

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Кіберфізична система «розумна годівничка» на базі контролера ESP32

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 2302132.23.02.18 ПЗ

Виконав здобувач III курсу, група КІ2с-23-2


Підпис

Андрій ЗЕМЛЯК
Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Володимир ГРИГА
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Сергій ЛИСЕНКО
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«9» червня 2026 р.

дата

Хмельницький 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІІС

 Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Земляку Андрію Вікторовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система «розумна годівничка» на базі контролера ESP32

Керівник проекту (роботи) Грига Володимир Михайлович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Аналіз предметної області автоматизованого годування домашніх тварин та постановка задачі розроблення кіберфізичної системи «Розумна годівничка»

Проектування кіберфізичної системи «Розумна годівничка» на базі контролера ESP32, визначення її апаратної структури, алгоритмів керування та принципів функціонування

Програмно-апаратна реалізація та перевірка працездатності кіберфізичної системи «Розумна годівничка»

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Архітектура ПЗ проекту

Схема електрична принципова

Схема програмно-апаратної взаємодії

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – проектування кіберфізичної системи «Розумна годівничка»	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація та перевірка роботи системи	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач


Підпис

Андрій ЗЕМЛЯК

Імя, ПРІЗВИЩЕ



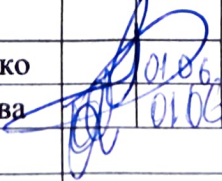

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Володимир ГРИГА

Імя, ПРІЗВИЩЕ

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 2302132.23.02.18 ПЗ	Пояснювальна записка	62		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 2302132.23.02.18 Е8	Архітектура ПЗ проєкту	1		
3		КвРКІ 2302132.23.02.18 Е8	Схема електрична принципова	1		
4		КвРКІ 2302132.23.02.18 Е8	Схема програмно-апаратної взаємодії	1		

Зм	Арж	№ докум	Під пис	Дата	КвРКІ 2302132.23.02.18 ВП			
Розробив		Земляк		01.06	Відомість проєкту	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Грига		01.06		У	1	1
Н. контр.		Лисенко		01.06	ХНУ, КІ2с-23-2			
Затв.		Павлова		01.06				

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система «розумна годівничка» на базі контролера ESP32».

Автор роботи: Андрій ЗЕМЛЯК.

Керівник роботи: Володимир ГРИГА.

Пояснювальна записка: 62 с., 15 рис., 5 табл., 3 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ГОДУВАННЯ, ВЕБІНТЕРФЕЙС, ДОЗУВАННЯ КОРМУ, ESP32, FASTAPI, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ, REACT, РОЗУМНА ГОДІВНИЧКА, СЕНСОРНИЙ КОНТРОЛЬ.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню кіберфізичної системи «Розумна годівничка» на базі контролера ESP32, призначеної для автоматизації процесу годування домашніх тварин. Актуальність теми зумовлена потребою у стабільному дотриманні режиму годування та зменшенні залежності цього процесу від постійної присутності власника.

Метою роботи є проектування, програмно-апаратна реалізація та перевірка кіберфізичної системи автоматизованого годування домашніх тварин, яка забезпечує подачу корму за заданими параметрами, передавання даних про стан пристрою та керування режимами годування через вебінтерфейс. У роботі спроектовано структуру кіберфізичної системи «Розумна годівничка», визначено принципи взаємодії між апаратним рівнем, серверною частиною та користувацьким інтерфейсом.



Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Аналіз предметної області та постановка задачі розроблення кіберфізичної системи розумна годівничка.....	6
1.1 Актуальність використання кіберфізичних систем у сфері автоматизованого годування домашніх тварин	6
1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення для побудови кіберфізичної системи розумна годівничка	10
1.3 Постановка задачі	15
1.4 Висновки до першого розділу.....	16
2 Проектування кіберфізичної системи розумна годівничка на базі контролера esp32	18
2.1 Визначення мети та встановлення вимог до проєктованої кіберфізичної системи	18
2.2 Розроблення загальної структури та принципів функціонування системи.....	21
2.3 Схема електрична принципова кіберфізичної системи «Розумна годівничка»	25
2.4 Монтажна схема проєктованої кіберфізичної системи	29
2.5 Висновки до другого розділу.....	35
3 Реалізація та перевірка функціонування кіберфізичної системи «Розумна годівничка».....	37
3.1 Реалізація середовища спостереження за станом годівнички та тварини.....	37
3.2 Реалізація керуючих дій та адаптивних режимів роботи годівнички....	41
3.3 Реалізація персоналізованих налаштувань тварини та розкладу годування	46
3.4 Реалізація графічного простеження змін стану системи в часі.....	51
3.5 Реалізація аналітичного узагальнення результатів роботи системи.....	55

КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	
Виконав		Земляк Андрій		01.06	
Перевір.		Грига Володимир		01.06	
Н.контр.		Сергій Лисенко		01.06	
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		01.06	
Кіберфізична система “Розумна годівничка” на базі мікроконтролера ESP32. Пояснювальна записка			Літера	Аркуш	Аркушів
			у	2	62
			ХНУ КІ2с-23-2		

3.6 Перевірка працездатності системи в характерних сценаріях функціонування.....	59
3.7 Висновки до третього розділу	62
Висновки.....	64
Перелік джерел посилань	66
ДОДАТОК А Копія креслення «Архітектура ПЗ проєкту».....	72
ДОДАТОК Б Копія креслення «Схема електрична принципова».....	73
ДОДАТОК В Копія креслення «Схема програмно-апаратної взаємодії».....	74

ВСТУП

Сучасні побутові пристрої дедалі частіше доповнюються засобами автоматизації, сенсорного контролю та мережевої взаємодії. Це стосується не лише промислових або комунальних систем, а й сфери догляду за домашніми тваринами, де важливими є регулярність виконання щоденних дій, точність дозування корму та можливість контролю стану пристрою без постійної присутності власника.

Одним із таких напрямів є розроблення розумних годівничок, які можуть виконувати подачу корму за заданим режимом, відстежувати стан окремих компонентів і передавати інформацію користувачу через програмний інтерфейс. Ручне годування домашніх тварин не завжди забезпечує стабільний режим харчування, оскільки залежить від графіка власника, його присутності вдома та можливості своєчасно проконтролювати кількість виданого корму. У разі нерегулярного годування може виникати порушення режиму харчування, надмірне або недостатнє споживання корму, а також складність контролю за фактичним виконанням годування.

Тому для побутових умов доцільним є використання автоматизованого пристрою, який поєднує механізм подачі корму, мікроконтролерне керування, сенсорний контроль і програмні засоби взаємодії з користувачем. Для реалізації такої системи доцільно застосовувати підхід кіберфізичних систем, у яких фізичний об'єкт, апаратні компоненти та програмна логіка працюють як єдине середовище. У випадку розумної годівнички фізичним процесом є подача корму, апаратна частина охоплює контролер, сенсори та виконавчий механізм, а програмна частина забезпечує оброблення даних, керування режимами роботи, передавання інформації та її відображення у вебінтерфейсі. Така структура дає змогу не лише виконувати годування за розкладом, а й контролювати стан системи та змінювати параметри її роботи відповідно до потреб користувача.

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Контролер ESP32 є придатною основою для побудови розумної годівнички, оскільки поєднує достатню обчислювальну продуктивність, підтримку бездротового зв'язку та можливість підключення сенсорів і виконавчих елементів. Завдяки цьому на його основі можна організувати збір даних про стан пристрою, керування сервоприводом або іншим механізмом подачі корму, а також обмін інформацією з серверною частиною. Наявність програмного інтерфейсу робить систему зручнішою для користувача, оскільки дозволяє переглядати стан годівнички, налаштовувати режим годування та контролювати виконання основних дій.

Актуальність теми зумовлена потребою у створенні доступної програмно-апаратної системи, яка автоматизує процес годування домашніх тварин і зменшує вплив людського фактора. Така система може бути корисною для власників тварин із нерівномірним графіком, для контролю регулярності годування, а також для подальшого розширення функціональності, зокрема додавання журналу подій, сповіщень, статистики споживання корму та адаптивних режимів роботи.

Практичне значення роботи полягає у створенні програмно-апаратного рішення, яке може використовуватися як основа для побутової системи автоматизованого годування домашніх тварин. Розроблена система дає змогу керувати подачею корму, контролювати стан годівнички, передавати дані між апаратною та програмною частинами, а також забезпечувати взаємодію користувача із системою через вебінтерфейс. Запропонований підхід може бути розширений шляхом додавання нових сенсорів, режимів годування, повідомлень про помилки та засобів аналітики.

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗРОБЛЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНА ГОДІВНИЧКА

1.1 Актуальність використання кіберфізичних систем у сфері автоматизованого годування домашніх тварин

Сучасний розвиток побутової автоматизації суттєво змінює підходи до організації догляду за домашніми тваринами, раніше більшість процесів, повністю залежала від постійної участі людини, то сьогодні більшого поширення набувають пристрої, здатні самостійно виконувати окремі функції контролю, дозування, моніторингу та передавання інформації користувачу [14]. Такий напрям є особливо актуальним для міського середовища, де власники тварин часто мають нерівномірний графік роботи, тривалий час перебувають поза домом і не завжди можуть дотримуватися режиму годування, що створює стабільний попит на технологічні рішення автоматизації [1, 2].

Проблема автоматизованого годування не обмежується лише побутовою зручністю. Регулярність подачі корму, точність визначення порції та можливість контролю фактичного споживання мають важливе значення для підтримання нормального фізичного стану тварини, адже режим харчування повинен враховувати вік, масу тіла, рівень активності, індивідуальні особливості та можливі обмеження, пов'язані зі здоров'ям тварини [3, 6]. У випадку ручного годування ці фактори часто враховуються неточно, оскільки власник може визначати порцію інтуїтивно або змінювати час годування залежно від власного розкладу [4]. У результаті виникає ризик переїдання, недостатнього споживання корму або порушення сформованого режиму харчування [5].

Особливої уваги потребує проблема надмірної ваги у собак і котів, неконтрольоване харчування, відсутність стабільного режиму та помилки у визначенні обсягу порції можуть бути чинниками, які сприяють набору зайвої маси [7]. Для власників це означає необхідність точнішого контролю за кількістю корму, а для інженерних рішень відкриває потребу у створенні систем, здатних

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

не просто подавати їжу, а працювати з параметрами дозування, графіком і станом пристрою [8]. Саме тому автоматизована годівничка повинна розглядатися не як звичайний механічний контейнер із таймером, а як система керування фізичним процесом [9]. Найпростіші автоматичні годівнички здатні виконувати подачу корму у визначений час, однак їхня функціональність часто є обмеженою. Вони не контролюють залишок корму, не перевіряють результат виконаної дії, не фіксують помилки механізму та не забезпечують повноцінного зворотного зв'язку з користувачем [17]. У домогосподарствах із кількома тваринами або у випадках, коли тварина має спеціальний режим харчування, такі обмеження можуть знижувати ефективність пристрою, тому сучасні рішення орієнтуються на використання сенсорів, мікроконтролерів і мережевої взаємодії [18].

Кіберфізична система поєднує фізичні процеси, обчислювальні засоби та мережеву взаємодію в єдину структуру, у якій цифровий рівень безпосередньо впливає на поведінку фізичного об'єкта, що складаються з взаємопов'язаних фізичних і обчислювальних компонентів, що працюють разом для моніторингу та керування реальними процесами [9, 10]. У випадку розумної годівнички таким фізичним процесом є дозована подача корму, а цифровим рівнем виступають алгоритми, які аналізують стан системи та формують керуючі дії [11, 12].

Система годування має працювати за принципом замкненого контуру, сенсорна частина отримує дані про стан пристрою або середовища, мікроконтролер обробляє ці сигнали, програмна логіка перевіряє умови виконання дії, а виконавчий механізм реалізує фізичну подачу корму. Після цього система може знову отримати дані від сенсорів і оцінити, чи була дія виконана коректно [13]. Така структура керування є найкращою, оскільки передбачає наявність зворотного зв'язку та можливість реагування на нестандартні ситуації [10].

Структурно розумна годівничка може бути подана як сукупність апаратного, програмного та мережевого рівнів. Апаратний рівень охоплює сенсори, виконавчі пристрої, джерело живлення та мікроконтролер. Програмний

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

рівень відповідає за обробку даних, реалізацію алгоритму годування, збереження налаштувань і перевірку умов спрацювання. Мережевий рівень забезпечує обмін інформацією між пристроєм, серверною частиною та користувацьким інтерфейсом. Такий поділ відповідає сучасній логіці побудови IoT-рішень, у яких частина обчислень може виконуватися локально, частина на сервері, а частина у клієнтському застосунку [14, 15, 46]. Така структура дозволяє перетворити звичайну годівничку з таймером на повноцінний розумний пристрій, здатний реагувати на зміну умов [16].

Сенсорний рівень системи має особливе значення, адже він забезпечує зв'язок між фізичним середовищем і програмною логікою керування [15]. Для автоматизованого годування важливо контролювати не лише спрацювання механізму, а й умови, за яких виконується подача корму. До яких можна віднести наявність корму, орієнтовний рівень його залишку, параметри середовища або наближення тварини до пристрою. Використання сенсорів у подібних системах підвищує інформативність процесу та створює основу для більш точного керування, оскільки рішення приймається не лише за розкладом, а й з урахуванням фактичного стану годівнички [17, 18, 19].

Виконавча частина годівнички відповідає за виконання фізичної дії, тобто подачу корму у визначений момент і в потрібному обсязі [17]. Важливо щоб механізм дозування був достатньо простим, керованим і придатним до повторюваного виконання однотипних операцій. Повторюваність дії є важливою частиною, адже користувач очікує, що система буде стабільно підтримувати заданий режим без постійного ручного втручання [18, 19].

Перевагою кіберфізичної годівнички є можливість перейти від жорсткого розкладу до гнучкого керування. На відміну від найпростіших автоматичних пристроїв, така система може враховувати не лише час годування, а й загальний стан пристрою, результати попередніх операцій, залишок корму та наявність можливих відхилень у роботі. Що корисно для історії годувань, повідомлень про

нестандартні ситуації, подальшого аналізу споживання та адаптації режиму під конкретні потреби тварини [19, 20].

Сучасні IoT-рішення вже не обмежуються локальним виконанням команд, оскільки користувач очікує отримувати актуальну інформацію про стан системи та мати змогу змінювати її параметри без безпосереднього доступу до пристрою, а через доступ до інтернету [14]. Для розумної годівнички це означає можливість передавання даних про режим годування, стан з'єднання, системні повідомлення та результати виконаних дій [15]. Тому мережевий рівень є важливою складовою кіберфізичної системи, він забезпечує взаємодію між апаратною частиною, програмною логікою та користувачем [16, 21].

