини (дистоція). Основними проблемами, пов'язаними з використанням автоматизованих сенсорних

систем є обсяг фінансових інвестицій, відсутність економічного аналізу та обмежені навички користувачів з управління відповідними технологіями. У найближчому майбутньому підключені пристрої можуть дозволити точно фенотипувати репродуктивні та медичні характеристики тварин, а також покращити добробут тварин та суспільне сприйняття тваринництва.

Необхідні сенсори:

- акселерометр (для вимірювання рівня активності);
- GPS (для вимірювання рівня активності);
- термометр (для вимірювання температури).

Використовуючи дані з цих сенсорів, система моніторингу IoT може надати комплексний огляд стану репродуктивного здоров'я корови. Своєчасне виявлення ознак охоти та інших показників репродуктивного здоров'я може призвести до успішного розведення і отелення, що в кінцевому підсумку сприяє продуктивності та стійкості стада.

Важливо зауважити, що разом із технологічним моніторингом досвідчені працівники ферми часто відіграють важливу роль в спостереженні та інтерпретації поведінкових сигналів, пов'язаних з репродуктивним здоров'ям.

2.2 Розробка структурної схеми проектованої інформаційної системи

На основі цих вимог і переліку датчиків була розроблена структурна схема яка зображена на рисунку 2.2.

Всі представлені елементи схеми можна умовно розділити на три групи. Перша група включає давачі інформації (сенсори), такі як акселерометр, GPS, датчик серцевого ритму (пульсу) тощо. Ці елементи виступають основними засобами для збору інформації для моніторингу стану здоров'я тварини.

Отримана первинна інформація надходить до блоку перетворення, який забезпечує необхідне перетворення даних у формат, придатний для подальшого використання блоками управління. Ці блоки є каналами зв'язку між різними системами.

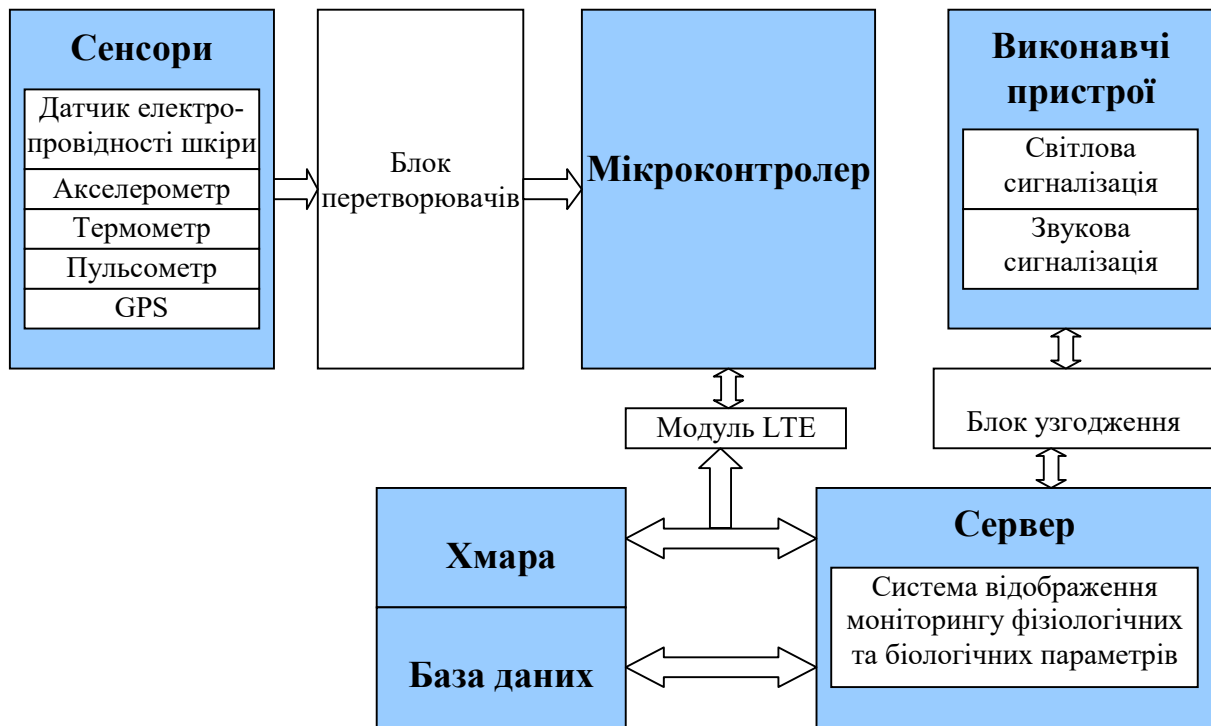


Рисунок 2.2 - Структурна схема системи

Друга група, блоки управління, зазвичай реалізована у вигляді програмованих інтегральних мікросхем або мікроконтролерів, розташованих на друкованих печатних платах. Вони приймають інформацію від давачів та, базуючись на аналізі, приймають рішення про виконання певних дій. Цей децентралізований підхід дозволяє зберігати робочий стан всієї системи навіть при відмові окремих підсистем.

На пропонованій семі цей блок представлений мікроконтролером та сервером, обладнаним системою моніторингу фізіологічних та біологічних параметрів. Його структуру представлено узагальнено.

Електронний блок, приймаючи дані на вхід, може генерувати управляючі сигнали для виконавчих пристроїв у разі потреби.

Третя група – група виконавчих пристроїв, що забезпечують роботу системи. Вони представляють собою вихідну частину системи. До цієї групи можуть входити різні пристрої, такі як двигуни, ліхтарі, обігрівачі тощо.

У розроблюваній системі до цієї групи входять звукова та світлова сигналізація.

Для забезпечення взаємозв'язку між блоками управління та виконавчими пристроями необхідно використовувати блоки узгодження, оскільки різні виконавчі пристрої мають відмінну будову та принципи роботи.

Кожна корова в системі унікально ідентифікується завдяки присвоєнню певного номера GPS-трекера. Цей унікальний ідентифікатор дозволяє точно відстежувати та контролювати окремих тварин. Номер GPS-трекера слугує окремим кодом або міткою, що присвоюється кожній корові, дозволяючи системі точно фіксувати дані та пов'язувати їх з відповідною твариною. Цей метод гарантує, що активність, показники здоров'я та поведінка кожної корови пов'язані з її конкретним ідентифікатором, що полегшує комплексний моніторинг та персоналізований догляд за кожним членом стада.

3 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Вибір та обґрунтування датчика температури тіла

Для моніторингу температури тіла важливо вибрати надійний та точний датчик, який забезпечить точні дані для діагностики та втручання в разі необхідності. Розглянемо можливі варіанти датчиків сумісних з Arduino та їх обґрунтування:

- термометр з контактним зондом;
- безконтактний інфрачервоний термометр;
- імплантований температурний датчик.

Контактний термометр надає найточніші вимірювання температури. З ним можна точно виміряти температуру тіла, що є критичним для ранньої діагностики маститу. Цей тип термометра є надійним та дешевим у використанні.

Безконтактний інфрачервоний термометр дозволяє виміряти температуру без фізичного контакту з тілом корови. Він зручний та швидкий у використанні, але може бути менш точним в порівнянні з контактним термометром.

Імплантований датчик може бути вбудований безпосередньо в тіло корови для постійного моніторингу температури. Він надає найточніші дані, але вимагає хірургічного втручання для встановлення.

З урахуванням потреб у точності, швидкості та зручності використання, рекомендується використовувати безконтактний інфрачервоний термометр для вимірювання температури тіла корови. Цей тип термометра надає достатньо точних вимірювань, що є важливим для ранньої діагностики маститу, та не вимагає фізичного контакту з тілом тварини.

Порівняння трьох моделей безконтактних інфрачервоних термометрів, сумісних з Arduino наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння характеристик безконтактних інфрачервоних термометрів

Характеристика	MLX90614ESF- BAA-000-TU-ND	GY-906 MLX90614ESF	AMG8833 8x8 Grid-EYE
Напруга живлення, В	3.3 - 5	3.3 - 5	3.3 - 5
Робоча температура, °С	-20...+100	-10...+60	-30...+150
Діапазон вимірювання, °С	-30...+110	-20...+60	-50...+380
Точність вимірювання, °С	±0.5	±1.5	±2
Інтерфейс зв'язку	I2C, UART	I2C, UART	I2C, UART
Розміри, мм	20x20x13	32x31x12	40x16x10
Вага, г	10	8	7
Можливість калібрування	Так	Так	Так

З огляду на надану інформацію було обрано датчик температури MLX90614ESF- BAA-000-TU-ND.

Обґрунтування цього вибору:

- діапазон вимірювання: Має ширший діапазон вимірювання від -30°C до $+110^{\circ}\text{C}$, що дозволяє вимірювати температури в більш варіативних умовах.
- точність вимірювання: Має найвищу точність вимірювання від всіх трьох моделей, $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, що робить його надійним та точним інструментом для вимірювання температури.
- можливість калібрування: Має можливість калібрування, що дозволяє коригувати та покращувати точність вимірювання в специфічних умовах застосування.
- інтерфейс зв'язку: Підтримує як I2C, так і UART інтерфейси, що робить його сумісним з багатьма мікроконтролерами та платформами, включаючи Arduino.
- розміри та вага: Має компактні розміри та невелику вагу, що дозволяє легко включати його в різноманітні проекти без надмірного обсягу чи ваги.

Загалом, модель MLX90614ESF- BAA-000-TU-ND відповідає найкраще вимогам для безконтактного вимірювання температури та має найвищу точність серед розглянутих моделей [18].