Оскільки така взаємодія передбачає передавання службових даних і команд керування, для підключених пристроїв важливо враховувати базові вимоги до кібербезпеки, зокрема захист доступу, цілісність налаштувань і безпечну обробку даних [47].

Користувацький інтерфейс у системах такого типу виконує не лише допоміжну, а й контрольну функцію, через нього можна отримувати інформацію про поточний стан годівнички, перевіряти регулярність годування, оцінювати наявність помилок і змінювати налаштування. Відображення даних підвищує зручність системи, адже автоматизація стає зрозумілим та керованим інструментом [17].

Отже, аналіз актуальності та загальних функціональних особливостей кіберфізичної системи автоматизованого годування домашніх тварин показує, що система повинна забезпечувати не лише механічну подачу корму, а й контроль стану процесу, можливість обміну даними та зручну взаємодію з користувачем. Поєднання моніторингу, мікроконтролерного керування, виконавчого механізму, мережевої взаємодії та програмного інтерфейсу доводить актуальність та потреби автоматизованої системи розумної годівнички [20, 21].

1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення для побудови кіберфізичної системи розумна годівничка

Розроблення кіберфізичної системи автоматизованого годування домашніх тварин потребує коректного вибору апаратних і програмних засобів. Від простого механічного пристрою з таймером, система повинна поєднувати сенсорний контроль, локальну обробку даних, керування виконавчим механізмом, мережевий обмін і зручний інтерфейс користувача. Тому аналіз програмно-апаратного забезпечення є важливим етапом проєктування, адже від вибору компонентів залежить точність дозування, стабільність роботи, можливість розширення та практична придатність майбутньої системи [22].

У сучасних IoT-рішеннях для автоматизації побутових процесів головне місце займає мікроконтролерна платформа, яка виконує функцію керуючого вузла, який приймає сигнали від сенсорів, обробляє їх, формує команди для виконавчих елементів і забезпечує зв'язок із програмною частиною. Контролер має мати достатню кількість інтерфейсів введення-виведення, підтримувати бездротовий зв'язок, забезпечувати роботу з таймерами [23].

Найкращі платформи для реалізації подібної системи це Arduino Uno, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi Pico та окремі STM32. Arduino Uno є простим і зручним для прототипування, але має обмежений обсяг пам'яті та не містить вбудованого бездротового зв'язку [24]. ESP8266 підтримує Wi-Fi і підходить для простих IoT-проєктів, однак поступається ESP32 за кількістю периферійних можливостей і обчислювальною продуктивністю [25]. Raspberry Pi Pico має достатню швидкодію, проте для мережевої взаємодії потребує додаткових модулів [26], а ESP32 є найбільш збалансованим рішенням, оскільки поєднує бездротову комунікацію, достатню продуктивність, підтримку периферії [22, 23]. Порівняння платформ наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння мікроконтролерних платформ для кіберфізичної системи автоматизованого годування

Критерія	Arduino Uno	ESP8266	ESP32
Основне призначення	Навчальне прототипування	Просто Wi-Fi IoT-проекти	IoT/CPS пристрої
Частота процесора	16М Гц	До 160 МГц	До 240 МГц
Кількість ядер	1	1	1
Оперетивна пам'ять	Дуже обмежена	Обмежена	До 520 КБ
Wi-Fi	Немає	є	є
PWM/GPI	Базовий рівень	Достатній	Широкий вибір
Доцільність для системи годівнички	Низька	середня	висока

З таблиці 1.1 видно, що ESP32 має найкраще співвідношення між функціональністю, доступністю та простотою інтеграції у побутову кіберфізичну систему [25, 27]. Ключовою архітектурною перевагою є наявність вбудованого модуля бездротового зв'язку, що підтримує стандарти Wi-Fi та Bluetooth, включаючи енергоефективний протокол BLE [49]. Що дозволяє реалізувати надійний дистанційний моніторинг, безперервний обмін даними із сервером та віддалене керування пристроєм у режимі реального часу без необхідності ускладнювати апаратну схему.

Окрім комунікаційних можливостей, платформа володіє значним запасом обчислювальної потужності завдяки двоядерній архітектурі та високій тактовій частоті, що є важливим для забезпечення паралельного виконання завдань, а саме для підтримки стабільного мережевого з'єднання та швидкого опитування сенсорної підсистеми. Наявність широкого спектра апаратних інтерфейсів, таких

як GPIO, ADC, PWM, I2C, SPI та UART, створює гнучку й універсальну основу для підключення будь-яких необхідних компонентів., зовнішній вигляд ESP32 зображено на рисунку 1.1.

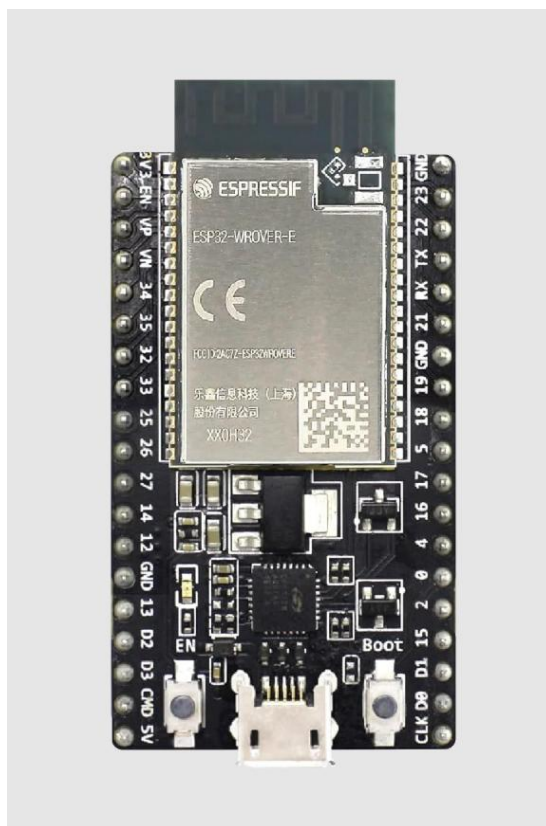


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд плати ESP32-DevKitC [23]

Сенсорна підсистема є другим важливим рівнем кіберфізичної годівнички. Вона відповідає за отримання інформації про фізичний стан пристрою та середовища. Для контролю маси корму доцільно застосовувати тензодатчик у поєднанні з HX711, оскільки цей модуль є 24-бітним аналого-цифровим перетворювачем, орієнтованим на вагові системи й роботу з мостовими сенсорами [28]. Це дозволяє оцінювати кількість корму в ємності або мисці та формувати більш точні сценарії дозування.

Для контролю рівня корму або води може використовуватися ультразвуковий датчик HC-SR04. Він забезпечує безконтактне вимірювання відстані в діапазоні приблизно від 2 до 400 см, що робить його придатним для визначення рівня заповнення резервуара [29]. Датчик DHT22 або AM2302 дає

зможу отримувати дані про температуру та вологість, що може бути корисним для контролю умов зберігання корму [30]. PIR-датчик HC-SR501 може застосовуватися для виявлення руху або наближення тварини до зони годування, оскільки він реагує на зміну інфрачервоного випромінювання в зоні спостереження [31, 48]. Такі сенсори створюють основу для зворотного зв'язку, без якого годівничка залишалася б звичайним таймерним пристроєм.

Виконавча частина системи відповідає за фізичну подачу корму, для невеликої побутової конструкції доцільним є застосування сервоприводу, який може відкривати або закривати заслінку дозувального механізму. Мікросерво SG90 є поширеним варіантом для прототипування завдяки невеликим розмірам, простоті керування та можливості обертання приблизно на 180 градусів [32]. Для формування керуючих сигналів такого типу в ESP32 може використовуватися апаратна генерація PWM, що забезпечує зручне керування положенням сервоприводу в межах алгоритму дозування [50].

У разі потреби підвищеного крутного моменту може застосовуватися потужніший сервомеханізм [33], для базової моделі розумної годівнички SG90 є достатнім і простим для інтеграції, приклад прототипу системи рисунок 1.2.

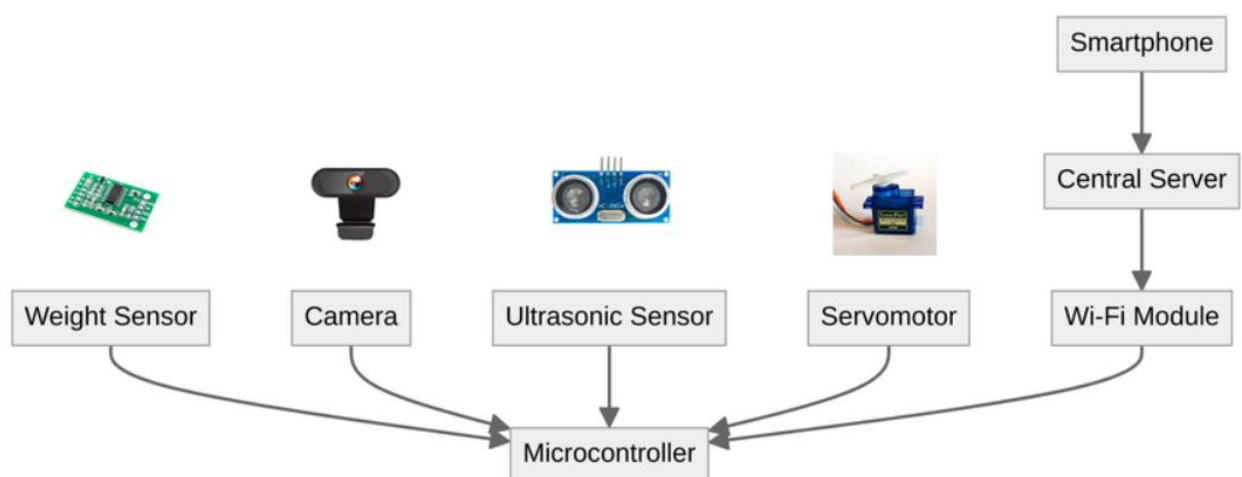


Рисунок 1.2 – Приклад прототипу з мікроконтролером, сенсорами та механізмом подачі корму [17]

Програмна частина кіберфізичної системи повинна забезпечувати не лише обробку команд, а й передачу даних між апаратним рівнем, сервером і

користувацьким інтерфейсом. Локальне керування має забезпечувати виконання критичних дій навіть у разі короткочасних проблем зі зв'язком, тоді як серверна частина відповідає за прийом телеметрії, збереження налаштувань, обробку команд і передачу актуального стану користувачу. Саме тому програмну архітектуру доцільно будувати за багаторівневим принципом, де кожен рівень виконує окрему роль.

Для обміну даними в IoT-системах застосовується MQTT. Це відкритий стандарт обміну повідомленнями, побудований за моделлю publish/subscribe, який призначений для середовищ із обмеженими ресурсами та потребою в легкому передаванні повідомлень [34]. MQTT зручний для взаємодії між пристроями та брокером повідомлень, однак для вебінтерфейсу, де потрібно миттєво відображати зміни стану, практичним рішенням є WebSocket [35].

Серверна частина може бути реалізована різними засобами, Node-RED зручний для швидкого прототипування та візуального зв'язування потоків даних, адже це low-code інструмент для подійно-орієнтованих застосунків [39]. Firebase Realtime Database забезпечує синхронізацію даних між клієнтами в режимі реального часу та підтримує роботу за відсутності з'єднання [40]. AWS IoT Core орієнтований на масштабовані IoT-рішення та підтримує MQTT і HTTPS [41, 42]. Проте для власної реалізації з контролем логіки роботи, API та WebSocket-обміну зручно використовувати FastAPI, оскільки він має вбудовані механізми для створення WebSocket і взаємодії з клієнтським застосунком [36].

Користувацький інтерфейс повинен бути достатньо простим, але інформативним, він має відображати стан годівнички, останні події, режим годування, повідомлення про помилки та інші дані, необхідні власнику. Для побудови такого інтерфейсу доцільно використовувати React, це дає змогу створювати компонентну структуру застосунку та керувати станом інтерфейсу за допомогою вбудованих хуків [37]. Для візуалізації телеметрії можна застосовувати Recharts, яка призначена для побудови графіків на основі React-компонентів [38]. Цей підхід дозволяє створити зручну панель спостереження за

роботою системи. Окреме значення має стабільність програмного середовища мікроконтролера. Використання FreeRTOS у складі ESP-IDF дозволяє організувати виконання кількох задач, пов'язаних із обробкою сенсорів, мережевим обміном і керуванням виконавчим механізмом [43]. Для організації бездротової взаємодії ESP-IDF надає засоби роботи з Wi-Fi [44]. Для контролю зависань і тривалого блокування задач можуть застосовуватися watchdog-механізми [45].

Отже, аналіз програмно-апаратного забезпечення показує, що побудова кіберфізичної системи розумної годівнички потребує поєднання мікроконтролерної платформи, сенсорів, виконавчого механізму, мережевого обміну, серверної логіки та користувацького інтерфейсу. Найкращою основою є ESP32, що поєднує бездротовий зв'язок, достатню продуктивність і підтримку необхідних периферійних інтерфейсів. Для сенсорного рівня доцільно використовувати вагові, ультразвукові, температурно-вологісні та інфрачервоні сенсори, а для виконавчого рівня сервомеханізм дозування. На програмному рівні оптимальним є поєднання FastAPI, WebSocket, React і засобів візуалізації телеметрії. Така архітектура створює основу для подальшого проектування та реалізації працездатного прототипу системи автоматизованого годування домашніх тварин.

1.3 Постановка задачі

На основі аналізу предметної області та сучасних програмно-апаратних рішень встановлено, що актуальною задачею є розробка кіберфізичної системи автоматизованого годування домашніх тварин. Система повинна поєднувати апаратні засоби контролю, мікроконтролерне керування, виконавчий механізм подачі корму та програмний інтерфейс для взаємодії з користувачем.

Головною метою кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи розумна годівничка на базі контролера ESP32, призначеної для

автоматизованого дозування корму, моніторингу стану пристрою та керування режимами годування домашніх тварин.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати завдання:

- 1) визначити функціональні вимоги до системи;
- 2) проаналізувати апаратні компоненти та програмні технології для реалізації системи;
- 3) обґрунтувати вибір контролера ESP32 як основи кіберфізичної системи;
- 4) розробити загальну архітектуру взаємодії апаратної частини, серверної логіки та користувацького інтерфейсу;
- 5) спроектувати алгоритм автоматизованої подачі корму;
- 6) реалізувати програмні модулі для керування, обробки даних і візуалізації стану системи;
- 7) провести тестування розробленого прототипу та перевірити сценарії роботи.

Поставлена задача передбачає розроблення рішення, яке може бути застосоване в побутових умовах та відповідає принципам побудови кіберфізичних систем. Що створює основу для подальшого проектування системи, визначення її ключових модулів, розроблення алгоритмів керування та реалізації програмного забезпечення. У результаті виконання роботи має бути створений функціональний прототип, який демонструє можливість застосування кіберфізичного підходу для автоматизації процесу годування домашніх тварин.

1.4 Висновки до першого розділу

Проведений аналіз предметної області підтвердив актуальність та доцільність розроблення кіберфізичної системи автоматизованого годування домашніх тварин. Ручне годування та найпростіші автоматичні годівнички не завжди забезпечують належну регулярність, точність дозування та контроль

стану процесу. Застосування кіберфізичного підходу дозволяє поєднати фізичний пристрій, сенсорний контроль, мікроконтролерне керування та програмну взаємодію з користувачем в єдину систему.

Аналіз програмно-апаратних засобів показав доцільність використання контролера ESP32 як основи розроблюваної системи. Такий вибір обґрунтовується підтримкою бездротового зв'язку, достатніми обчислювальними можливостями, наявністю необхідних інтерфейсів для підключення сенсорів і виконавчих механізмів, а також придатністю платформи до створення компактних IoT-рішень. Розглянуті програмні технології дають змогу організувати обмін даними, відображення стану пристрою та зручну взаємодію користувача із системою.

Отже, сформульовано постановку задачі кваліфікаційної роботи та визначено основні напрями подальшої розробки, які охоплюють проєктування архітектури системи, вибір апаратних компонентів, розроблення алгоритмів керування, реалізацію програмних модулів і перевірку працездатності створеного прототипу. Отримані результати створюють основу для подальшого проєктування системи розумної годівнички.

Тому доцільно перейти від загального обґрунтування до визначення конкретної структури системи, її апаратних вузлів та програмних підсистем. При цьому потрібно врахувати зв'язок між сенсорами, контролером ESP32, механізмом дозування, серверною частиною та інтерфейсом користувача. Такий підхід дає змогу послідовно описати роботу системи від отримання даних про стан годівнички до формування керуючої дії. Подальше проєктування має забезпечити узгодження функціональних вимог із технічними рішеннями, які будуть використані під час реалізації прототипу.

2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНА ГОДІВНИЧКА НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА ESP32

2.1 Визначення мети та встановлення вимог до проєктованої кіберфізичної системи

Проєктування кіберфізичної системи автоматизованого годування домашніх тварин потребує чіткого визначення мети, функціонального призначення та вимог до майбутнього рішення. На відміну від звичайного пристрою з фіксованим таймером, розумна годівничка повинна поєднувати фізичний механізм подачі корму, сенсорний контроль, мікроконтролерне керування та програмну взаємодію з користувачем. Саме тому на етапі проєктування важливо визначити не лише склад апаратних компонентів, а й принципи обробки даних, логіку роботи системи, способи передавання інформації та вимоги до зручності використання.

Метою проєктування є створення кіберфізичної системи «Розумна годівничка» на базі контролера ESP32, яка забезпечує автоматизовану подачу корму домашній тварині відповідно до заданого режиму, дає змогу контролювати стан пристрою та забезпечує взаємодію з користувачем через програмний інтерфейс. Проєктована система має бути орієнтована на побутове використання, тому вона повинна мати зрозумілу логіку роботи, достатню надійність, можливість налаштування основних параметрів годування та потенціал для подальшого розширення.

У межах проєктування система розглядається як сукупність взаємопов'язаних рівнів. Фізичний рівень охоплює ємність для корму, механізм дозування, сенсорні елементи та виконавчий пристрій. Керуючий рівень представлений мікроконтролером ESP32, який відповідає за приймання даних від сенсорів, виконання алгоритму керування та формування сигналів для механізму подачі корму. Програмний рівень забезпечує обробку інформації, передавання стану системи, збереження параметрів і взаємодію з

користувацьким інтерфейсом. Такий поділ дозволяє розглядати процес годування як керований інформаційно-фізичний процес, у якому цифрова логіка безпосередньо впливає на роботу фізичного пристрою.

До функціональних вимог проєктованої системи належить можливість автоматизованої подачі корму за заданим розкладом або командою користувача. Система повинна підтримувати налаштування часу годування, визначення обсягу порції та запуск механізму дозування відповідно до обраного режиму. Важливою вимогою є отримання інформації від сенсорів, що дозволяє контролювати стан годівнички та враховувати фізичні параметри пристрою під час виконання алгоритму. Також необхідно забезпечити передавання актуального стану системи до програмного інтерфейсу, щоб користувач міг бачити основні параметри роботи та своєчасно реагувати на нестандартні ситуації.

Окремою функціональною вимогою є підтримка ручного керування. Навіть за наявності автоматичного режиму користувач повинен мати можливість ініціювати подачу корму вручну, змінити налаштування або перевірити поточний стан пристрою. Такий підхід підвищує гнучкість системи та дозволяє використовувати її в різних побутових сценаріях. Крім того, система повинна фіксувати основні події роботи, зокрема час подачі корму, стан механізму дозування та можливі повідомлення про помилки. Це створює основу для подальшого аналізу роботи пристрою та розширення функціональності.

Нефункціональні вимоги визначають якість роботи системи та її придатність до практичного використання. До них належать стабільність функціонування, достатня швидкість реагування на команди, зручність користувацького інтерфейсу, можливість масштабування та простота подальшої модернізації.

Оскільки система належить до побутових IoT-рішень, важливими є також енергоефективність, коректна обробка помилок, надійність передавання даних і захист доступу до керуючих функцій. Пристрій повинен працювати

передбачувано, не запускати механізм подачі корму в некоректних умовах і зберігати працездатність у разі короткочасних збоїв або втрати зв'язку. Перелік вимог до проєктованої кіберфізичної системи наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні вимоги до проєктованої кіберфізичної системи «Розумна годівничка»

Група вимог	Зміст вимог
Функціональні	Автоматизована подача корму за розкладом або командою користувача
Параметри годування	Налаштування часу спрацювання та обсягу порції
Сенсорний контроль	Отримання даних про стан годівнички та перевірка умов виконання подачі
Ручне керування	Можливість ініціювання годування, зміни налаштувань і перегляду стану пристрою
Інформаційна взаємодія	Передавання актуальних даних до програмного інтерфейсу
Безпека керування	Обмеження некоректного запуску механізму та захист доступу до керуючих функцій
Масштабованість	Можливість подальшого розширення функціоналу та додавання нових модулів

Під час встановлення вимог необхідно враховувати, що розумна годівничка працює у фізичному середовищі, де можливі відхилення в роботі сенсорів, нестабільність мережевого з'єднання, зміна рівня корму та механічні обмеження дозувального вузла. Тому логіка керування має передбачати перевірку стану системи перед виконанням основної дії. Якщо дані сенсорів свідчать про відсутність корму, помилку вимірювання або некоректний стан виконавчого механізму, система повинна не виконувати дію неконтрольовано, а сформувати відповідне повідомлення для користувача.

Важливою вимогою до програмного рівня є забезпечення зрозумілої взаємодії з користувачем. Інтерфейс повинен відображати поточний стан годівнички, останні події, режим роботи, дані сенсорів і повідомлення про можливі відхилення. Надмірне ускладнення інтерфейсу є небажаним, оскільки система орієнтована на побутове використання. Тому користувацька частина має бути простою, інформативною та достатньо зручною для швидкого налаштування режимів годування.

З урахуванням визначених вимог проєктована кіберфізична система повинна забезпечувати узгоджену взаємодію між апаратною та програмною складовими. Апаратна частина відповідає за отримання даних і виконання фізичної подачі корму, а програмна частина забезпечує обробку інформації, реалізацію логіки керування та відображення стану системи. Такий підхід створює основу для подальшого проєктування архітектури, визначення основних модулів, розроблення алгоритму функціонування та практичної реалізації системи.

2.2 Розроблення загальної структури та принципів функціонування системи

Загальну структуру кіберфізичної системи сформовано за модульним принципом, що передбачає розмежування сенсорної, керуючої, виконавчої, комунікаційної та користувацької складових. Така організація забезпечує чіткий розподіл функцій між окремими вузлами системи, спрощує логіку їх взаємодії та створює можливість подальшого розширення функціоналу без повної перебудови архітектури.

Центральним елементом системи є контролер ESP32, який виконує функцію керуючого вузла. Він приймає сигнали від сенсорних модулів, здійснює первинне опрацювання отриманих даних, формує керуючі впливи для виконавчого механізму та забезпечує бездротовий обмін із програмною

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

частиною. ESP32 виступає зв'язувальною ланкою між фізичними компонентами годівнички та цифровим середовищем керування.

Структура системи охоплює кілька взаємопов'язаних рівнів. Фізичний рівень включає корпус годівнички, резервуар для корму, механізм дозування, сенсорні елементи та зону видачі порції. Керуючий рівень реалізується на базі ESP32 і відповідає за приймання вхідних сигналів, перевірку стану системи та формування команд для виконавчих елементів. Комунікаційний рівень забезпечує передавання даних між контролером і серверною частиною. Користувацький рівень призначений для перегляду стану пристрою, налаштування режимів годування та ручного керування через програмний інтерфейс. Загальну структурну схему наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема кіберфізичної системи

Сенсорна підсистема відповідає за отримання інформації про фактичний стан годівнички та умови її роботи. До її складу передбачено включити модулі,

які дають змогу контролювати масу корму, рівень заповнення резервуара, параметри навколишнього середовища та факт наближення тварини до зони годування. Дані, отримані від сенсорів, передаються до ESP32 і використовуються для перевірки поточного стану системи перед виконанням основної дії. Для визначення кількості корму передбачено використання тензодатчика в поєднанні з модулем HX711.

Такий вузол дає змогу відстежувати зміну маси корму та застосовувати ці дані під час контролю обсягу виданої порції. Рівень корму в резервуарі може визначатися за допомогою ультразвукового датчика HC-SR04, який оцінює відстань до поверхні корму.

Датчик температури й вологості DHT22 використовується для контролю умов зберігання корму, а PIR-датчик HC-SR501 для фіксації наближення тварини до годівнички. Сукупність наведених сенсорних засобів формує інформаційну основу для оцінювання поточного стану пристрою та прийняття керуючих рішень під час автоматизованого годування.

Виконавча підсистема забезпечує фізичну подачу корму. У базовій конструкції передбачено використання сервоприводу, який змінює положення заслінки або іншого дозувального елемента. Контролер ESP32 формує керуючий сигнал для сервоприводу відповідно до закладеного алгоритму роботи. Це дає змогу відкривати канал подачі на визначений проміжок часу або змінювати положення заслінки за заданим сценарієм, забезпечуючи повторюваність операції годування.

Контролер, сенсорні модулі та виконавчий механізм мають різні вимоги до напруги й струму, тому під час проєктування передбачається стабільне електроживлення всіх апаратних вузлів. Особливої уваги потребує сервопривід, оскільки під час його спрацювання виникає короткочасне збільшення навантаження. Схему взаємодії апаратних компонентів із контролером ESP32 наведено на рисунку 2.2.

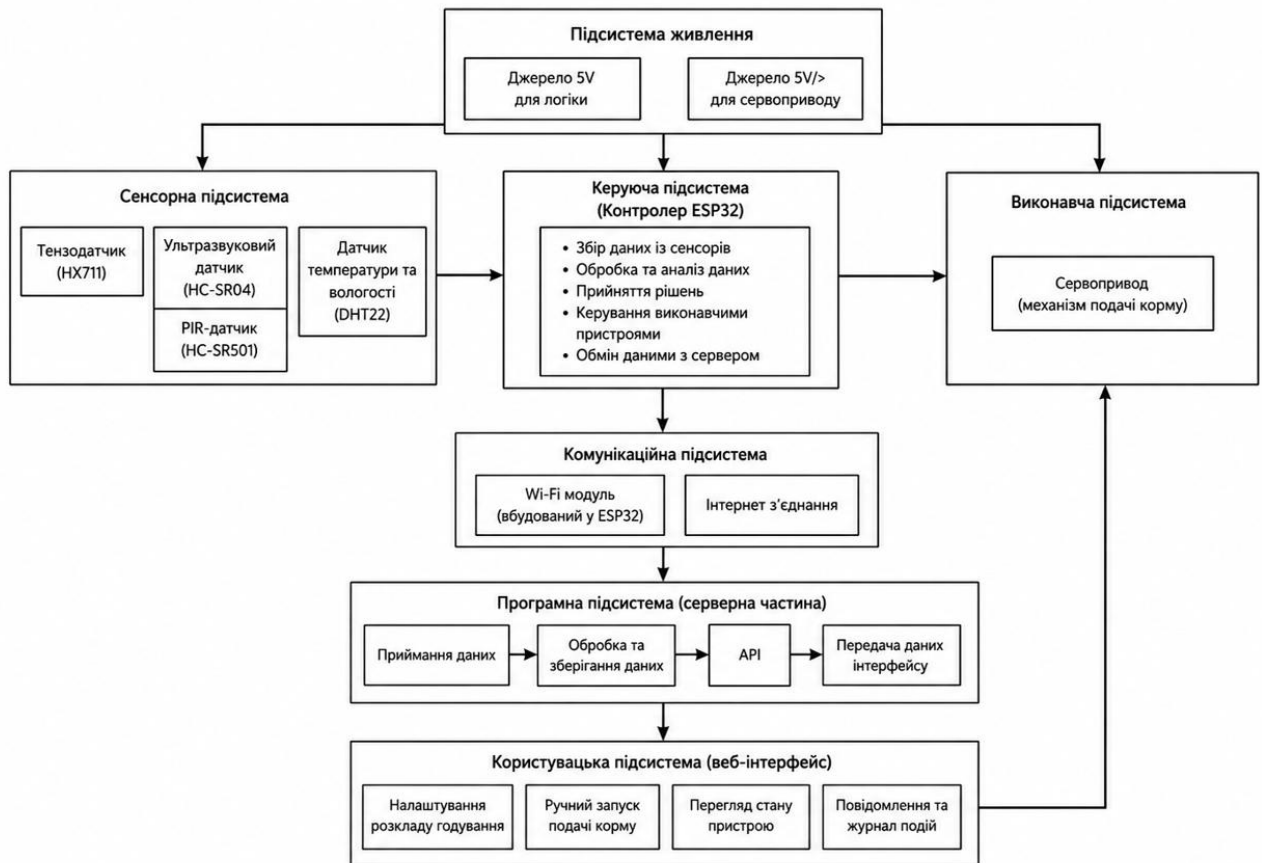


Рисунок 2.2 – Схема взаємодії апаратних компонентів із контролером ESP32

Апаратна частина працює за принципом замкненого контуру, спочатку сенсори зчитують параметри стану годівнички, після чого ESP32 виконує обробку даних і перевіряє умови виконання подачі корму. Якщо умови є коректними, контролер формує сигнал керування виконавчим механізмом. Після завершення дії система може повторно зчитати дані із сенсорів і визначити, чи була операція виконана правильно. Комунікаційна частина апаратної реалізації базується на використанні бездротового зв'язку. Завдяки цьому контролер може передавати інформацію про стан системи до серверної частини або отримувати команди від користувацького інтерфейсу. Така структура дозволяє не обмежувати роботу годівнички лише локальним керуванням, а забезпечити віддалений моніторинг і зміну основних параметрів роботи.