Загальний вигляд модуля MLX90614ESF- BAA-000-TU-ND наведено на рисунку 3.1, а схема його підключення до мікроконтролера через інтерфейс I2C – на рисунку 3.2.

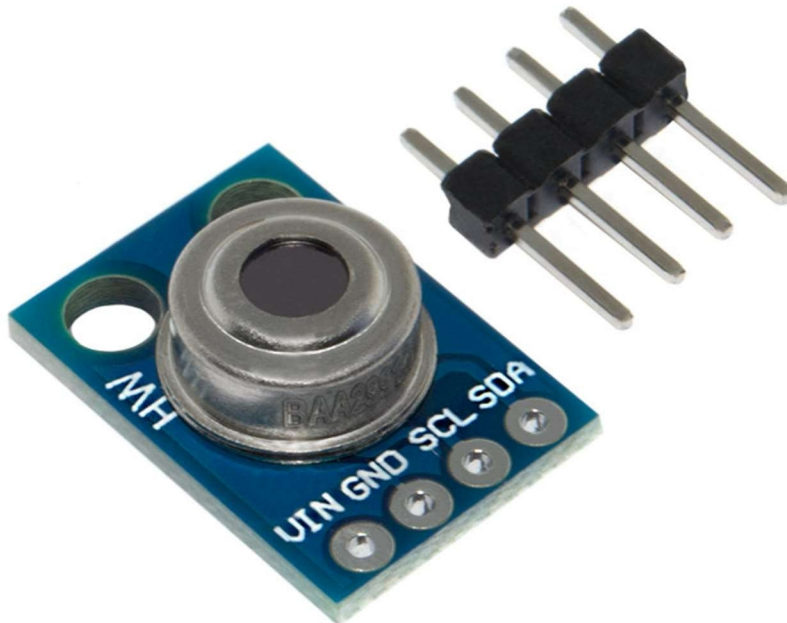


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд модуля MLX90614ESF- BAA-000-TU-ND

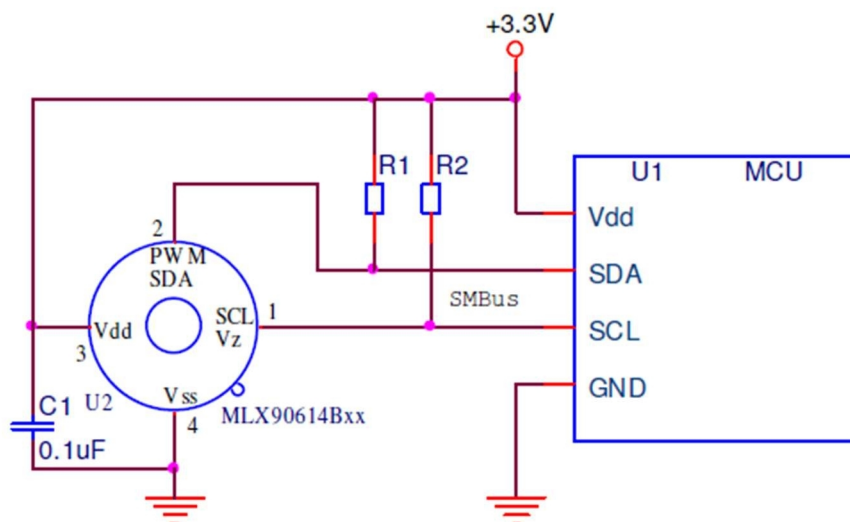


Рисунок 3.2 – Схема підключення датчика до мікроконтролера

3.2 Вибір та обґрунтування датчику пульсу

Датчик пульсу є важливим компонентом для моніторингу здоров'я корів, особливо у контексті діагностики обраних захворювань. Розглянемо кілька моделей датчиків пульсу та їх характеристики.

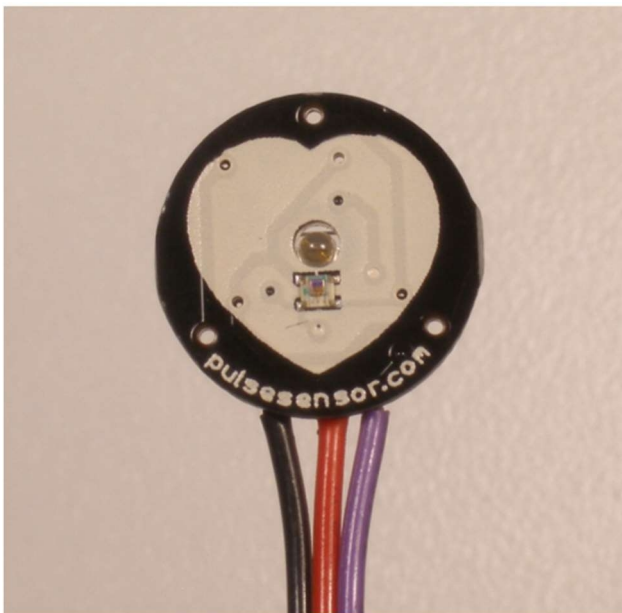
3.2.1 Модуль PulseSensor

Основу сенсора складають два компоненти: потужний світлодіод і спеціальний вимірник яскравості. Пульсації крові викликають зміну яскравості світла відбитого шкірою, що призводить до пульсації вихідного сигналу [19].

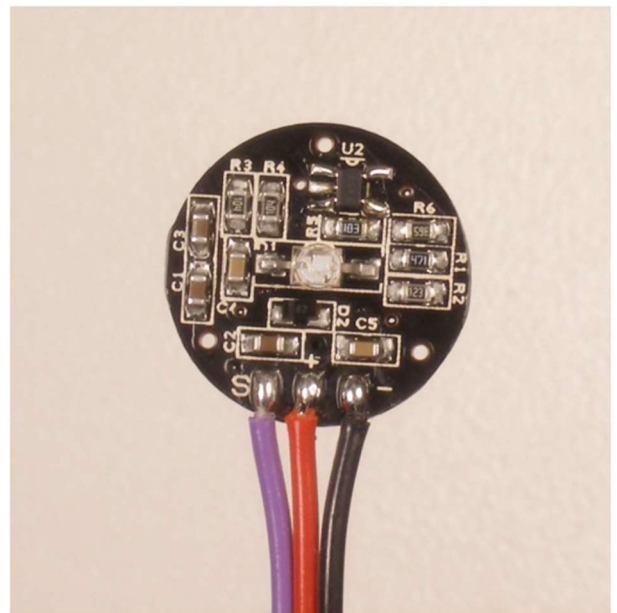
Параметри модуля PulseSensor:

- діапазон вимірювання 30...220 (уд./хв);
- діапазон робочих температур $-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- напруга живлення датчика: 3...5 В;
- діапазон вхідної напруги 3...5 В;
- діапазон вихідної напруги 0,3...5 В;
- споживаний струм 3...4 мА;
- інтерфейс зв'язку – аналоговий;
- діаметр датчика: 16 мм.

Загальний вигляд сенсора наведено на рисунку 3.2.



а)



б)

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд сенсора: а – контактна сторона, б – електронний блок

Застереження! Оскільки вимірювальним елементом є сенсор яскравості з відкритим кристалом кремнію, продукт вкрай чутливий до дії електростатичної напруги. Навіть не найсильнішим розрядом можна повністю вивести сенсор із ладу.

3.2.2 Інтегральні датчики MAX30102

MAX30102 є інтегральним сенсорним модулем, призначеним для спрощення розробки портативних медичних приладів контролю серцевого ритму і насиченості крові киснем. До складу цієї мікросхеми інтегровані світлодіоди (червоний та ІЧ) і фотоприймач, а також убудовані оптичні елементи. Наявна в складі MAX30102 електронна схема обробки сигналів характеризується низьким рівнем власного шуму і забезпечує придушення зовнішнього засвічення [20].

У процесі вимірів використовується канал червоного й інфрачервоного світла з програмно регульованими інтенсивністю світіння і тривалістю сеансів виміру.

Особливості MAX30102:

- монітор серцевих скорочень і оксиметричний біосенсор із працюючими на відображення убудованими світлодіодами;
- мініатюрний (5,6x3,3x1,55 мм) модуль з 14 виводами;
- інтегрована оптична система, що забезпечує надійний процес виміру;
- програмувальна періодичність зняття вимірів і режим енергозбереження світлодіодів;
- низьке енергоспоживання електронної схеми (<1 мВт);
- малий струм споживання у виключеному стані (близько 0,7 мкА);
- діапазон робочих температур: -40...+85 °С.

Зовнішній вигляд MAX30102 представлений на рисунку 3.1.

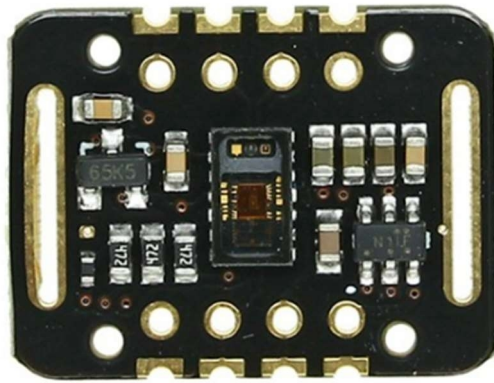


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд MAX 30102

У корпусі MAX30102 реалізована повнофункціональна схема сенсорного модуля для створення портативних систем пульсоксиметрії с високими вимогами до точності вимірів. Пристрій має мініатюрні розміри, домогтися яких удалося без збитку для оптичних або електричних характеристик. Для інтеграції в вимірювальну систему, що носить, буде потрібно мінімум додаткових зовнішніх компонентів.