Для підвищення стабільності роботи апаратної частини потрібно передбачити програмний контроль стану основних модулів. У системі мають бути враховані ситуації помилки зчитування сенсорів, відсутності корму,

некоректного стану виконавчого механізму або втрати з'єднання. У таких випадках пристрій не повинен виконувати подачу корму неконтрольовано, а має сформувані відповідний стан або повідомлення для програмної частини.

Отже, апаратна реалізація кіберфізичної системи розумної годівнички передбачає поєднання контролера ESP32, сенсорної підсистеми, виконавчого механізму, блоку живлення та засобів бездротової взаємодії. Модульна структура забезпечує зрозумілу організацію апаратних зв'язків, спрощує подальше розширення системи та створює основу для реалізації алгоритмів автоматизованого годування домашніх тварин.

2.3 Схема електрична принципова кіберфізичної системи «Розумна годівничка»

Апаратна частина кіберфізичної системи має забезпечувати узгоджену роботу контролера, сенсорних модулів, виконавчого механізму та засобів живлення. Для цього під час проектування визначаються не лише функції окремих компонентів, а й характер електричних зв'язків між ними. Від правильності побудови цих з'єднань залежить стабільність зчитування даних, коректність формування керуючих сигналів і надійність фізичної подачі корму.

Схема електрична принципова відображає склад апаратних вузлів системи та порядок їх підключення. Вона дає змогу показати, яким чином мікроконтролер ESP32 взаємодіє із сенсорними елементами, сервоприводом і підсистемою живлення в межах єдиної конструкції. Така схема є основою для подальшого компонування пристрою та узгодження роботи всіх електронних модулів. Основним керуючим елементом системи є ESP32, до нього підключаються сенсори, які передають інформацію про стан годівнички, а також виконавчий пристрій, що забезпечує фізичну подачу корму. Контролер приймає вхідні сигнали, опрацьовує їх відповідно до заданої логіки та формує керуючі впливи для механізму дозування. Крім того, ESP32 підтримує бездротовий зв'язок, тому

в загальній архітектурі системи він виконує не лише функцію локального керування, а й забезпечує передавання даних до програмної частини.

До сенсорної частини системи входять модулі різного призначення, тензOMETричний датчик у поєднанні з модулем HX711 використовується для визначення маси корму. Такий вузол формує дані, на основі яких можна оцінювати залишок корму або контролювати зміну маси під час дозування. Модуль HX711 виконує перетворення слабкого сигналу тензодатчика у цифровий вигляд, придатний для подальшого опрацювання контролером ESP32. Ультразвуковий датчик HC-SR04 передбачено для оцінювання рівня корму в резервуарі. Він працює за принципом визначення відстані до поверхні об'єкта, тому його можна використати для виявлення зменшення запасу корму. Якщо відстань до поверхні стає більшою за встановлене значення, система може сформулювати повідомлення про необхідність поповнення резервуара.

Для контролю умов зберігання корму використовується датчик DHT22, який вимірює температуру та вологість повітря. Такі дані є важливими для загального моніторингу стану пристрою, оскільки надмірна вологість або несприятлива температура можуть впливати на умови зберігання сухого корму. Датчик HC-SR501 призначений для фіксації наближення тварини до годівнички. Його дані можуть використовуватися під час ведення журналу подій або як додатковий сигнал у сценаріях роботи системи.

Виконавчим елементом розумної годівнички є сервопривід, який керує положенням заслінки чи іншого дозувального механізму. Коли контролер приймає рішення про подачу корму, він формує керуючий сигнал, після чого сервопривід переводить механізм у потрібне положення. Через це реалізується фізичне відкривання каналу подачі корму на визначений час або за заданим сценарієм. Такий підхід дозволяє організувати кероване дозування без складної механічної конструкції. У схемі необхідно врахувати, що мікроконтролер, датчики та сервопривід мають різні режими споживання електроенергії. Сенсорні модулі створюють відносно невелике навантаження, тоді як

сервопривід під час спрацювання може короткочасно споживати значно більший струм. Саме тому структура живлення повинна забезпечувати стабільну роботу всіх компонентів і не допускати перезавантаження ESP32 у момент активації виконавчого механізму. Схему електричну принципову наведено на рисунку 2.3.

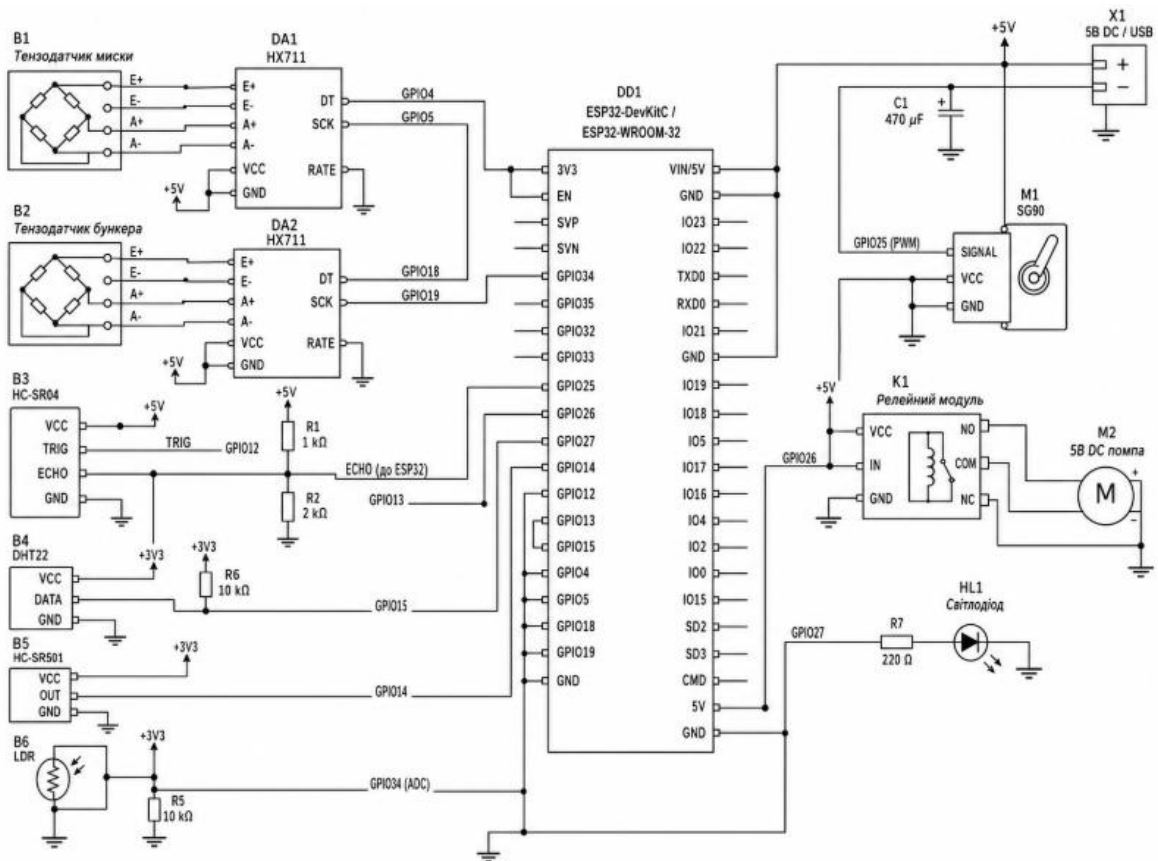


Рисунок 2.3 – Схема електрична принципова кіберфізичної системи «Розумна годівничка»

На рисунку 2.3 відображено електричні зв'язки між основними вузлами системи. У центральній частині розташовано контролер ESP32, до якого підключено сенсорні модулі та сервопривід. З боку входних сигналів показано вузол HX711 із тензодатчиком, ультразвуковий датчик HC-SR04, датчик температури й вологості DHT22, а також PIR-датчик HC-SR501. З боку керуючих виходів відображено сервопривід, що відповідає за роботу механізму подачі корму. Схема показує не лише склад апаратної частини, а й логіку проходження сигналів.

Сенсори формують інформаційні сигнали, що надходять до ESP32. Контролер опрацьовує їх і, залежно від поточного режиму, формує команду для виконавчого механізму. Завдяки цьому в межах однієї електричної структури поєднуються збір даних, їх локальне використання та безпосередня фізична дія. Саме така взаємодія є базовою для кіберфізичної системи, де цифровий алгоритм впливає на перебіг реального процесу.

Така побудова відображає головний принцип роботи кіберфізичної системи: цифрова логіка, реалізована на рівні контролера, керує фізичними процесами та реагує на зміни стану пристрою. Основні електричні з'єднання між компонентами системи, а також їхнє функціональне призначення узагальнено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Призначення основних електричних з'єднань у кіберфізичній системі

Елемент системи	З'єднання з контролером ESP32	Функціональне призначення
HX711 із тензодатчиком	Лінії передавання даних і синхронізації	Отримання значень маси корму
HC-SR04	Лінії запуску вимірювання та приймання відбитого сигналу	Визначення рівня корму в резервуарі
DHT22	Цифрова лінія даних	Контроль температури та вологості
HC-SR501	Цифровий вихідний сигнал	Фіксація наближення тварини
Сервопривід	Керуючий сигнал від ESP32	Керування дозувальним механізмом
Блок живлення	Лінії живлення	Забезпечення стабільної роботи апаратних вузлів

Сенсори забезпечують надходження даних, сервопривід виконує керуючу дію, а підсистема живлення створює умови для стабільної роботи всіх вузлів. Завдяки такому поділу апаратна частина залишається зрозумілою, а її подальше розширення або модифікація може виконуватися без повного перегляду всієї схеми. Тензодатчик і HC-SR04 дають змогу отримувати інформацію про стан корму, DHT22 і HC-SR501 доповнюють дані про умови роботи пристрою, а сервопривід реалізує фактичну подачу порції. Взаємодія цих модулів через ESP32 створює технічну основу для запуску годування за розкладом, виконання ручних команд і формування повідомлень про нестандартні ситуації.

Контролер не лише приймає значення від датчиків, а й використовує їх для прийняття рішення щодо подальших дій. Наприклад, за відсутності корму або за наявності некоректних даних із сенсорів запуск сервоприводу не повинен відбуватися. Такий підхід дає змогу підвищити надійність системи й зменшити ймовірність неконтрольованої роботи механізму.

Отже, схема електрична принципова відображає апаратну основу кіберфізичної системи «Розумна годівничка» та демонструє взаємозв'язок між контролером ESP32, сенсорними модулями, сервоприводом і підсистемою живлення. Запропонована побудова забезпечує збір даних про стан пристрою, виконання фізичної подачі корму.

2.4 Монтажна схема проєктованої кіберфізичної системи

Під час проєктування кіберфізичної системи важливо визначити не лише склад електронних компонентів, а й їхнє розміщення в межах апаратної частини пристрою. Від порядку компонування залежить зручність складання системи, коректність підключення модулів, простота подальшого налаштування та можливість технічного обслуговування.

У складі розумної годівнички передбачено керуючий модуль ESP32, сенсорні елементи, виконавчий механізм подачі корму та систему живлення. На

монтажній схемі ці компоненти розташовуються відповідно до їхнього призначення та характеру взаємодії. Контролер займає центральне місце, оскільки до нього підключаються всі основні інформаційні та керуючі лінії. Таке розміщення спрощує організацію з'єднань і дає змогу чітко розділити сенсорну та виконавчу частини системи.

Сенсорні модулі розташовуються з урахуванням ділянки, стан якої вони контролюють. Тензодатчик із модулем HX711 пов'язується із зоною вимірювання маси корму. Ультразвуковий датчик HC-SR04 орієнтується на внутрішній простір резервуара, де відстежується рівень його заповнення. Датчик DHT22 розміщується поблизу відсіку з кормом для контролю температури та вологості. PIR-датчик HC-SR501 встановлюється в зоні можливого наближення тварини до годівнички. Таке розташування сенсорів відповідає їхнім функціям і забезпечує отримання даних саме з тих частин пристрою, які є важливими для роботи системи.

Сервопривід розміщується біля дозувального механізму. Його положення має забезпечувати передавання руху до заслінки або іншого елемента, що відкриває канал подачі корму. У проєктованій конструкції він виконує механічну дію за командою контролера, тому його розташування обирається так, щоб забезпечити надійне спрацювання дозувального механізму й не ускладнювати доступ до інших елементів конструкції.

Лінії електроживлення повинні бути розведені так, щоб забезпечувати стабільну роботу контролера, сенсорів і виконавчого механізму. Оскільки сервопривід під час спрацювання створює підвищене навантаження, його підключення не повинно впливати на працездатність ESP32 та інформаційних модулів. Монтажну схему наведено на рисунку 2.4.

Контролер має бездротові інтерфейси, достатню кількість входів і виходів для підключення периферії, а також придатний для роботи у вбудованих системах, де потрібно одночасно отримувати сигнали, виконувати локальну логіку й обмінюватися даними із зовнішнім програмним рівнем. Оскільки

Під час оцінювання вибраних апаратних рішень важливо враховувати не лише призначення окремих компонентів, а й те, яку роль вони відіграють у системі в цілому. В таблиці 2.3 подано обґрунтування вибору з урахуванням потреб проєкту.

Таблиця 2.3 – Обґрунтування вибору апаратних рішень для розумної годівнички

Апаратне рішення	Причина вибору
ESP32	Поєднує керування периферією, підтримку бездротового зв'язку та достатню кількість інтерфейсів для проєкту
HX711 із тензодатчиком	Підходить для контролю маси корму та перевірки зміни ваги під час роботи системи
HC-SR04	Дозволяє оцінювати рівень корму без прямого контакту з ним
DHT22	Дає можливість відстежувати температуру і вологість у зоні зберігання корму
HC-SR501	Фіксує рух біля годівнички та розширює сценарії спостереженн
Сервопривід	Забезпечує просте керування заслінкою дозувального механізму
Підсистема живлення	Підтримує стабільну роботу контролера, сенсорів і виконавчого механізму

Кожен елемент закриває конкретну потребу системи: контролер забезпечує керування, сенсори формують інформацію про фізичний стан пристрою, сервопривід виконує механічну дію, а живлення підтримує роботу всієї конструкції. Такий підхід дозволяє зберегти баланс між функціональністю й складністю майбутнього пристрою. Кожен сенсор відповідає за інший тип

інформації, тому їх спільне використання формує повнішу картину стану годівнички. Це важливо для системи, де механізм подачі корму не повинен працювати ізольовано від фактичних умов. Зчитування маси, рівня запасу, параметрів середовища й руху біля пристрою створює основу для більш гнучкої логіки керування, яка буде деталізована на етапі реалізації.

Програмний рівень проєкту сформовано навколо потреби в стабільному обміні між фізичним пристроєм і користувачем. У наявних напрацюваннях передбачено серверну частину на FastAPI, вебінтерфейс на React, а також використання механізмів передавання даних у реальному часі. Така побудова відповідає ідеї розумної годівнички як системи, де користувач не тільки задає параметри роботи, а й отримує актуальну інформацію про стан пристрою.

FastAPI підходить для серверної частини через можливість організувати обробку запитів, приймання даних від пристрою та взаємодію з інтерфейсом користувача. REST API може використовуватися для звичайних команд і налаштувань, наприклад зміни графіка годування або отримання збереженого стану.

WebSocket потрібен там, де важливо швидко показувати нові дані в інтерфейсі, зокрема зміни показників або факт виконання певної дії. MQTT придатний для легкого обміну короткими повідомленнями між вузлом на ESP32 і серверним рівнем. Разом ці засоби формують зручну модель зв'язку, у якій різні типи даних передаються відповідним способом.

Для користувацької частини обрано React. У межах цього проєкту важливо не лише показати кілька значень, а створити інтерфейс, де можна переглянути стан пристрою, змінити режим роботи, отримати повідомлення про події й побачити основні дані без зайвих дій. Компонентний підхід React добре підходить для такої структури, оскільки окремі частини сторінки можуть відповідати за окремі функції: налаштування, стан сенсорів, журнал подій і ручне керування. У таблиці 2.4 подано зв'язок між потребами розумної годівнички та інструментами, які підтримують виконання цих завдань.

Таблиця 2.4 – Відповідність програмних засобів функціям системи

Потреба системи	Обране рішення	Пояснення
Обробка запитів і керуючих команд	FastAPI	Формує серверний рівень і координує взаємодію між пристроєм та інтерфейсом
Отримання і передавання стандартних налаштувань	REST API	Підходить для звичайних операцій без постійного відкритого каналу
Оновлення стану інтерфейсу без затримок	WebSocket	Передає нові події та показники під час роботи системи
Легкий обмін короткими повідомленнями	MQTT	Підтримує телеметрію та керуючі повідомлення між пристроєм і сервером
Побудова вебінтерфейсу	React	Забезпечує зручну структуру сторінок і окремих блоків керування
Подання динамічних показників	Засоби візуалізації	Використовуються для відображення станів, подій і змін параметрів

Кожен програмний засіб виконує окрему роль у роботі системи. Серверна частина забезпечує приймання та опрацювання даних, протоколи обміну підтримують передавання команд і поточних повідомлень, а вебінтерфейс надає користувачу зручний спосіб керування годівничкою. Завдяки такому розподілу функцій програмний рівень не ускладнює роботу апаратної частини, а доповнює її, забезпечуючи віддалений контроль, налаштування режимів і відображення стану пристрою.

Вибір програмних рішень також враховує можливість подальшого розвитку системи. За потреби до неї можна додати нові режими годування, розширити набір відображуваних параметрів, змінити логіку сповіщень або доповнити інтерфейс новими засобами контролю. Така побудова не прив'язує проєкт до одного вузького сценарію використання й залишає простір для вдосконалення без повної перебудови програмної архітектури.

Отже, обрані апаратні та програмні рішення формують цілісну основу кіберфізичної системи «Розумна годівничка». Апаратна частина відповідає за контроль фізичного стану пристрою й виконання подачі корму, тоді як програмна складова забезпечує обмін інформацією, керування режимами роботи та взаємодію з користувачем. Поєднання цих рішень відповідає поставленим вимогам і дає змогу побудувати систему, у якій процес годування організований не як окрема механічна дія, а як керований і контрольований цикл.

2.5 Висновки до другого розділу

Визначено основні функціональні можливості кіберфізичної системи «Розумна годівничка» та вимоги до її роботи. Система орієнтована на автоматизовану подачу корму за заданими параметрами, підтримку ручного керування, контроль стану пристрою й передавання актуальної інформації користувачу. Окремо враховано потребу в коректній реакції на нестандартні ситуації, зокрема відсутність корму, збої сенсорів або порушення зв'язку з програмною частиною.

Розроблено загальну структуру системи, у якій поєднано сенсорну, керуючу, виконавчу, комунікаційну та користувацьку складові. Керування апаратними процесами передбачено реалізувати на базі ESP32. Контролер отримує дані від сенсорних модулів, обробляє їх, формує сигнали для механізму дозування та забезпечує взаємодію з програмним рівнем. Така побудова дозволяє

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

організувати годування як послідовний керований процес, у якому фізична дія залежить від отриманих даних і заданих умов.

Обґрунтовано вибір апаратних і програмних засобів. Для отримання даних про стан годівнички передбачено використання тензодатчика з модулем HX711, ультразвукового датчика HC-SR04, датчика температури та вологості DHT22 і PIR-датчика HC-SR501. Керування дозувальним механізмом планується виконувати за допомогою сервоприводу. Для програмної частини обрано FastAPI, REST API, WebSocket, MQTT і React, оскільки ці засоби підтримують обмін даними, віддалене керування та зручне відображення стану системи в інтерфейсі користувача.

Отже, визначено основу для створення кіберфізичної системи «Розумна годівничка». Сформовано її функціональну структуру, встановлено склад апаратних вузлів, опрацьовано електричне та монтажне компонування, а також обрано програмні засоби для організації керування й передавання даних.

На основі розробленої електричної принципової схеми уточнено взаємозв'язки між контролером ESP32, сенсорними модулями, виконавчим механізмом і вузлами живлення. Це дозволяє показати не лише загальний склад системи, а й реальний порядок підключення її елементів, що має важливе значення для подальшої програмно-апаратної реалізації. Окрему увагу приділено тому, щоб кожен компонент виконував власну функцію в загальній логіці роботи: сенсори передають дані про стан годівнички, контролер обробляє ці дані та приймає керуюче рішення, а сервопривід виконує фізичну дію з відкривання або закривання дозувального механізму. Завдяки цьому система набуває завершеної інженерної структури, у якій апаратна частина безпосередньо пов'язана з алгоритмами керування.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА ФУНКЦІОНУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНА ГОДІВНИЧКА»

3.1 Реалізація середовища спостереження за станом годівнички та тварини

У реалізованій кіберфізичній системі головна сторінка вебінтерфейсу виконує роль єдиного середовища, у якому користувач може одразу оцінити стан тварини, наявність корму й води, параметри навколишнього середовища, технічний стан мікроконтролерного вузла та останні події, зафіксовані під час роботи пристрою.

Такий підхід дає змогу не розділяти важливу інформацію між великою кількістю окремих сторінок, а подати її у вигляді узгодженої інформаційної панелі, що відображає поточну картину функціонування системи.

На практиці це особливо важливо для кіберфізичних рішень, де користувач має бачити не лише результат окремої дії, наприклад подачі корму, а взаємозв'язок між сенсорними даними, режимами автоматизації та фактичним станом об'єкта керування. У верхній частині робочого екрана розміщено назву системи, поточний час, день роботи та індикатор активного передавання даних через Server-Sent Events.

Для розумної годівнички така реалізація має практичне значення, оскільки зміна залишку корму, рівня води, стану тварини або записів у журналі подій повинна оперативно відображатися в інтерфейсі.

Вище основних інформаційних блоків передбачено смугу системного стану, яка в штатній ситуації повідомляє, що всі параметри перебувають у допустимих межах, а в разі критичної події може одразу привернути увагу користувача. Загальний вигляд головної панелі системи в нормальному режимі роботи наведено на рисунку 3.1.

✓ Все гаразд

Головна

Графіки

Аналітика

Налаштування

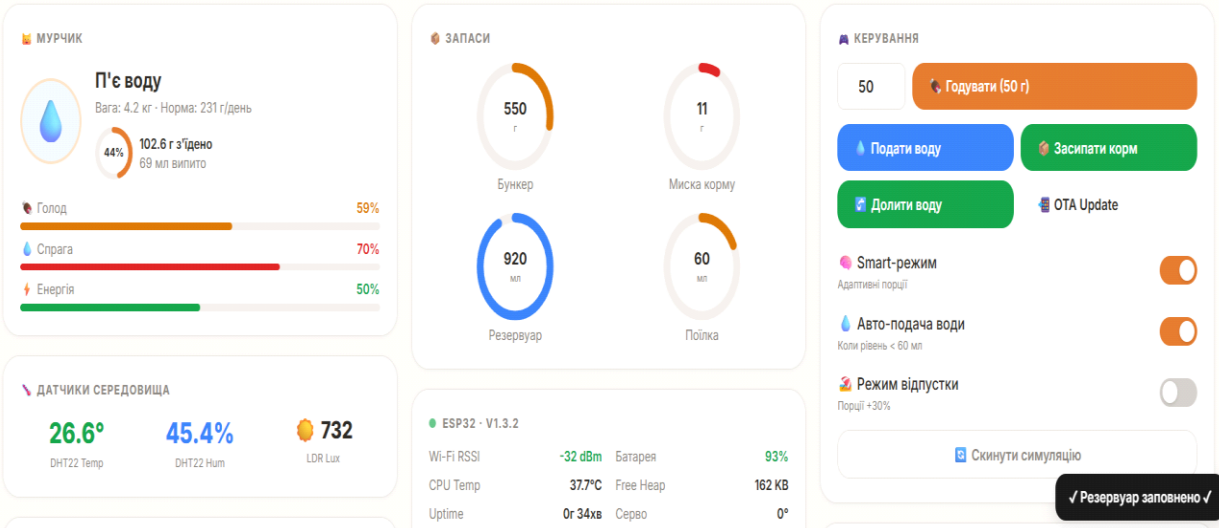


Рисунок 3.1 – Головна панель моніторингу кіберфізичної системи

Одним із центральних елементів головної сторінки є блок, присвячений стану домашньої тварини. У ньому відображаються ім'я, поточний поведінковий стан, маса тіла, розрахована добова норма корму, кількість уже спожитого корму й води, а також відсоткові індикатори голоду, спраги та енергії. Важливо, що цей блок не обмежується статичним набором цифр, а подає узагальнену картину поточного самопочуття тварини в межах логіки роботи системи.

Наприклад, у штатному стані тварина може перебувати в режимі відпочинку, а показники голоду й спраги залишаються помірними. За зростання рівня голоду інтерфейс змінює як текстовий статус, так і загальну оцінку стану, що дозволяє швидко зрозуміти, чи потребує ситуація втручання власника або реакції автоматичного режиму. Поряд із характеристикою тварини розміщено блок запасів, який відображає рівень корму в бункері, кількість корму в мисці, запас води в резервуарі та об'єм води в поїлці.

У контексті розумної годівнички ці показники є не другорядними, а функціонально важливими, оскільки саме на їх основі формується можливість

подачі корму й води, а при досягненні низьких залишків система може переходити до попереджувального або критичного стану. У поданому проєкті передбачено окремі пороги для корму, води, температури, заряду батареї та рівня голоду тварини, тому головна панель фактично виступає індикатором готовності комплексу до подальшої роботи.

Окремий інформаційний блок призначено для відображення даних із сенсорів середовища. У ньому показуються температура, відносна вологість повітря та рівень освітленості. Зміст цього блоку виходить за межі декоративного спостереження, адже параметри середовища можуть використовуватися в алгоритмах прийняття рішень.

У Smart-режимі підвищена температура враховується під час корекції рекомендованої порції корму, що дозволяє зробити подачу більш адаптивною до актуальних умов. Таким чином, сенсорні дані стають частиною керуючої логіки, а не лише довідковою інформацією для користувача. Саме цей принцип відрізняє кіберфізичну систему від звичайного електронного таймера, який виконує дію за розкладом без аналізу поточного контексту.

Додатково на головному екрані реалізовано блок стану мікроконтролерного вузла, де відображаються потужність Wi-Fi сигналу, температура процесора, рівень заряду батареї, обсяг вільної пам'яті, час безперервної роботи, положення сервоприводу, стан помпи та індикаторний світлодіод. Така група параметрів є важливою для практичного супроводу пристрою, оскільки користувач бачить не лише харчовий режим тварини, а й справність самої електронної платформи.

Наприклад, слабкий рівень бездротового сигналу або зниження батареї можуть вплинути на доступність віддаленого керування, а відображення стану сервоприводу й помпи допомагає оцінити, чи перебувають виконавчі механізми в очікуваному положенні. У підсумку цей блок поєднує діагностичну та експлуатаційну функції, що відповідає логіці кіберфізичного моніторингу.

У правій частині інтерфейсу розташовано журнал подій, який накопичує стислу історію дій і станів системи. До нього можуть потрапляти записи про пробудження тварини, подачу корму, споживання води, виникнення підвищеного голоду та інші події, що формуються в процесі функціонування годівнички. Завдяки цьому користувач отримує не лише моментальний знімок параметрів, а й часовий контекст їх зміни.

Якщо, наприклад, рівень корму в мисці зменшився, журнал дозволяє побачити, чи передувала цьому автоматична подача, чи тварина самостійно підійшла до годівнички й почала їсти. У більш широкому сенсі журнал подій забезпечує простежуваність роботи системи, що є важливою ознакою якісно реалізованого інтерфейсу керування. Реалізований головний екран підтримує також візуальну зміну повідомлень залежно від поточної ситуації.

Якщо стан тварини відповідає нормі, система відображає нейтральне повідомлення про відсутність проблем. У разі зростання рівня голоду або вичерпання корму в мисці інформаційна смуга змінює характер відображення й формує попередження для користувача. Такий механізм добре видно на прикладі, коли система сигналізує про стан тварини голодна, а супровідні показники блоку тварини демонструють підвищений рівень голоду й зниження рівня енергії. Відображення стану попередження про підвищений рівень голоду тварини наведено на рисунку 3.2.

Отже, у системі головна сторінка реалізована не як формальна стартова сторінка вебзастосунку, а як повноцінне оперативне середовище контролю поточного стану кіберфізичного комплексу. Вона поєднує дані про тварину, ресурси годівнички, параметри середовища, технічний стан ESP32, активність мережевого з'єднання та історію останніх подій. Завдяки цьому користувач може швидко оцінити загальний стан системи, помітити появу небажаних відхилень і підготуватися до виконання керуючих дій.