Таблиця 3.1 - Призначення виводів MAX30102

Вивід	Назва	Функція
1, 7, 8, 14	–	Не використовуються.
2	SCL	Вхід тактової частоти I ² C
3	SDA	Двоспрямована передача даних I ² C (відкритий колектор)
4	PGND	Загальний вивід живлення драйвера LED
5	R DRV	Драйвер червоного LED
6	IR DRV	Драйвер ІЧ-LED
9, 10	VLED+	Живлення LED (підключення до анода).
11	VDD	Живлення аналогової і цифрової схеми.
12	GND	Загальний вивід аналогових і цифрових кіл
13	INT	Переривання (активний низький рівень)

3.2.3 Модуль AD8232

AD8232 – модуль розроблений для вимірювання імпульсів електричної активності серця. Ця активність позначається скороченням ЕКГ або електро-

кардіограма. Електрокардіографія використовується для діагностики різноманітних захворювань серця [21].

Отримані дані можна подати у вигляді аналогових показань. Такі сигнали мають досить великий рівень шуму, дана плата сприяє отриманню більш чистого сигналу. На платі є світлодіод, здатний блимати у такт серцевого ритму.

Характеристики:

- низьке споживання струму: 170 мкА;
- напруга живлення: однополярна від 2 до 3,5 В;
- Rail to Rail вихідний сигнал;
- кількість електродів: 2 чи 3;
- кількість відведень ЕКГ: 1;
- вбудований фільтр ВЧ перешкод;
- 2-поліосний фільтр високих частот;
- 3-поліосний фільтр низьких частот;
- коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу: 80 дБ;
- детектор контакту електродів;
- вихідний сигнал: аналоговий.

Загальний вигляд модуля AD8232 наведено на рисунку 3.4.

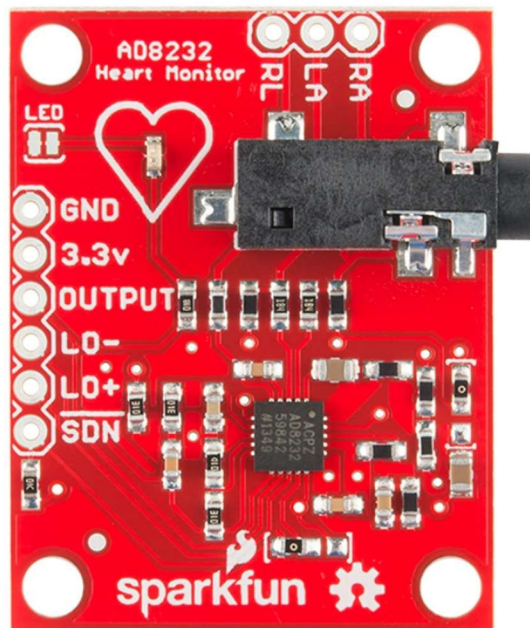


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд модуля AD8232

Обґрунтування вибору:

1. Модель - PulseSensor:

- Діапазон вимірювання: Покриває нормальний діапазон пульсу для корів.
- Інтерфейс зв'язку: Аналоговий, що дозволяє просте підключення до багатьох мікроконтролерів, включаючи Arduino.
- Спосіб вимірювання: Використовує оптичний метод, що забезпечує надійність та точність вимірювань.
- Надійність: Висока, оскільки використовує надійний оптичний метод.

2. Модель - MAX30102:

- Діапазон вимірювання: Покриває нормальний діапазон пульсу для корів.
- Інтерфейс зв'язку: Використовує I2C, що спрощує зв'язок з мікроконтролерами.
- Спосіб вимірювання: Використовує оптичний метод, що забезпечує надійність та точність вимірювань.
- Надійність: Дуже висока, оскільки використовує сучасний оптичний датчик.

3. Модель - AD8232:

- Діапазон вимірювання: Покриває нормальний діапазон пульсу для корів.
- Інтерфейс зв'язку: Аналоговий, що працює добре з багатьма мікроконтролерами.
- Спосіб вимірювання: Використовує електрокардіограму (ЕКГ), що є надійним та точним методом вимірювання пульсу.
- Надійність: Висока, оскільки використовує ЕКГ, яка є стандартом для вимірювання серцевого ритму.

Загалом, обрано Модель - PulseSensor, оскільки вона надійна, точна та відповідає потребам для вимірювання показників у контексті діагностики обраних захворювань.

3.3 Вибір та обґрунтування акселерометра

Акселерометр є ключовим елементом для моніторингу рівня активності корів, що є важливим показником у контексті діагностики обраних захворювань. Розглянемо деякі моделі акселерометрів та їх характеристики.

3.3.1 Акселерометр ADXL345

Акселерометр ADXL345 - це крихітний мікропотужний триосьовий акселерометр високого дозволу (13 біт). Діапазон вимірювання положення коливається до ± 16 g. Результат виміру віддається у вигляді 16-розрядних чисел у додатковому коді та через цифрові інтерфейси SPI/I2C [22].

Даний акселерометр ADXL345 ідеально підходить для використання в мобільних пристроях - він вимірює статичне прискорення (викликане гравітацією) в задачах визначення відхилення або динамічне прискорення, викликане рухом або ударами. Заявлена висока роздільна здатність акселерометра ($4 \cdot 10^{-3}$ g/LSB) дозволяє точно відстежувати зміну відхилення менш ніж на 1.0° . Режим зниженого енергоспоживання датчика дозволяє реалізувати інтелектуальне управління живленням системи.

Характеристики:

- живлення акселерометра: 3.3 – 5 В;
- підтримувані інтерфейси: I2C/SPI;
- роздільна здатність: 10/13-bit (min. 4 mg/LSB);
- діапазон вимірювань: +/-2g/+/-4g/+/-8g/+/-16g;
- розміри модуля: 20x15 мм.

3.3.2 Модуль датчика прискорення GY-521 та триосьового гіроскопа MPU-6050

На платі модуля встановлено стабілізатор напруги з виходів 3,3, а також світлодіод індикації живлення модуля [23].

Технічні характеристики:

- модель: GY-521;
- датчик зібраний на мікросхемі: MPU-6050;
- режими для акселерометра: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 6g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$;
- режими для гіроскопа: $\pm 250^\circ$, $\pm 500^\circ$, $\pm 1000^\circ$, $\pm 2000^\circ$;
- ширина шини ІС: 16 біт;
- напруга живлення: 3,3...5 В;
- розміри: 20 x 15 x 3 мм;
- вага комплекту: 5 г.

Виводи модуля:

- VCC – напруга живлення;
- GND – загальний;
- SCL – тактовий сигнал І2С (до порту А4 плати Arduino);
- SDA – дані І2С (до порту А5 плати Arduino);
- XDA – дані шини І2С під час роботи в режимі майстра;
- XCL – тактовий сигнал шини І2С під час роботи в режимі майстра;
- AD0 – біт 0 адреси І2С;
- INT – вихід сигналу про готовність даних для використання як зовнішнього переривання МК.

Загальний вигляд модуля MPU6050 наведено на рисунку 3.3.

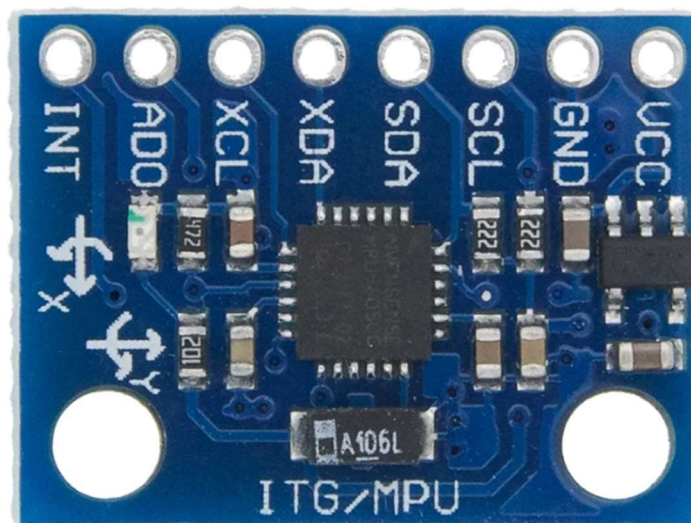


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд модуля MPU6050

3.3.3 Трьохосьовий акселерометр LIS3DH

LIS3DH – це дуже популярний трьохосьовий акселерометр малої потужності. Він недорогий, але має майже все «додаткове», яке ви хотіли б мати в акселерометрі [24]:

- три осі зондування;
- 10-бітна точність;
- $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$ масштабування, що вибирається;
- I2C (2 можливі адреси) інтерфейсу SPI;
- вихід переривань;
- кілька параметрів швидкості передачі даних від 1 Гц до 5 КГц;
- споживаний струм від 2 мкА (тільки сам чіп, без допоміжних схем);
- 3 додаткові входи АЦП, які можна зчитувати через I2C.

Обґрунтування вибору:

1. Модель - ADXL345:

- Діапазон вимірювання: Забезпечує широкий діапазон вимірювання, що дозволяє точно виявляти різні рівні активності корів.

- Інтерфейс зв'язку: Має можливість працювати по різних інтерфейсах (I2C/SPI), що робить його сумісним з різними мікроконтролерами, включаючи Arduino.

- Роздільна здатність: Має 10-бітну роздільну здатність, що забезпечує точність вимірювань.

2. Модель - MPU6050:

- Діапазон вимірювання: Має широкий діапазон вимірювання, що дозволяє точно виявляти різні рівні активності корів.

- Інтерфейс зв'язку: Використовує стандартний інтерфейс I2C, що спрощує підключення до багатьох мікроконтролерів, включаючи Arduino.

- Роздільна здатність: Має 16-бітну роздільну здатність, що забезпечує високу точність вимірювань.