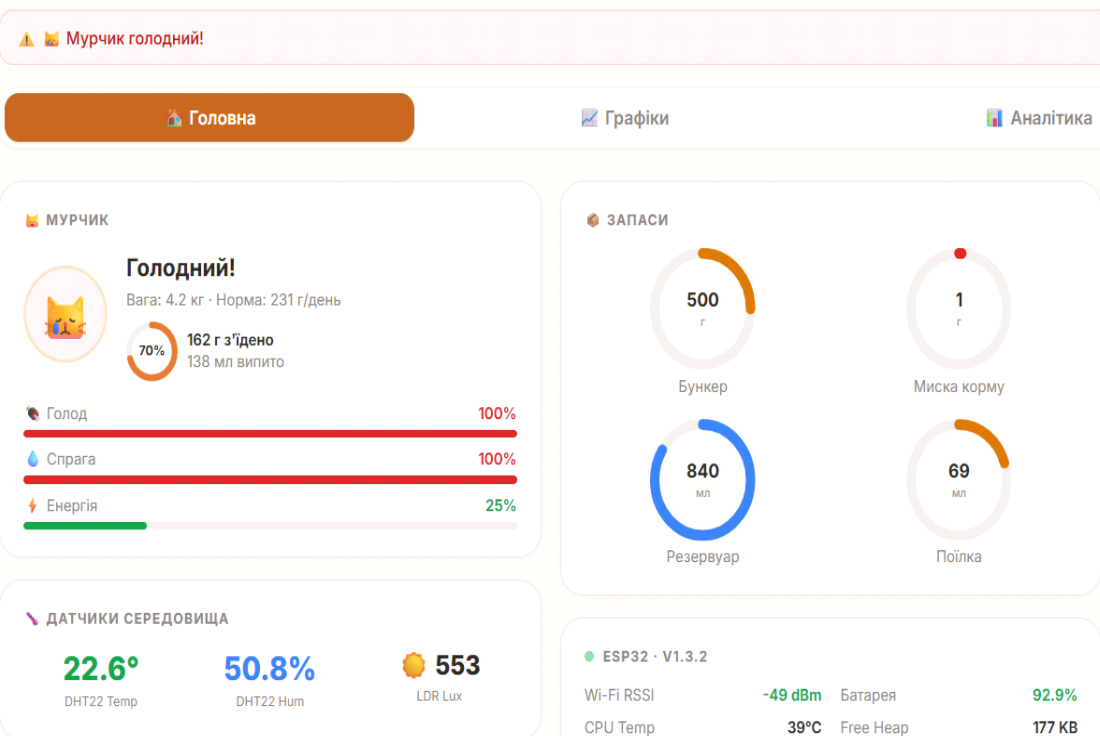


Рисунок 3.2 – Відображення попередження про підвищений рівень голоду тварини на головній панелі системи

3.2 Реалізація керуючих дій та адаптивних режимів роботи годівнички

Оперативне спостереження за станом годівнички має практичну цінність лише тоді, коли користувач або закладена програмна логіка можуть своєчасно впливати на перебіг процесу. Саме тому в розробленій системі поряд із моніторингом реалізовано окремий набір керуючих дій, через які здійснюється подача корму, наповнення поїлки, поповнення запасів, перемикання автоматичних режимів і повернення системи до початкового стану.

Усі ці функції зібрані в блоці керування головної сторінки, що дозволяє виконувати потрібну дію без переходу до додаткових екранів і водночас одразу оцінювати її наслідки за зміною показників у сусідніх інформаційних блоках. Така організація інтерфейсу добре відповідає характеру кіберфізичної системи, оскільки користувацька команда не завершується натисканням кнопки, а

приводить до зміни стану об'єкта керування, запасів, журналу подій і поточної оцінки стану тварини. У реалізованій панелі передбачено ручне годування з можливістю задати масу порції перед її видачею.

Користувач вводить кількість корму в грамах, після чого виконує команду подачі, така дія передається через окремий REST-запит, а у внутрішньому стані системи коригуються значення корму в бункері та мисці. Подібний механізм важливий для ситуацій, коли потрібно видати порцію поза стандартним розкладом, наприклад у відповідь на підвищений рівень голоду або зміну режиму догляду. Водночас інтерфейс не приховує наслідків цієї дії, адже після годування змінюються показники запасів, у журналі подій з'являється новий запис, а поведінковий блок тварини надалі відображає реакцію на доступний корм. У такий спосіб ручне керування пов'язується з даними моніторингу та не існує як ізольована формальна команда.

Окремо реалізовано ручну подачу води, яка дозволяє поповнити поїлку за потреби без очікування автоматичного спрацювання системи. Ця дія також формує зміну кількох взаємопов'язаних параметрів: обсяг води в резервуарі зменшується, рівень у поїлці збільшується, а надалі цей результат може впливати на поведінкову модель тварини. Для оператора це означає можливість реагувати на поточну ситуацію без зміни загальних налаштувань системи. Якщо спрага зростає, а автоматичний режим вимкнено, користувач може вручну подати воду й одразу перевірити результат у відповідних індикаторах.

Саме така побудова створює зрозумілу логіку безпосереднього втручання в роботу годівнички, коли цифровий інтерфейс виконує функцію дистанційної панелі керування фізичним пристроєм. На рисунку 3.3 наведено реалізований блок ручного й автоматизованого керування годівничкою.

Поряд із командами безпосередньої подачі корму й води передбачено функції поповнення внутрішніх ресурсів системи, де кнопка засипання корму дозволяє відновити рівень запасу в бункері, а команда доливання води збільшує обсяг рідини в резервуарі. Ці операції важливі не лише з погляду зручності

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

користувачького інтерфейсу. Вони відтворюють один із типових побутових сценаріїв використання автоматизованої годівнички, коли власник після вичерпання запасів поповнює резервуари, а система одразу повертається до штатного режиму роботи.

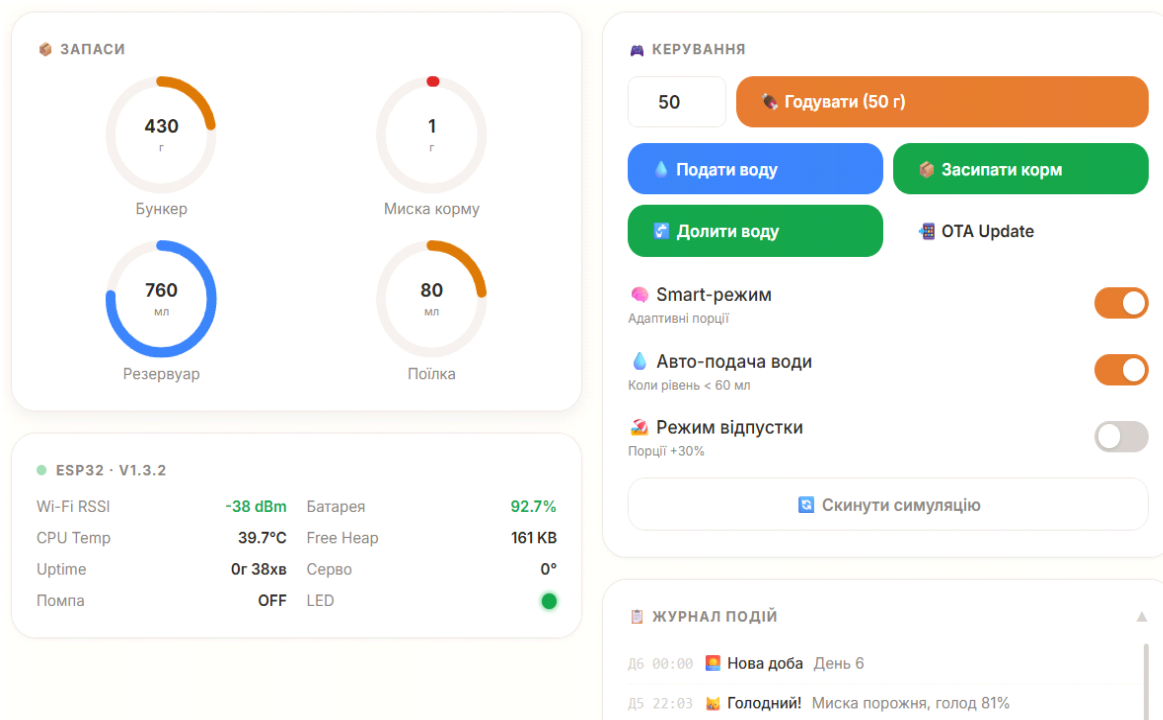


Рисунок 3.3 – Блок керуючих дій і режимів роботи кіберфізичної системи даних

Такі дії також пов’язані з системою попереджень, оскільки низький рівень корму або води здатен формувати повідомлення про небажаний стан. Після поповнення запасів відповідні сигнали втрачають актуальність, а основна панель знову відображає безпечний режим функціонування. Важливою частиною реалізації є не лише набір ручних команд, а й можливість активувати автоматичні алгоритми, що змінюють характер роботи годівнички.

Першим із них є Smart-режим, призначений для адаптивного визначення порції корму, логіка ґрунтується на поєднанні кількох факторів: маси тварини, добової норми, уже спожитої кількості корму, встановленої порції за розкладом, температури середовища та поточного рівня голоду. У межах реалізації добова потреба визначається як добуток маси тварини на нормативний коефіцієнт, після

чого система перевіряє, який залишок цієї норми ще не використано. Якщо добову межу вже досягнуто, додаткова подача корму не виконується. Якщо ж видача допустима, розмір порції може бути скоригований за умовою підвищеної температури або низької потреби в годуванні.

Таким чином, Smart-режим переводить систему від жорсткого часово-порційного керування до більш гнучкої моделі, у якій рішення приймається з урахуванням фактичного стану. Такий підхід особливо добре узгоджується з профілем тварини та розкладом, які налаштовуються в окремому розділі системи. Якщо для тварини змінюється вага, добова норма також перераховується, а Smart-режим отримує нові початкові умови для роботи. Це робить адаптивну логіку не формальним перемикачем, а складовою загальної моделі керування. Вона враховує користувацькі налаштування, поточні дані системи й обмеження, що не дозволяють видавати корм безконтрольно. З погляду структури дипломного проєкту саме цей режим найкраще демонструє інтелектуалізацію процесу годування, оскільки рішення формується не лише за задалегідь визначеним часовим тригером, а на основі перевірки кількох взаємопов'язаних умов.

Другим автоматичним режимом є авто-подача води, логіка зосереджена на підтриманні достатнього рівня рідини в поїлці. Якщо цей рівень опускається нижче встановленого порога й у резервуарі ще залишається вода, система активує помпу та поповнює миску на визначений обсяг у межах доступного запасу. Крім того, у моделі враховується зменшення кількості води під впливом підвищеної температури, що відображає практичну залежність між умовами середовища та швидкістю витрати ресурсу. Завдяки цьому авто-подача води діє не як разова команда, а як постійно доступний захисний механізм, який зменшує імовірність нестачі води в поїлці. Для користувача це відображається через перемикач режиму та через зміну показників у блоці запасів і стану тварини.

Наприклад, після подачі корму збільшується його кількість у мисці, зменшується залишок у бункері, у журналі подій фіксується відповідна дія, а стан

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

тварини надалі відображає процес споживання або зменшення рівня голоду. Після подачі води змінюється заповнення поїлки й оновлюється показник спраги. Така реакція системи є принциповою, оскільки підтверджує узгоджену роботу не лише командного інтерфейсу, а всього циклу дія користувача або алгоритму, зміна системного стану, відображення результату. У цьому проявляється одна з головних ознак кіберфізичної системи, де цифровий рівень пов'язаний із керуванням процесом і його подальшим контролем. Приклад відображення оновленого стану системи після виконання годування та подачі води наведено на рисунку 3.4.

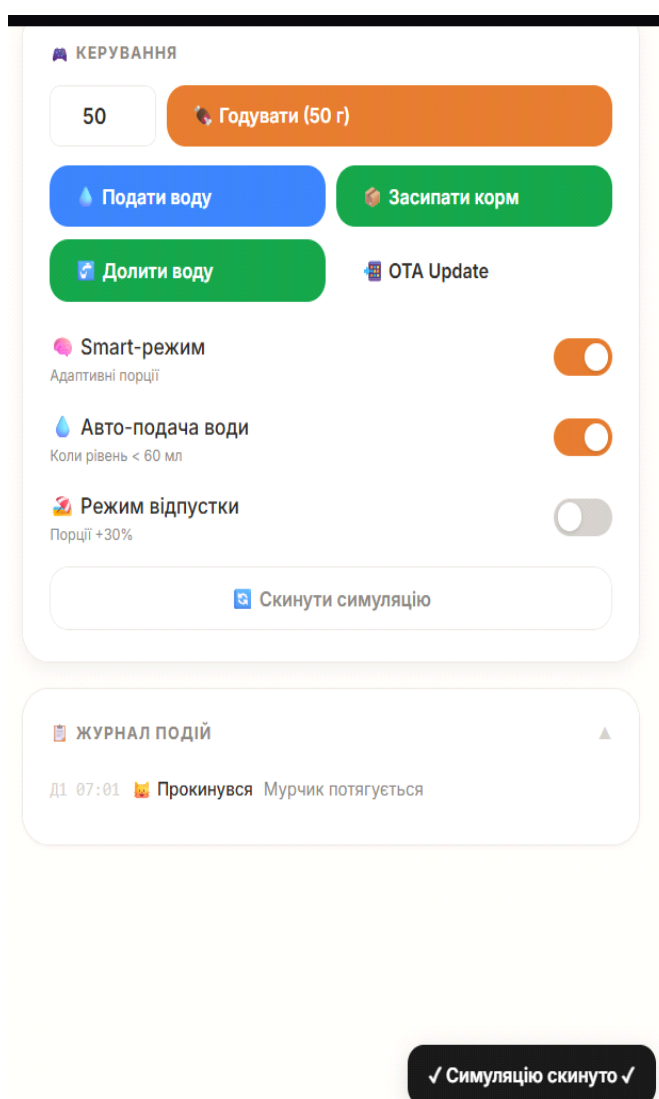


Рисунок 3.4 – Зміна показників годівнички й стану тварини після виконання керуючих дій

Реалізований блок керування також підтримує команду скидання системи до початкового стану, та потрібна для повернення всіх показників до вихідної конфігурації під час повторного запуску демонстраційного циклу або перевірки функціональності після серії виконаних операцій. Що дозволяє багаторазово відтворювати ключові сценарії функціонування без ручного приведення всіх значень до початкових параметрів. Така можливість спрощує тестування системи, допомагає демонструвати її поведінку в різних умовах і забезпечує логічну завершеність користувацького керування.