3. Модуль LIS3DH:

- Діапазон вимірювання: Забезпечує широкий діапазон вимірювання для точного виявлення різних рівнів активності корів.

- Інтерфейс зв'язку: Має можливість працювати по різних інтерфейсах (I2C/SPI), що робить його сумісним з різними мікроконтролерами, включаючи Arduino.

- Роздільна здатність: Має 12-бітну роздільну здатність, що забезпечує точність вимірювань.

Загалом, обрано Модуль MPU6050, оскільки він має широкий діапазон вимірювання, високу роздільну здатність та працює зі стандартним інтерфейсом I2C, що робить його найзручнішим варіантом для вимірювання рівня активності корів у контексті діагностики обраних захворювань.

3.4 Вибір та обґрунтування датчика провідності шкіри

Датчик провідності шкіри є важливим компонентом для вимірювання показників у контексті діагностики обраних захворювань. Він дозволяє виявити зміни в провідності шкіри, що може бути індикатором стресу чи дискомфорту, пов'язаного з захворюванням.

Розглянемо кілька моделей датчиків провідності шкіри та їх характеристики (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Порівняння характеристик датчиків провідності шкіри

Модель	Діапазон вимірювання (μS)	Інтерфейс зв'язку	Роздільна здатність
GSR-1000	0...1000	Аналоговий	10 біт
E-Health V2	0...512	Аналоговий	10 біт
Grove GSR	0...55	Аналоговий	10 біт

Обравши серед запропонованих модель датчика провідності шкіри, рекомендую використати Модель - Grove GSR. Вона має діапазон вимірювання, що задовольняє потребам діагностики маститу, та працює за аналоговим інтерфейсом, що дозволяє легко підключити її до багатьох мікроконтролерів, включаючи Arduino [25].

Крім того, вона має високу роздільну здатність (10 біт), що дозволяє отримувати точні вимірювання провідності шкіри. Надійність моделі також висока, що є важливим аспектом для надійної діагностики стану здоров'я корів.

Загалом, Модель - Grove GSR є найкращим варіантом для вимірювання провідності шкіри у контексті у контексті діагностики обраних захворювань.

Загальний вигляд модуля Grove GSR наведено на рисунку 3.4.

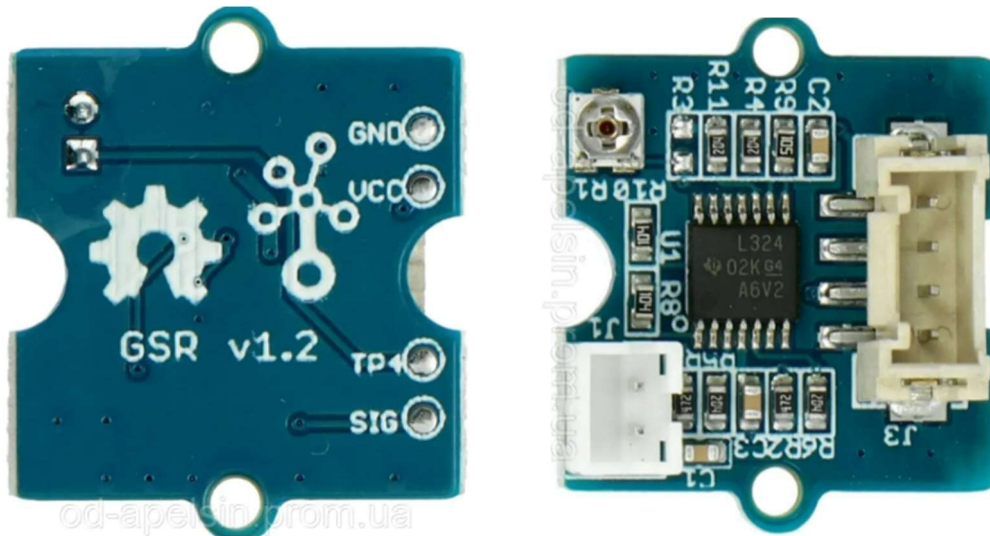


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд модуля Grove GSR

3.5 Вибір та обґрунтування датчика GPS

Датчик GPS є важливим елементом для вимірювання рівня активності корів у контексті діагностики обраних захворювань. Він надає можливість відстежувати рух тварини та виявляти можливі зміни у поведінці та активності, що можуть служити сигналом можливих проблем зі здоров'ям.

Ось кілька моделей датчиків GPS та їх характеристики (таблиця 3.5)

Таблиця 3.5 – Порівняння характеристик датчиків GPS

Модель	Діапазон вимірювання (метри)	Частота вимірювань (Гц)	Інтерфейс	Водостійкість
GPS-1000	0...1000	1	UART	IP67
GeoTrack V2	0...500	5	CAN	IP65
PrecisionGPS	0...100	10	SPI	IP68

Обґрунтування вибору.

У контексті діагностики обраних захворювань, доцільно обрати модель GeoTrack V2. Вона має широкий діапазон вимірювання та високу частоту вимірювань, що дозволяє точно відстежувати рух корови та виявляти зміни в активності.

Модель має інтерфейс зв'язку CAN, що забезпечує швидку передачу даних. Крім того, вона володіє високим рівнем водостійкості (IP65), що робить її надійним у вологих умовах фермерського господарства.

Хоча модель має високу вартість, вона надає найбільш повний набір функцій, що дозволяє надійно вимірювати рівень активності корів та виявляти можливі зміни, що вказують на проблеми зі здоров'ям.

Загалом, модель GeoTrack V2 є найкращим варіантом для вимірювання рівня активності у контексті діагностики обраних захворювань [26].

Загальний вигляд модуля GeoTrack V2 наведено на рисунку 3.5.

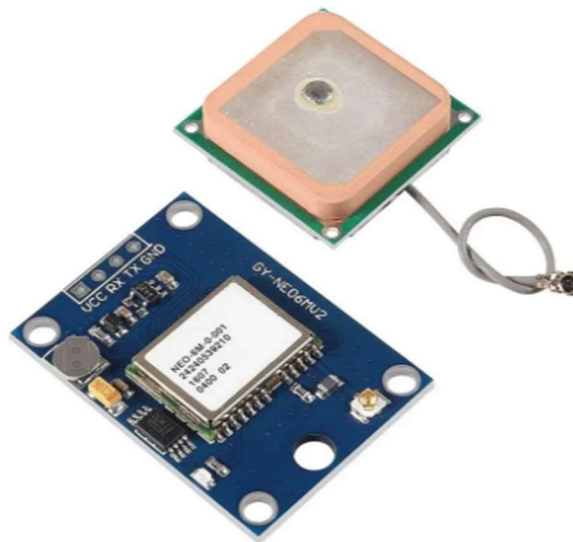


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд модуля GeoTrack V2

3.6 Обґрунтування вибору мікроконтролера

Критерії вибору для діагностики захворювань у корів:

1. Потужність обробки даних: Вимагається достатній обсяг ресурсів для збору, обробки та аналізу даних з різних сенсорів (акселерометрів, датчиків

провідності шкіри, GPS тощо).

2. Комунікаційні можливості: Наявність різних інтерфейсів (USB, I2C, UART, Wi-Fi, Bluetooth) для взаємодії з сенсорами та передачі даних на зовнішні пристрої або хмарні сервіси.

3. Можливості бездротового зв'язку: Важлива можливість підключення до бездротових мереж для передачі даних або отримання оновлень алгоритмів.

4. Доступність інструментів розробки: Наявність зручного та розвинутого середовища розробки з великою кількістю готових бібліотек та додаткових інструментів.

Порівняння характеристик моделей мікроконтролерів:

1. ESP32:

– переваги: Великий обсяг пам'яті, висока швидкість, широкі можливості бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth), багато інтерфейсів для підключення до різних пристроїв.

– обмеження: Можливі проблеми з електроживленням та сумісністю з деякими шилдами та бібліотеками.

2. Arduino Uno, Mega, Nano:

– переваги: Простота використання, доступність, зручність для початківців, але обмеженіше в плані ресурсів порівняно з ESP32.

– обмеження: Менший обсяг пам'яті, обмеженіше у можливостях бездротового зв'язку.

Оптимальним вибором для вимірювання рівня активності корів у контексті діагностики захворювань є ESP32. Цей мікроконтролер відповідає всім ключовим критеріям для успішної діагностики та моніторингу здоров'я тварин.

ESP32 володіє значним обсягом пам'яті та високою швидкістю обробки даних, що важливо для збору та аналізу інформації з різних сенсорів, таких як акселерометри, датчики провідності шкіри, GPS. Його розширені можливості бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth) дозволяють відстежувати рухи тварин та передавати дані на зовнішні пристрої для подальшого аналізу.

Також ESP32 має багато різних інтерфейсів для підключення до різних

пристроїв, що дає можливість використовувати широкий спектр сенсорів та активаторів. На відміну від інших моделей Arduino, ESP32 має більше ресурсів та зручний інтерфейс, що полегшує розробку та дозволяє отримати більш точні та надійні результати.

Схема з'єднання обраного мікроконтролера з датчиками наведена на рисунку 3.6.

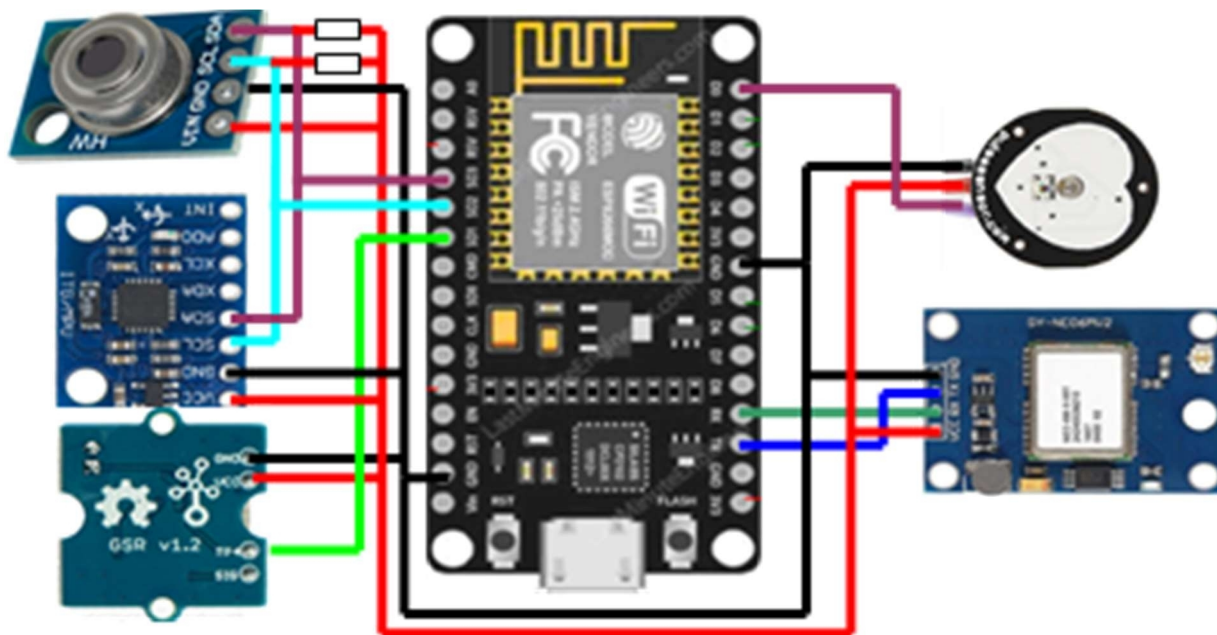


Рисунок 3.6 – Схема підключення сенсорів до контролера ESP32

4 ПРОГРАМНА РОЗРОБКА

4.1 Підключення датчиків до мікроконтролера

Перш за все нам потрібно налагодити роботу датчиків з ESP32 після підключення. Нижче наведено код для програмування плати.

```
// Підключення необхідних бібліотек для датчиків та їх інтерфейсів.
include <Wire.h>
include <Adafruit_MLX90614.h>
include <PulseSensorPlayground.h>
include <GroveGSR.h>
include <TinyGPS++.h>
include <WiFi.h>
include <HTTPClient.h>

// Визначте контакти для датчиків.
define TEMPERATURE_SENSOR_SDA_PIN 21
define TEMPERATURE_SENSOR_SCL_PIN 22
define HEART_RATE_SENSOR_PIN A0
define ACCELEROMETER_PIN 26
define GPS_RX_PIN 16
define GPS_TX_PIN 17

// Створення екземплярів об'єктів для датчиків.
Adafruit_MLX90614 temperatureSensor;
PulseSensorPlayground heartRateSensor;
GroveGSR gsrSensor;
TinyGPSPlus gpsSensor;

// Визначте облікові дані WiFi.
const char ssid = "your_SSID";
const char password = "your_PASSWORD";

// Визначте URL-адресу сервера, на який будуть передаватися дані.
const char serverURL = "http://your_server_url";

// Функція `setup` ініціалізує середовище, коли плата ESP32 вмикається або
сकिдається.
void setup() {
  // Ініціалізація послідовного зв'язку зі швидкістю 9600 бод.
  Serial.begin(9600);
```

```

// Підключіться до мережі WiFi.
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(1000);
  Serial.println("Connecting to WiFi...");
}
Serial.println("Connected to WiFi");

// Ініціалізуйте датчик температури
temperatureSensor.begin(TEMPERATURE_SENSOR_SDA_PIN,
TEMPERATURE_SENSOR_SCL_PIN);

// Ініціалізуйте датчик пульсу.
heartRateSensor.begin(HEART_RATE_SENSOR_PIN);

// Ініціалізуйте акселерометр.
pinMode(ACCELEROMETER_PIN, INPUT);

// Ініціалізуйте датчик GPS.
Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, GPS_RX_PIN, GPS_TX_PIN);
}

// Функція `loop` безперервно циклічно працює, доки ESP32 живиться.
void loop() {
  // Зчитайте температуру з датчика температури.
  float temperature = temperatureSensor.readObjectTempC();

  // Зчитайте частоту серцевих скорочень із датчика серцевого ритму.
  int heartRate = heartRateSensor.getBeatsPerMinute();

  // Зчитайте GSR (шкірно-гальванічний відгук) з датчика GSR.
  int gsr = gsrSensor.conductance();

  // Зчитайте прискорення з акселерометра.
  int acceleration = analogRead(ACCELEROMETER_PIN);

  // Зчитайте дані GPS із датчика GPS.
  while (Serial1.available() > 0) {
    gpsSensor.encode(Serial1.read());
  }

  // Підготуйте дані для передачі на сервер.
  String data = "temperature=" + String(temperature) +
    "&heart_rate=" + String(heartRate) +
    "&gsr=" + String(gsr) +

```

```

"&acceleration=" + String(acceleration) +
"&latitude=" + String(gpsSensor.location.lat(), 6) +
"&longitude=" + String(gpsSensor.location.lng(), 6);

// Створіть клієнтський об'єкт HTTP.
HttpClient http;

// Зробіть запит POST до сервера з даними.
http.begin(serverURL);
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
int httpResponseCode = http.POST(data);
if (httpResponseCode > 0) {
  Serial.print("HTTP Response code: ");
  Serial.println(httpResponseCode);
} else {
  Serial.print("Error in HTTP request: ");
  Serial.println(http.errorToString(httpResponseCode));
}
http.end();

// Зачекайте 1 секунду перед надсиланням наступних даних.
delay(1000);
}

```

4.2 Розрахункові формули

Показники вірогідного захворювання ми будемо обчислювати за такими формулами.

Відносне відхилення температури тіла від нормального значення визначається за формулою

$$t_B = \frac{t_c - t_H}{t_H} \cdot 100, \quad (4.1)$$

де t_c – показання сенсора температури, $^{\circ}\text{C}$;

t_H – нормальне значення температури, $^{\circ}\text{C}$.

Відносне відхилення частоти пульсу від нормального значення визначається за формулою

$$\text{ЧСС}_B = \frac{\text{ЧСС}_c - \text{ЧСС}_H}{\text{ЧСС}_H} \cdot 100, \quad (4.2)$$

де ЧСС_c – показання сенсора частоти серцевих скорочень, уд/хв;

ЧСС_n – нормальне значення частоти серцевих скорочень, уд/хв.

Рівень активності визначається за показниками акселерометра та GPS.

Відносне відхилення показань GPS визначається формулою

$$\text{GPS}_B = \frac{\text{GPS}_c - \text{GPS}_{\text{сер}}}{\text{GPS}_{\text{сер}}} \cdot 100, \quad (4.3)$$

де GPS_c – показання GPS, м;

$\text{GPS}_{\text{сер}}$ – середнє значення показань GPS всього стада, м.

Відносне відхилення провідності шкіри від нормального значення визначається за формулою

$$\Pi_B = \frac{\Pi_c - \Pi_n}{\Pi_n} \cdot 100, \quad (4.4)$$

де Π_c – показання сенсора провідності шкіри, Ом^{-1} ;

Π_n – нормальне значення провідності шкіри, Ом^{-1} .

Але у повністю здорових тварин показники багатьох нормальних значень коливаються в деякому діапазоні. Наприклад, нормальна температура тіла у великої рогатої худоби, так само як у всіх теплокровних порівняно стала, і у дорослої тварини знаходиться в діапазоні від $38,0$ до $39,0^\circ\text{C}$. А іноді у цілком здорових тварин показники можуть бути трохи вищими або трохи нижчими за цю область [26], а нормальний пульс у стані спокою може коліватися в межах 40-80 ударів на хвилину [27].

Тому, перед прогнозуванням можливого захворювання необхідно в базу даних занести реальні показники для кожної корови (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Показники нормальних значень параметрів деяких корів

ID	Нормальні значення параметрів		
	Температура, $^\circ\text{C}$	Пульс, уд/хв.	Провідність шкіри, Ом^{-1}
1	38	60	
2	39	70	
3	38,5	50	
4	38	65	
5	38,7	75	

Мастопатія включає в себе поєднання фізіологічних і поведінкових змін. Температура, частота пульсу, рівень активності та провідність шкіри в сукупності дають комплексне уявлення про стан здоров'я корови.

Вірогідність маститу розраховується за формулою

$$MCT = k1 \cdot t_b + k2 \cdot ЧСС_B + k3 \cdot GPS_B + k4 \cdot П_B, \quad (4.5)$$

де $k1=3$ – коефіцієнт впливу температури на можливий мастит,

$k2=2$ – коефіцієнт впливу частоти серцевих скорочень на можливий мастит,

$k3=1$ – коефіцієнт впливу GPS на можливий мастит,

$k4=4$ – коефіцієнт впливу провідності шкіри на можливий мастит.

Респіраторна хвороба великої рогатої худоби пов'язана зі змінами температури, частоти пульсу та активності. Поєднання цих показників забезпечує цілісний підхід до діагностики захворювання.

Вірогідність хвороби дихальних шляхів у худоби (BVD) розраховується за формулою

$$BVD = m1 \cdot t_b + m2 \cdot ЧСС_B + m3 \cdot GPS_B, \quad (4.6)$$

де $m1=6$ – коефіцієнт впливу температури на можливість BVD,

$m2=3$ – коефіцієнт впливу частоти серцевих скорочень на можливість BVD,

$m3=1$ – коефіцієнт впливу GPS на можливість BVD.