Оскільки обмін із сервером здійснюється через REST-команди, а актуальний стан надходить до інтерфейсу каналом SSE, результат скидання так само швидко відображається у всіх блоках головної панелі. Отже, у системі «Розумна годівничка» реалізовано повноцінне середовище керування, яке поєднує ручні дії, автоматичні режими й адаптивну логіку. Користувач може безпосередньо запускати годування, подавати воду, поповнювати запаси й відновлювати початковий стан системи, тоді як Smart-режим і авто-подача води забезпечують самостійне реагування на поточні умови. Додаткові можливості, зокрема режим відпустки та OTA Update, розширюють практичний потенціал розробки.

3.3 Реалізація персоналізованих налаштувань тварини та розкладу годування

У розробленій кіберфізичній системі «Розумна годівничка» передбачено окремий режим налаштувань, який дозволяє адаптувати логіку роботи комплексу до конкретної домашньої тварини та бажаного режиму її годування. Наявність такого модуля є важливою для практичного використання системи, оскільки автоматизована годівничка не повинна працювати лише за жорстко зафіксованими параметрами, однаковими для будь-якого користувача.

Вага тварини, її тип, добова потреба в кормі та часовий розподіл порцій безпосередньо впливають на коректність годування, тому ці характеристики винесено в окремий інтерфейс редагування. Завдяки цьому користувач може самостійно визначити вихідні умови, на основі яких надалі формуються як стандартний режим подачі корму, так і адаптивна логіка Smart-режиму. Сторінка налаштувань побудована так, щоб спочатку користувач задавав профіль тварини, а потім переходив до формування добового розкладу годування.

У профілі доступний вибір типу тварини, зокрема кіт або собака, введення імені та маси тіла. У демонстраційному прикладі обрано kota на ім'я Мурчик із вагою 4,2 кг. Після введення маси система автоматично відображає розраховану денну норму корму. Для kota ця норма становить 231 г на добу, що відповідає внутрішній логіці моделі, де денна потреба визначається через ваговий коефіцієнт.

Такий підхід зручний тим, що користувачу не потрібно самостійно перераховувати рекомендований добовий обсяг корму, а система одразу показує значення, яке в подальшому використовується для оцінювання виконання норми та корекції порцій в адаптивному режимі. Реалізований інтерфейс налаштування профілю домашньої тварини наведено на рисунку 3.5.

Особливістю є те, що він не виконує лише довідкову функцію, адже задані користувачем параметри безпосередньо впливають на поведінку системи. Ім'я тварини використовується в повідомленнях інтерфейсу та попередженнях, тому система не видає абстрактні повідомлення про стан умовного об'єкта, а звертається до конкретного профілю.

Маса тварини впливає на обчислення денної норми корму, яка надалі враховується під час аналітики споживання та в алгоритмі Smart-годування. Якщо вага змінюється, комплекс автоматично отримує нову нормативну основу для планування порцій. Така реалізація робить систему більш персоналізованою й переводить її з рівня простої симуляції дозатора до моделі індивідуального

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

цифрового супроводу режиму годування. Після заповнення профілю користувач може налаштувати добовий розклад подачі корму.

Розумна Годівничка
КФС на базі ESP32 - SSE - Симуляція

Головна

ПРОФІЛЬ ТВАРИНИ

Тип тварини: Кіт Собака

Ім'я тварини:

Вага (кг):

Денна норма: 231 г (55 г/кг для кіт)

РОЗКЛАД ГОДУВАННЯ

№	Час	Порція (г)
1.	<input type="text" value="07:30"/>	<input type="text" value="60"/>
2.	<input type="text" value="12:00"/>	<input type="text" value="50"/>
3.	<input type="text" value="18:30"/>	<input type="text" value="60"/>
4.	<input type="text" value="22:00"/>	<input type="text" value="40"/>

ПРО СИСТЕМУ

Архітектура КФС: ESP32 (edge) → FastAPI + SSE (fog) → React (cloud). 3-рівнева кіберфізична система.

Датчики: HX711 (тензодатчик ваги), DHT22 (T*/вологість), HC-SR501 (PIR рух), LDR (освітленість), HC-SR04 (ультразвук рівня води).

Smart-режим: Адаптує порції за вагою тварини (55 г/кг), денною нормою, рівнем голоду та температурою.

Масштаб часу: 1 реальна секунда = 3 хвилини симульованого часу (180x).

Рисунок 3.5 – Налаштування профілю домашньої тварини в кіберфізичній системі

У системі реалізовано кілька часових слотів, для кожного з яких задається конкретний момент спрацювання та маса порції. У наданому прикладі графік включає чотири годування протягом доби: о 07:30 видається 60 г корму, о 12:00 передбачено порцію 50 г, о 18:30 система подає 60 г, а о 22:00 ще 40 г. Сумарно

такий графік формує 210 г корму на день, що є близьким до розрахованої денної норми для заданої тварини. Користувач може відкоригувати час і кількість корму в кожному слоті, після чого зберегти оновлений розклад для подальшого використання системою. Редагування добового розкладу годування представлено на рисунку 3.6.

Вага (кг)
4,2
Денна норма: 231 г (55 г/кг для котів)
Зберегти профіль

РОЗКЛАД ГОДУВАННЯ

№	Час	Порція (г)
1.	07:30	60
2.	12:00	50
3.	18:30	60
4.	22:00	40

Зберегти розклад

Рисунок 3.6 – Налаштування добового розкладу автоматичної подачі корму

Запропонований механізм розкладу виконує роль основи для стандартного режиму роботи годівнички. У цьому режимі система орієнтується на заздалегідь визначені часові точки та видає встановлену порцію, якщо цьому не перешкоджають інші умови моделі. Такий сценарій є зрозумілим для користувача й добре підходить для звичного регулярного годування. Водночас розклад не існує ізольовано від інших модулів. Він пов'язаний із журналом подій, аналітикою споживання, графічним представленням добової динаміки та Smart-режимом. Коли годування спрацьовує за розкладом, подія потрапляє до журналу, змінюється кількість корму в бункері та мисці, а накопичені підсумки згодом відображаються в розділі аналітики.

У стандартному випадку годівничка може працювати за заданими порціями, однак після активування Smart-режиму ці самі часові події використовуються як початкові орієнтири, а фактичний обсяг видачі може коригуватися відповідно до актуального стану тварини. Система враховує залишок добової норми, уже спожиту кількість корму, рівень голоду й температуру середовища. Якщо добову потребу майже виконано, автоматична порція може бути зменшена або взагалі пропущена. Якщо умови свідчать про доцільність годування, комплекс використовує заданий розклад як основу для виконання подачі.

Такий підхід забезпечує поєднання передбачуваності класичного таймера з більш гнучкою поведінкою адаптивної кіберфізичної системи. На сторінці налаштувань також виведено стислий інформаційний блок, що пояснює загальну будову системи, перелік використаних сенсорів і принцип роботи Smart-режиму. У ньому зазначено трирівневу архітектуру комплексу, де ESP32 виконує функції edge-рівня, сервер FastAPI разом із SSE-обміном формує проміжний fog-рівень, а React-інтерфейс виступає клієнтським хмарним рівнем візуалізації.

Окремо перелічено основні сенсори, зокрема тензодатчики HX711, DHT22, PIR-датчик руху, LDR-фоторезистор та ультразвуковий сенсор рівня води. Для дипломного проєкту такий інформаційний блок має додаткову цінність, оскільки показує, що сторінка налаштувань не лише змінює користувацькі параметри, а й узагальнює функціональну логіку всього комплексу в доступному для сприйняття вигляді. Реалізація персоналізованих налаштувань робить систему придатною до моделювання різних сценаріїв використання.

Замість одного незмінного профілю користувач може змінити тип тварини, її вагу, добову норму та час годувань, після чого перевірити, як це вплине на роботу всієї годівнички. Така гнучкість важлива для дослідницької частини проєкту, оскільки дозволяє не лише демонструвати один наперед підготовлений приклад, а й відтворювати різні режими функціонування в межах тієї самої програмної моделі.

Отже, у системі «Розумна годівничка» реалізовано не лише спостереження за поточним станом і виконання керуючих команд, а й повноцінний механізм персоналізації роботи комплексу. Користувач може задати індивідуальні характеристики тварини, отримати автоматично розраховану денну норму корму, сформувати власний графік годування та зберегти його для подальшої роботи пристрою. Ці дані стають основою для стандартного й адаптивного режимів, впливають на інтерпретацію аналітичних показників і роблять систему більш близькою до реального побутового застосування.

3.4 Реалізація графічного простеження змін стану системи в часі

У кіберфізичній системі поточні числові показники, що відображаються на головній панелі, доповнено окремим засобом часової візуалізації. Для цього реалізовано сторінку графіки, яка дозволяє простежити, як змінюються параметри тварини, середовища та ресурсів годівнички впродовж роботи системи. Такий підхід є важливим, оскільки одноразове значення голоду, спраги, температури або залишку корму дає лише моментальний стан, тоді як графічне подання формує цілісніше уявлення про динаміку процесу.

Завдяки цьому користувач може не тільки бачити, що відбувається зараз, а й оцінювати, як система реагувала на годування, пиття, зміну умов середовища та перехід тварини між поведінковими станами. Сторінка графіків організована як окремий функціональний розділ вебінтерфейсу, у якому візуалізація поділена за змістовими групами. Користувач може переглядати дані, пов'язані із запасами, параметрами середовища, станом тварини та рівнем наповнення мисок. Така побудова не перевантажує екран одночасним показом усіх можливих сигналів, а дає змогу зосередитися на конкретному аспекті функціонування годівнички.

Якщо потрібно оцінити самопочуття тварини, достатньо перейти до графіків голоду, спраги й енергії. Якщо важливо простежити вплив

мікроклімату, користувач аналізує температуру та вологість. Якщо ж увага спрямована на фактичне споживання корму, корисним стає графік накопиченої кількості з'їденого за поточну добу.

Одним із основних елементів графічного модуля є візуалізація зміни поведінкових показників тварини. На відповідному графіку одночасно відображаються три лінії, які характеризують рівень голоду, рівень спраги та запас енергії. У процесі роботи системи ці значення не залишаються сталими.

Голод і спрага поступово зростають відповідно до закладеної моделі, тоді як енергія змінюється залежно від активності тварини та її поведінкового стану. Після годування або пиття графіки демонструють реакцію системи на виконану дію, що дозволяє візуально підтвердити причинно-наслідковий зв'язок між керуючими командами та оновленням модельованого стану тварини.

Саме тому графічне подання в цьому випадку виконує не декоративну, а аналітичну функцію, оскільки допомагає оцінити логічність роботи алгоритмів системи. Графічне відображення змін голоду, спраги та енергії тварини наведено на рисунку 3.7.

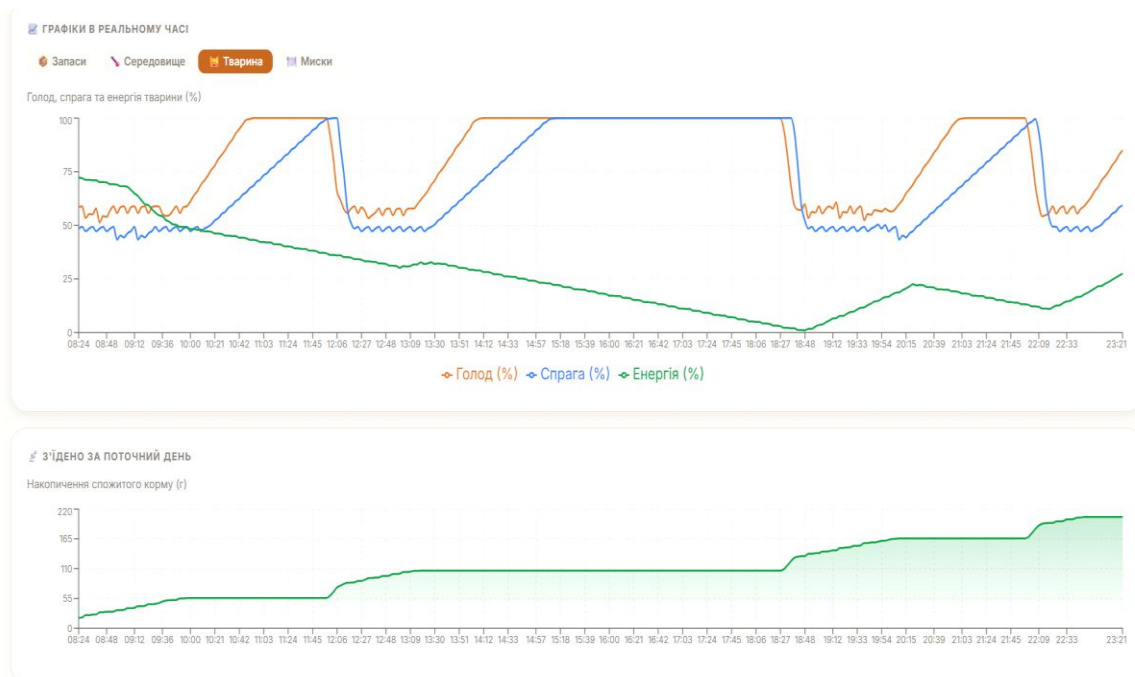


Рисунок 3.7 – Графічне простеження зміни голоду, спраги та енергії домашньої тварини

У проєкті передбачено SSE-потік /api/stream, який із малою часовою затримкою надсилає оновлені JSON-дані про функціонування годівнички. Клієнтський інтерфейс приймає ці значення та послідовно додає їх до наборів для побудови графіків. Завдяки цьому візуалізація формується не після завершення симуляції, а в режимі поступового накопичення телеметрії.

Для користувача це означає можливість спостерігати динаміку системи майже в реальному часі, тоді як для дипломного проєкту такий механізм підтверджує реалізацію безперервного цифрового супроводу стану кіберфізичного об'єкта.

Окремий графік присвячено накопиченню кількості корму, спожитого твариною протягом поточної доби. Він має особливе значення для оцінювання роботи Smart-режиму та розкладу годування, оскільки дозволяє зіставити фактичне споживання з розрахованою добовою нормою. Якщо годування відбувається кілька разів на день, графік поступово зростає після кожного епізоду споживання корму, даючи користувачу зрозуміле уявлення про те, наскільки активно виконується денний план. Така форма відображення є інформативнішою за одне підсумкове число, адже вона показує не лише кінцеву кількість корму, а й розподіл процесу споживання в часі. У разі зміни профілю тварини, ваги або графіка годування користувач може простежити, як ці налаштування впливають на практичну картину добового споживання. Поряд із поведінковими показниками тварини реалізовано графіки параметрів навколишнього середовища.

Система окремо відображає зміну температури та вологості, значення яких формуються відповідно до добової моделі мікроклімату. Температура коливається за синусоїдальним циклом, імітуючи зміну умов протягом дня, а вологість змінюється обернено до температури з додаванням незначної варіативності. Таке рішення дозволяє продемонструвати, що кіберфізична

система працює не у відриві від середовища, а враховує зовнішній контекст, який може впливати на алгоритми керування.