Метаболічні розлади, такі як кетоз, проявляються у зміні активності, температури тіла та частоти серцевих скорочень. Поєднання цих показників може допомогти у ранньому виявленні.

Вірогідність кетозу розраховується за формулою

$$KTZ = n1 \cdot t_b + n2 \cdot ЧСС_B + n3 \cdot GPS_B, \quad (4.7)$$

де $n1=3$ – коефіцієнт впливу температури на можливість кетозу,

$n2=1$ – коефіцієнт впливу частоти серцевих скорочень на можливість кетозу,

$n3=6$ – коефіцієнт впливу GPS на можливість кетозу.

На проблеми з репродуктивним здоров'ям RHPP (Reproductive Health Problem Probability) можуть вказувати зміни в активності та температурі тіла. Моніторинг цих параметрів дозволяє на ранній стадії виявити потенційні

проблеми.

Проблеми репродуктивного здоров'я можна спрогнозувати за формулою

$$RHPP = w1 \cdot t_B + w2 \cdot GPS_B, \quad (4.8)$$

де $w1=7$ – коефіцієнт впливу температури на можливість проблеми з репродуктивним здоров'ям,

$w2=3$ – коефіцієнт впливу GPS на можливість проблеми з репродуктивним здоров'ям.

Вплив відхилення температури на ймовірність захворювань наведена в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Вплив відхилення температури на ймовірність захворювань

Відхилення температури	Ймовірність захворювання %			
	МСТ	BVD	KTZ	RHPP
0	0	0	0	0
0.5	1.5	3	1.5	3.5
1	3	6	3	7
1.5	4.5	9	4.5	10.5
2	6	12	6	14
2.5	7.5	15	7.5	17.5
3	9	18	9	21
3.5	10.5	21	10.5	24.5
4	12	24	12	28
4.5	13.5	27	13.5	31.5
5	15	30	15	35

Вплив відхилення частоти серцевих скорочень на ймовірність захворювань наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вплив відхилення серцевих скорочень на ймовірність захворювань

Відхилення ЧСС	Ймовірність захворювання %			
	МСТ	BVD	KTZ	RHPP
0	0	0	0	0
5	10	15	5	0
10	20	30	10	0
15	30	45	15	0
20	40	60	20	0
25	50	75	25	0

Продовження таблиці 4.3

Відхилення ЧСС	Ймовірність захворювання %			
	МСТ	BVD	KTZ	RHPP
30	60	90	30	0
35	70	105	35	0
40	80	120	40	0
45	90	135	45	0
50	100	150	50	0

Таблиця 4.4 – Вплив відхилення GPS на ймовірність захворювань

Відхилення GPS	Ймовірність захворювання %			
	МСТ	BVD	KTZ	RHPP
0	0	0	0	0
0,5	0,5	0,5	3	1,5
1	1	1	6	3
1,5	1,5	1,5	9	4,5
2	2	2	12	6
2,5	2,5	2,5	15	7,5
3	3	3	18	9
3,5	3,5	3,5	21	10,5
4	4	4	24	12
4,5	4,5	4,5	27	13,5
5	5	5	30	15

Таблиця 4.5 – Вплив відхилення провідності шкіри на ймовірність захворювань

Відхилення провідності	Ймовірність захворювання %			
	МСТ	BVD	KTZ	RHPP
0	0	0	0	0
5	20	0	0	0
10	40	0	0	0
15	60	0	0	0
20	80	0	0	0
25	100	0	0	0
30	120	0	0	0
35	140	0	0	0
40	160	0	0	0
45	180	0	0	0
50	200	0	0	0

4.3 Розробка інтерфейсу

Головна сторінка інтерфейсу наведена на рисунку 4.1.

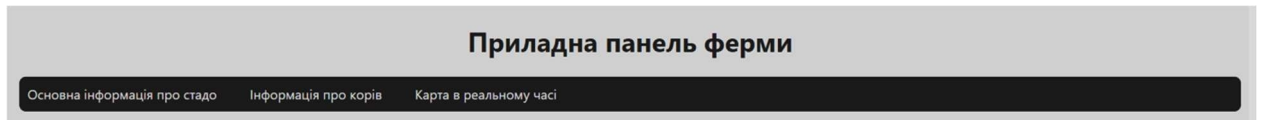


Рисунок 4.1 – Головна сторінка інтерфейсу

Сторінка починається великим і центрованим заголовком "Приладна панель ферми", за яким слідує панель навігації для полегшення швидкого доступу до різних розділів сторінки. Панель навігації містить посилання на три основні розділи: "Основна інформація про стадо", "Інформація про корів" та "Карта в реальному часі". Ця структура дозволяє швидко переходити до конкретних областей інтересу.

В розділі "Основна інформація про стадо" ми можемо бачити інформацію про показники всього стада на даний момент, відсоток вірогідності хвороб, а також попередження про небезпеку. Для своєчасного інформування проблемні корови (з відхиленнями від норми) виведені в гору переліку (рисунок 4.2).

ID корови	Температура	Пульс	GSR	Пройдені кілометри	BVD (%)	Мастопатія (%)	Репродуктивне здоров'я (%)	Кетоз (%)	Небезпека	Рекомендації
8	42.5	75	60	4	10	15	20	5	Висока температура	Звернутися до ветеринара
6	37.8	45	55	5	12	18	22	8	Низький серцевий ритм	Звернутися до ветеринара
4	39.2	80	58	1	15	10	25	6	Низький рівень активності	Перевірка в загоні
1	38.0	72	62	5	8	20	18	7	Активация Windows Перейдіть до розділу "Настройки", щоб активувати Windows.	
2	37.2	65	57	5	14	12	15	4		
3	38.8	78	63	6	11	16	21	9		
5	37.5	70	59	7	13	14	23	5		
7	39.0	82	61	6	9	22	19	8		
9	37.9	73	56	4	16	17	24	7		
10	38.3	76	64	3	10	20	15	6		

Рисунок 4.2 – Основна інформація про стадо

Розділ "Основна інформація про стадо" є ключовою частиною сторінки, надаючи табличний огляд кожної корови у стаді. Таблиця містить ключові показники, такі як ідентифікаційний номер корови, температура, пульс, GSR (гальванічний відгук шкіри), пройдено кілометрів та різні відсотки здоров'я, пов'язані з BVD, мастопатією, репродуктивним здоров'ям та кетозом. Останній стовпчик вказує на потенційну небезпеку на основі зібраних даних та рекомендацію з дією. Цей розділ служить важливим інструментом для фермерів для моніторингу та оцінки здоров'я та благополуччя кожної корови.

В розділі "Інформація про корів" ми можемо обрати певну корову (рисунок 4.3) і подивитися всю інформацію про неї за день, тиждень, місяць (рисунок 4.4).

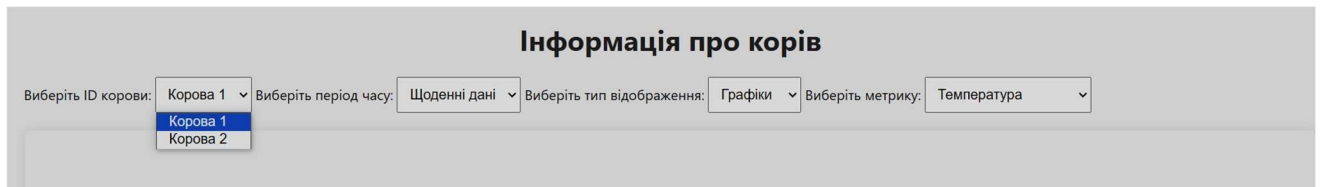


Рисунок 4.3 – Підменю "Інформація про корів - id корови"

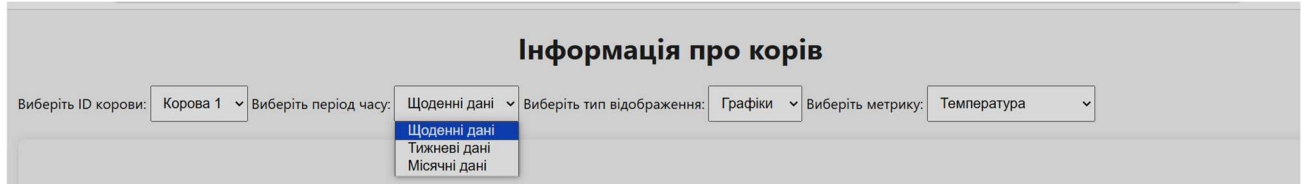


Рисунок 4.4 – Підменю "Інформація про корів - Період часу"

Також ми можемо обрати в якому форматі ми би хотіли побачити данні чи то в графічному (у вигляді графіків) чи в табличному (у вигляді таблиці) (рисунок 4.5).

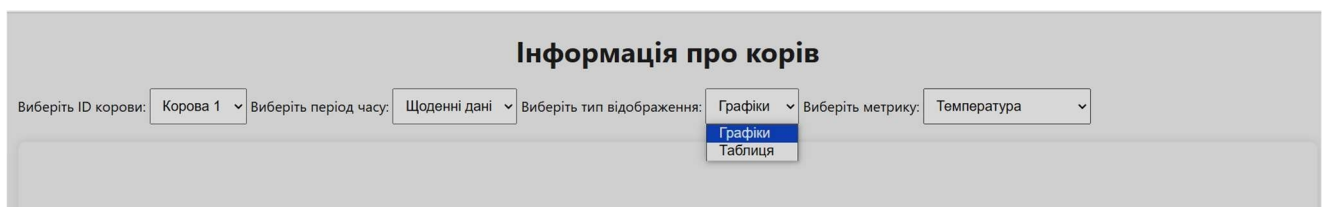


Рисунок 4.5 – Підменю "Інформація про корів - Тип відображення"

Далі ми повинні обрати який саме параметр нас цікавить – Температура, Пульс, GSR або Пройдені кілометри(рисунок 4.6).

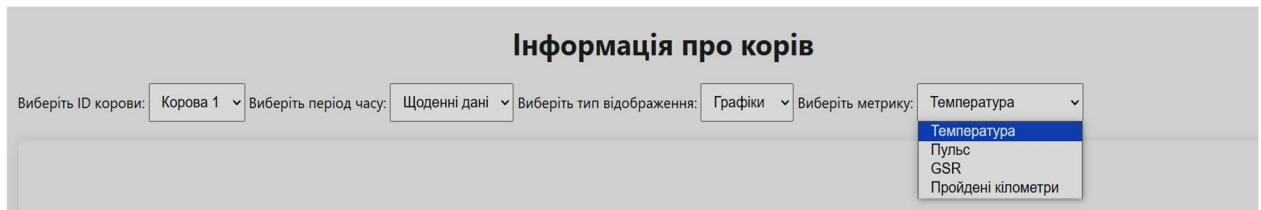


Рисунок 4.6 – Підменю "Інформація про корів - Виберіть метрику"

Сторінка є приладною панеллю для моніторингу та візуалізації даних про корів на фермі. Сторінка використовує як HTML, так і JavaScript (з бібліотекою Chart.js) для створення графіків та таблиць для зручного відстеження параметрів здоров'я корів.

При активації опції "Виберіть ID корови" відкривається вікно зі списком корів всього стада в якому обирається та корова, дані якої цікавлять фермера.

В опції "Період часу" задається період: щоденні, тижневі або місячні дані показників.

В опції "Тип відображення" обираються або табличні дані, або їх графічний вигляд.

В опції "Вибір метрики" обираються який параметр ми будемо відображати.

При обраних значеннях показаних на рисунку 4.6, відобразиться таблиця з розгорнутими даними для вибраної корови та обраного періоду часу.

Для прикладу, табличне представлення щоденних даних температури наведено на рисунку 4.7). Аналогічні таблиці з'являються при виборі інших параметрів.

Година/Тиждень	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
temperature	38.5	38.5	38.5	38.5	38.6	38.6	38.7	38.7	38.8	38.8	38.7	38.8	38.9	38.9	38.8	38.8	38.6	38.6	38.5	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4

Рисунок 4.7 – Табличне представлення поточних даних температури

Також ми можемо подивитися Тижневі дані та Місячні дані для температури чи одного з чотирьох метрик (рисунки 4.8...4.9).

Інформація про корів

Виберіть ID корови: Корова 1 | Виберіть період часу: Тижневі дані | Виберіть тип відображення: Таблиця | Виберіть метрику: Температура

Година/Тиждень	1д тому	2д тому	3д тому	4д тому	5д тому	6д тому	7д тому
temperature	38.5	39	38	39.2	37.8	38.7	39.5

Рисунок 4.8 – Табличне представлення Тижневі дані Температури

Інформація про корів

Виберіть ID корови: Корова 1 | Виберіть період часу: Місячні дані | Виберіть тип відображення: Таблиця | Виберіть метрику: Температура

Година/Тиждень	Тиждень 1	Тиждень 2	Тиждень 3
temperature	38.5	39	38

Рисунок 4.9 – Табличне представлення Місячні дані Температури

Для більш детального аналізу вірогідності захворювання корови на ту чи іншу хворобу в нас є кнопка яка викликає таблицю відсоткової вірогідності хвороби (рисунок 4.10).

Інформація про корів

Виберіть ID корови: Корова 1 | Виберіть період часу: Щоденні дані | Виберіть тип відображення: Таблиця | Виберіть метрику: Пульс

Година/Тиждень	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
heartRate	72	72	73	72	73	73	76	77	78	80	82	82	82	84	82	84	82	80	76	74	72	72	72	72

[Показати додаткову таблицю](#)

Рисунок 4.10 – Кнопка виклику таблиці

При натисканні на кнопку Показати додаткову таблицю відображується відсоток ймовірного захворювання тією або іншою хворобою (рисунок 4.11).

[Показати додаткову таблицю](#)

Метрика	Відсоток
ХДШ (%)	15
Мастпатія (%)	10
Проблеми репродуктивного здоров'я (%)	25
Кетоз (%)	8

Рисунок 4.11 – Таблиця відсоткової вірогідності хвороби

При бажанні проаналізувати дані в графічному вигляді необхідно в опції "Виберіть вид аналітики" обрати "Графіки" (рисунок 4.12).

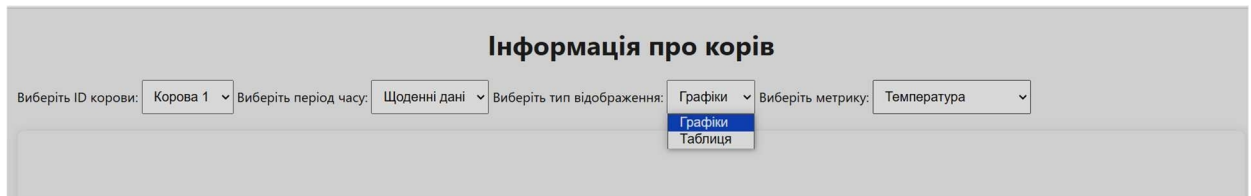


Рисунок 4.12 – Підменю "Інформація про корів - Графіки"

На даній сторінці здійснює вивід графіків для різних параметрів корів відповідно до обраної одиниці часу (денної, тижневої, або місячної). Шапка містить заголовок і навігаційні елементи, такі як випадючі списки для обрання корови та періоду часу а також обраної метрики (температура, пульс, GSR (гальванічний відгук шкіри), пройдено кілометрів).

Графіки відображаються в блоках, розділених за параметрами (температура, пульс, GSR, пройдено кілометрів). Вони використовують бібліотеку Chart.js для динамічного оновлення даних. Кожен графік показує тенденції значень параметра протягом вибраного періоду часу. Де по вертикальній вісі вказані показники, а по горизонтальній – години доби.

Для прикладу на рисунку 4.13 наведено графік пройденої відстані коровою добу.

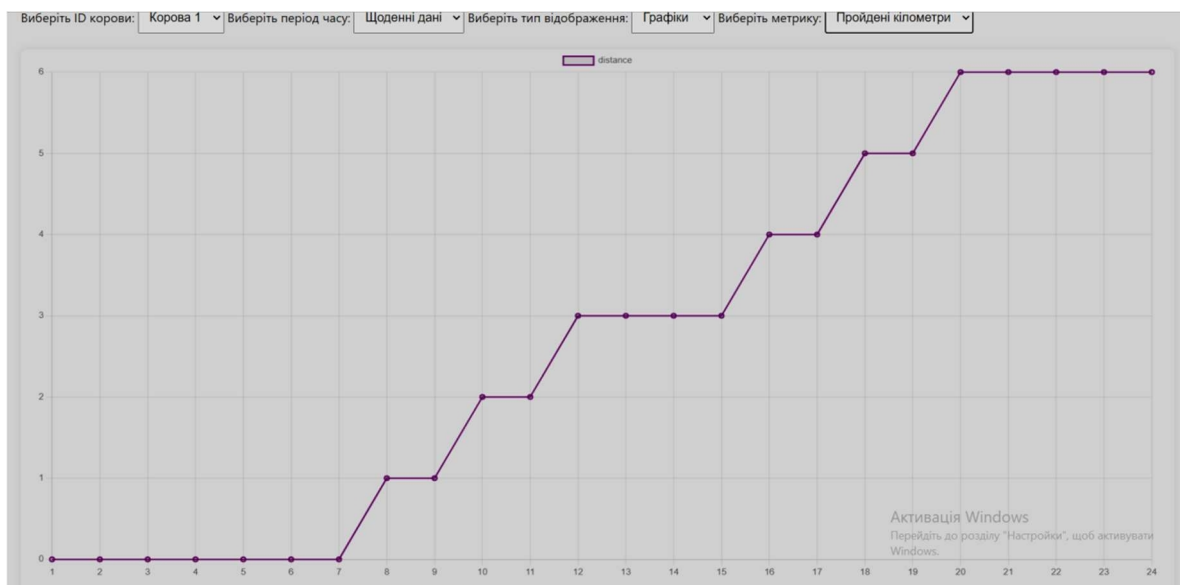


Рисунок 4.13 – Графік Пройдено кілометрів за добу

Розроблений інтерфейс дозволяє також переглянути тижневі та місячні дані для кожної з чотирьох метрик.

Сценарії JavaScript дозволяють динамічно оновлювати графіки при зміні вибраних параметрів.

Даний інтерфейс надає інструмент для ефективного моніторингу та аналізу здоров'я корів на фермі. З використанням графіків та таблиць, фермерам легко слідкувати за параметрами своїх тварин та приймати рішення для оптимізації управління фермою.

Розділ "Карта в реальному часі" використовує контейнер для карт, щоб показати зображення ферми. Карта спрямована на візуальне представлення мапи ферми чи конкретних цікавих областей. Хоча поточна реалізація використовує статичне зображення, мета полягає в тому, щоб у майбутньому включити дані в реальному часі, щоб фермери могли ефективно відстежувати місцезнаходження та рух тварин (рисунок 4.14).

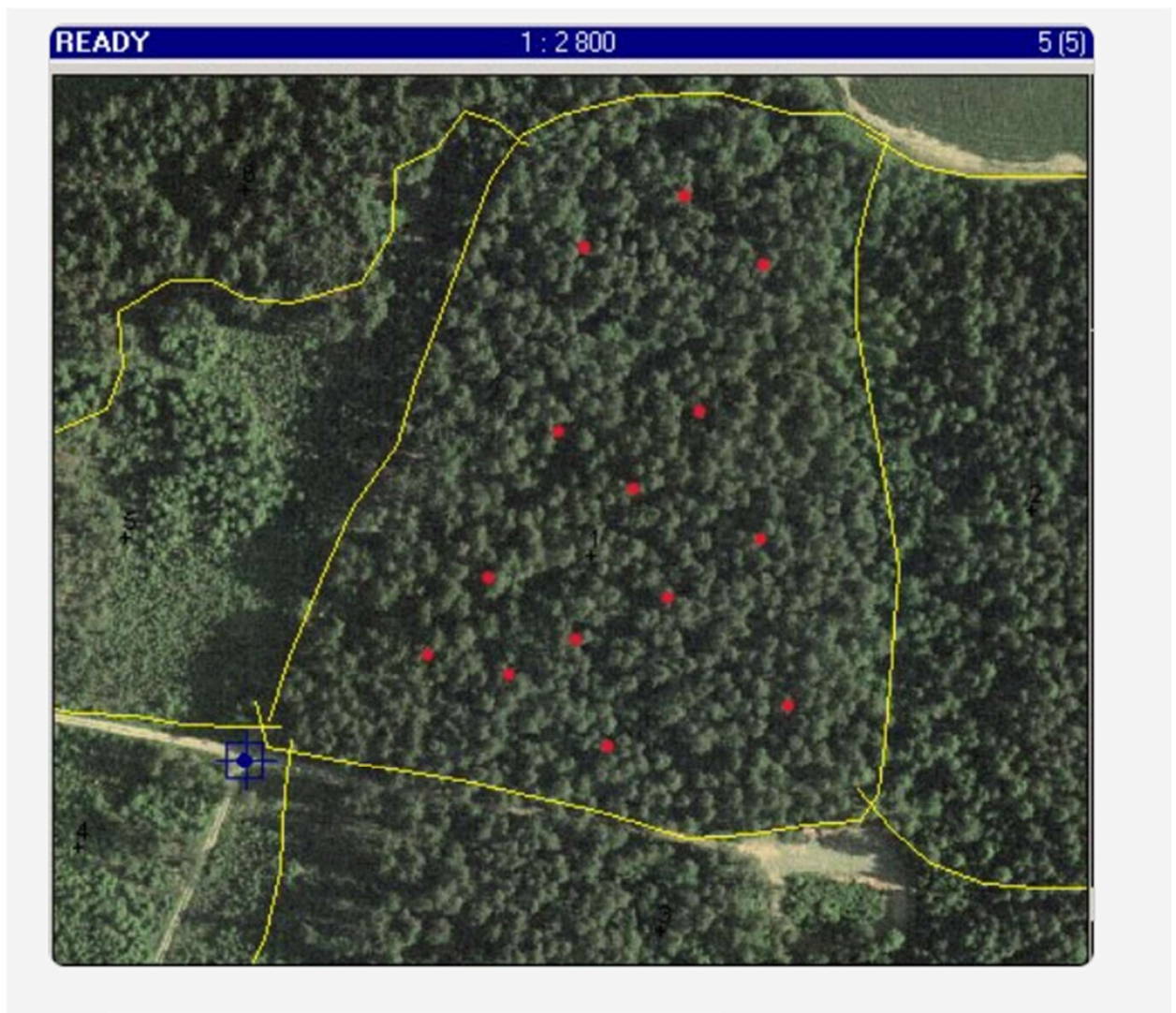


Рисунок 4.14 – Карта в реальному часі

Розроблена інформаційна система надає організований та візуально привабливий інтерфейс для фермерів для моніторингу та управління своїм тваринництвом. Включення детальної інформації про стадо та карти в реальному часі демонструє функціональність інтерфейсу для забезпечення інформованого прийняття рішень для ефективного управління фермою. Чистий дизайн та інтуїтивно зрозуміла навігація сприяють зручному користуванню.

ВИСНОВКИ

Метою магістерської кваліфікаційної роботи було підвищення ефективності роботи ферм за рахунок технологій інтернету речей.

В першому розділі роботи було розглянуто розумну ферму як об'єкт інтернету речей та проведено огляд існуючих систем керування фермою.

В другому розділі роботи проведено архітектурне проектування інформаційної системи. Проведено огляд та аналіз найпоширеніших захворювань рогатої худоби та розроблена структурна схеми проектованої інформаційної системи.

При схемотехнічній розробці системи було проведено обґрунтування вибору мікроконтролера, обрано необхідні датчики та розроблена схема їх з'єднання.

В четвертому, програмному, розділі наведено програмні коди підключення датчиків до мікроконтролера, наведено розрахункові формули для обчислень ймовірності захворювання та розроблено інтерфейс системи.

Отже, всі поставлені задачі виконано в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. IoT for Development of Smart Dairy Farming. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2020/4242805/> (дата звернення 6.10.2023).
2. DeLaval provides integrated solutions designed to improve dairy producers'. URL: <https://www.delaval.com/en-ca/> (дата звернення 6.10.2023).
3. Automating Dairy Farms. URL: <https://www.afimilk.com/>
4. Afi farm – primary herd management tool. URL: <https://uvt.com.ua/krs/partneram/afifarm/> (дата звернення 6.10.2023).
5. Afi farm security software. URL: <https://www.tdm.it/en/project/afifarm/>
6. Afi collar. URL: <https://www.tdm.it/en/project/afi-collar/> (дата звернення 10.10.2023).
7. Pakistani startup on cow monitoring collar wins big. URL: <https://www.brecorder.com/news/317456> (дата звернення 10.10.2023).
8. Afi Tag pedometer sensors. URL: <https://agro-apeks.all.biz/datchiki-shagomery-afitag-g2169458> (дата звернення 10.10.2023).
9. Milk meter for precise measurement of milk yield. URL: <https://uvt.com.ua/krs/doenie/afimilk-mpc-molokomer/> (дата звернення 12.10.2023).
10. Dairy Farm Automation. URL: <https://www.afimilk.com/parlor-automation/> (дата звернення 12.10.2023).
11. Afi Lab milk analyzer. URL: <https://www.wei-zur.com/en/producto/afilab/> (дата звернення 12.10.2023).
12. Afi Weigh cow weighing system. URL: <https://md.all.biz/sistema-vzveshivaniya-korov-afiweigh-g2169448KZ> (дата звернення 20.11.2023).
13. Виявлення маститу. URL: <https://www.afimilk.com/parlor-automation/>(дата звернення 20.11.2023).
14. Як проявляється мастит у корови. URL: <https://www.cargill.co.in/en/mastitis-in-cows-causes,-symptoms,-prevention-and-treatment#>: (дата звернення 20.11.2023).
15. Виявлення кетозу. URL: <https://www.afimilk.com/parlor->

automation/(дата звернення 20.11.2023).

16. Репродуктивна патологія ВРХ. Особливості лабораторної діагностики. URL: <http://milkuia.info/uk/post/reproduktivna-patalogia-vrh-osoblivosti-laboratornoi-diagnostiki> (дата звернення 20.11.2023).

17. Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28987825/> (дата звернення 8.12.2023).

18. MLX90614ESF-BAА-000-TU Melexis Technologies NV. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/mlx90614esf-baa-000-tu_103820.html. (дата звернення 8.12.2023).

19. Pulse sensor EASY TO USE HEART RATE SENSOR &KIT. URL: <https://www.digikey.pl/htmldatasheets/production/3024658/0/0/1/pulse-sensor-datasheet.html> (дата звернення 8.12.2023).

20. Цифровий датчик пульсу та рівня SpO₂, MAX30102 MH-ET LIVE, I2C (144602). URL: https://gsm-komplekt.ua/product/67033/?gclid=Cj0KCQiAgK2qBhCHARIsAGACuznlbtLYzWNVeta5-CGtJwguSOU_uQQf6YZV_bZd5VVCxtcR0-Ot3loaAjf-EALw_wcB (дата звернення 8.12.2023).

21. Модуль AD8232 для ЕКГ. URL: <https://arduino.ua/ru/prod4139-modul-ad8232-dlya-ekg> (дата звернення 8.12.2023).

22. Акселерометр GY-291 ADXL345. URL: <https://arduino.ua/ru/prod2516-3-osevoi-akselerometr-gy-291-adxl345> 3-осьовий акселерометр GY-291 ADXL345 (дата звернення 8.12.2023).

23. Модуль датчика прискорення та гіроскопа MPU6050 GY-521. URL: <https://hobbytech.com.ua/product/modul-datchika-uskoreniya-mpu6050/> (дата звернення 8.12.2023).

24. Adafruit LIS3DH Triple-Axis Accelerometer. URL: <https://raspberrypi.com.ua/p/adafruit-lis3dh-triple-axis-accelerometer-2g4g8g16g/> (дата звернення 8.12.2023).

25. Grove - GSR Sensor. URL: https://wiki.seeedstudio.com/Grove-GSR_Sensor/ (дата звернення 8.05.2023).

26. GPS трекер wetrack2. URL: <https://evel.ua/catalog/aksessuari/oborudovanie/gps-treker-wetrack2/> (дата звернення 8.12.2023).

27. Менеджмент отелення: як розуміти температуру тіла корови. URL: <https://dairynews.today/news/menedzhment-otyela-kak-ponimat-temperaturu-telako.html#> (дата звернення 15.12.2023).

28. Який пульс у тварин: норма та відхилення. URL: <https://fsnslr.su/faq/kakoi-puls-u-zivotnykh> (дата звернення 15.12.2023).