Зокрема, підвищена температура використовується в Smart-режимі для корекції порції корму, а в автоматичній подачі води враховується швидше зменшення її обсягу в поїлці за теплої погоди. Завдяки графікам ці залежності стають більш наочними, оскільки користувач може порівняти зміну кліматичних показників із поведінкою системи на інших інформаційних панелях. Візуалізацію температури, вологості та накопиченого споживання корму наведено на рисунку 3.8.

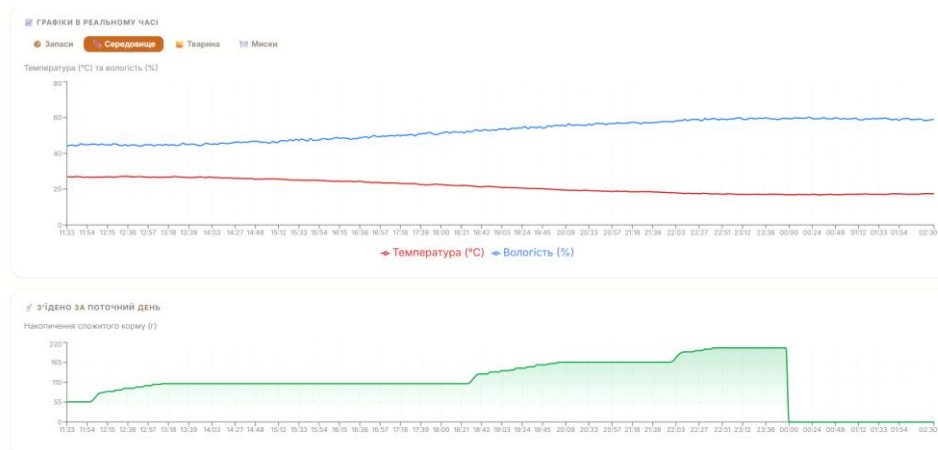


Рисунок 3.8 – Графічне подання параметрів середовища та накопиченого споживання корму за поточну добу

Змістовною перевагою графічного модуля є можливість простежити взаємозв'язок між різними підсистемами розумної годівнички. Наприклад, зростання голоду на графіку поведінкового стану може збігатися з появою системного попередження на головній сторінці, а після ручного чи автоматичного годування змінюється не лише поточне значення в картці стану тварини, а й траєкторія відповідної кривої на графіку.

Подібно до цього зміна температури відображається в екологічному графіку й одночасно може впливати на параметри адаптивного дозування корму або на швидкість зменшення води в поїлці. Саме завдяки такій взаємній

узгодженості графіки стають не окремим блоком, а засобом перевірки того, що дані, алгоритми та візуальна частина працюють у спільній логіці.

Якщо головна панель відповідає за оперативне спостереження й швидке розпізнавання поточного стану, то сторінка графіків дозволяє оцінювати тенденції. Користувач може бачити, чи зростає голод занадто швидко, чи спостерігається повторюване зменшення води в поїлці, чи збігаються періоди активності тварини з розкладом годувань.

Такий підхід добре відповідає меті дипломного проєкту, який орієнтований не лише на створення автоматизованого пристрою, а й на демонстрацію взаємодії сенсорних даних та керуючих дій.

Отже, у кіберфізичній системі «Розумна годівничка» реалізовано окремий модуль графічного простеження динаміки ключових показників. Він забезпечує візуальний аналіз змін голоду, спраги, енергії, температури, вологості та накопиченого споживання корму, використовуючи потокові оновлення стану системи через SSE. Завдяки цьому користувач отримує не лише числове значення поточних параметрів, а повноцінну часову картину функціонування комплексу. Така реалізація підсилює зв'язок між моніторингом, автоматичними алгоритмами та аналітичним оцінюванням результатів роботи.

3.5 Реалізація аналітичного узагальнення результатів роботи системи

У розробленій кіберфізичній системі важливу роль відіграє аналітичний модуль, призначений для узагальнення даних, накопичених у процесі функціонування пристрою. Якщо головна панель відображає поточний стан тварини, запасів і сенсорів, а сторінка графіків дає змогу простежити зміну окремих показників у часі, то розділ аналітика формує підсумкову картину використання годівнички за певний період.

Завдяки цьому користувач отримує можливість оцінити не лише моментальну ситуацію, а й результат роботи системи в цілому, зокрема кількість

виданого корму, обсяг спожитої води, частоту годувань і ступінь виконання добової норми. Такий підхід робить комплекс більш змістовним, оскільки він не просто керує окремими діями, а накопичує інформацію для подальшого осмислення режиму догляду за твариною.

Аналітична сторінка побудована навколо двох взаємопов'язаних рівнів подання даних. Перший рівень характеризує поточний день роботи системи та дозволяє швидко оцінити, як саме виконується добовий план годування. У верхній частині сторінки розміщено чотири ключові показники: кількість корму, яку тварина з'їла сьогодні, кількість випитої води, число проведених годувань і відсоток виконання добової норми. Ці значення є результатом усіх попередніх дій системи, зокрема автоматичних подач за розкладом, Smart-годування, ручного втручання користувача та поведінкової активності тварини.

Тому аналітика відображає не умовні довідкові числа, а підсумок взаємодії між алгоритмами, керуючими діями й змодельованим процесом споживання корму та води. Відображення аналітичної сторінки з добовими та узагальненими показниками наведено на рисунку 3.9.

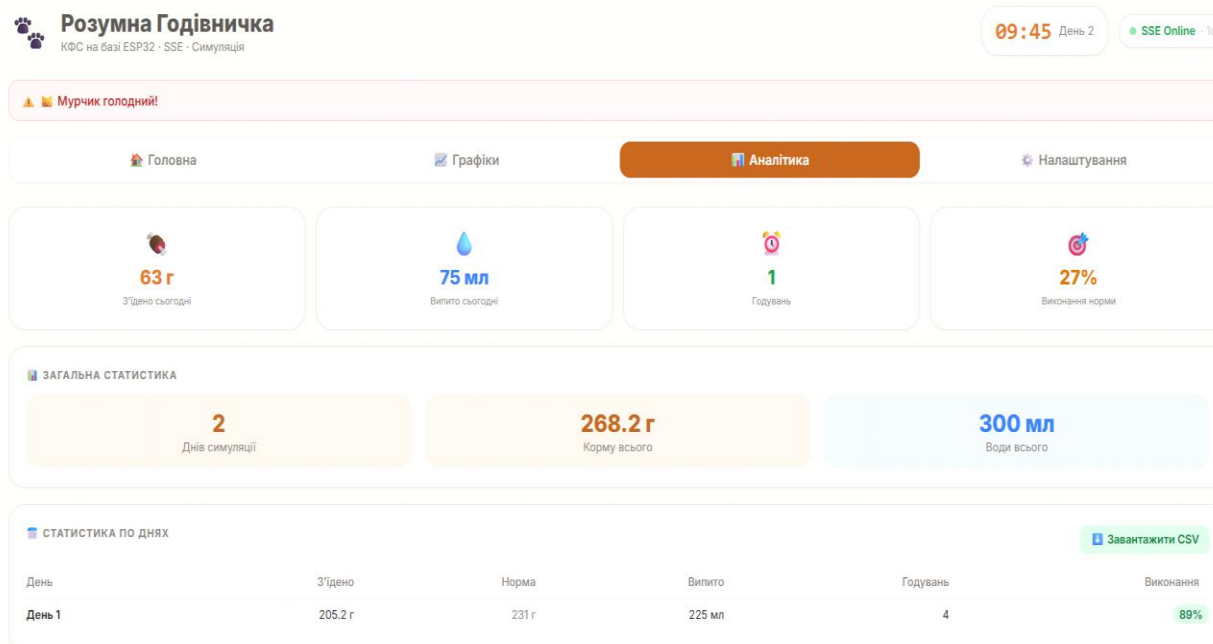


Рисунок 3.9 – Аналітична сторінка з підсумковими показниками роботи кіберфізичної системи

Показник спожитого корму за поточну добу є одним із центральних елементів аналітики, що дозволяє оцінити, наскільки фактична поведінка системи відповідає заданим налаштуванням профілю тварини та розрахованій денній нормі. Якщо користувач у налаштуваннях визначив вагу тварини, система обчислює орієнтовну потребу в кормі, після чого в аналітичному модулі формується відсоток виконання цієї норми.

Таким чином, аналітика не лише накопичує абсолютне значення у грамах, а й переводить його в більш змістовний критерій, що характеризує повноту реалізації запланованого режиму годування. Це особливо корисно при оцінюванні Smart-режиму, оскільки адаптивний алгоритм може коригувати окремі порції, але підсумковий показник усе одно відображає, наскільки близько система підійшла до цільового добового обсягу.

Поряд із кормом у системі узагальнюються відомості про споживання води, який формується на основі зміни рівня води в поїлці та логіки поведінкової моделі тварини. Його наявність є важливою, оскільки робота годівнички не зводиться виключно до видачі сухого корму. Автоматизована подача води, контроль запасу в резервуарі та відображення фактичного споживання створюють повнішу модель побутового догляду.

У результаті користувач може оцінити не лише регулярність годування, а й те, наскільки активно тварина використовувала поїлку протягом дня. У поєднанні з даними про спрагу на головній сторінці та графіками динаміки це дозволяє отримати цілісніше уявлення про поведінку системи в частині водозабезпечення. Кількість годувань, що також виводиться на аналітичній сторінці, характеризує інтенсивність роботи виконавчого контуру системи. Цей показник може збільшуватися як через події стандартного розкладу, так і через ручне годування або адаптивні рішення Smart-режиму.

Завдяки цьому він є зручним для зіставлення з фактичним обсягом спожитого корму. Наприклад, велика кількість спрацювань при невеликому

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

сумарному обсязі може свідчити про часті невеликі порції, тоді як менша кількість годувань із близьким значенням добової норми відображає інший характер режиму. Другий рівень аналітичної сторінки пов'язаний із даними, накопиченими за весь період роботи системи, де відображається загальна кількість днів моделювання, сумарна маса виданого або спожитого корму, загальний обсяг використаної води та інші узагальнені показники.

Аналітика дозволяє звести ці накопичені стани до компактної форми, придатної для оцінювання загальної стабільності та повторюваності режиму годування. У нижній частині аналітичного розділу реалізовано таблицю щоденних підсумків, де для кожного дня відображаються основні результати роботи системи. Такий формат дає змогу простежити, чи змінювалися обсяги корму й води в різні дні, скільки годувань відбулося та як виконувалася добова норма. На відміну від графіків, які зручні для сприйняття безперервної динаміки, таблиця добових підсумків формує історію завершених циклів. Вона корисна для порівняння окремих днів між собою та для оцінювання того, чи зберігається рівномірність роботи системи після зміни налаштувань профілю або розкладу.

Саме через узагальнення аналітичний модуль стає логічним продовженням графічної візуалізації, але працює вже на рівні підсумку, а не поточного сигналу. Додатково в модулі аналітики реалізовано функцію експорту даних у форматі CSV. Вона дозволяє завантажити накопичені підсумкові відомості для подальшого опрацювання поза межами вебінтерфейсу. Така можливість є корисною не лише з практичного погляду, а й для дипломної роботи, оскільки підтверджує завершеність циклу роботи з даними.

Система не просто формує показники на екрані, а дає змогу винести їх у зовнішній файл, який можна використовувати для додаткового аналізу, порівняння різних запусків або підготовки звітних матеріалів.

У сукупності це створює цілісний інформаційний цикл, у якому кожен елемент виконує власну роль і водночас спирається на спільний потік даних. Саме тому сторінка аналітики є важливою складовою системи, адже вона дає

відповідь не лише на питання про поточний стан пристрою, а й на питання про ефективність його роботи впродовж завершеного періоду.

Отже, у системі «Розумна годівничка» реалізовано окремий аналітичний модуль, який забезпечує узагальнення ключових результатів функціонування комплексу, та відображає денне споживання корму й води, кількість годувань, виконання добової норми, загальні підсумки за період роботи, щоденну статистику та підтримує експорт даних у CSV. Завдяки цьому система переходить від простого моніторингу й керування до накопичення змістовної інформації про режим догляду за твариною, що підсилює практичну цінність розробленої кіберфізичної системи та створює основу для подальшої перевірки її працездатності в характерних сценаріях функціонування.

3.6 Перевірка працездатності системи в характерних сценаріях функціонування

Для підтвердження працездатності розробленої кіберфізичної системи було перевірено її поведінку в кількох характерних сценаріях, які охоплюють основні функції комплексу: поточний моніторинг стану, реакцію на зміну поведінкових показників тварини, виконання ручних команд, роботу автоматизованих режимів, зміну користувачьких налаштувань і відображення результатів у графічному та аналітичному модулях. Підхід дозволяє оцінити систему не як набір окремих сторінок інтерфейсу, а як цілісне кіберфізичне середовище, у якому сенсорні дані, програмна логіка, дії користувача та візуальне подання результатів працюють узгоджено.

Перевірка виконувалася в умовах прискореного часу, де одна секунда реального часу відповідає трьом хвилинам функціонування системи, що дає змогу за короткий проміжок спостерігати розвиток повного добового циклу. Першим перевіреним сценарієм став штатний режим роботи годівнички, коли

система функціонує без критичних відхилень, має достатній запас корму й води, активне SSE-з'єднання та стабільний технічний стан мікроконтролерного вузла.

На головній панелі в такій ситуації відображається повідомлення про відсутність небажаних подій, показники тварини залишаються в допустимих межах, а ресурси годівнички характеризуються достатнім рівнем наповнення. Одночасно користувач бачить температуру, вологість, освітленість, стан Wi-Fi-з'єднання, заряд батареї та службові параметри ESP32. Такий сценарій підтвердив, що система здатна формувати зрозумілу оперативну картину штатного функціонування й безперервно оновлювати її через потокове передавання даних до вебінтерфейсу.

Наступним етапом було перевірено реакцію комплексу на поступове зростання рівня голоду тварини, та відповідно до закладеної моделі цей показник збільшується з плином часу, а після досягнення критичної зони система формує попередження для користувача. На головній сторінці змінюється верхня інформаційна смуга, де замість нейтрального повідомлення з'являється сигнал про те, що тварина голодна. Одночасно в блоці стану тварини збільшується індикатор голоду, що дає числове підтвердження зміни ситуації.

Сценарій показав, що система здатна не лише відображати сирі параметри, а й інтерпретувати їх у вигляді змістовного повідомлення, яке підказує користувачу потребу у втручанні або очікувану реакцію автоматичного режиму. Для перевірки керуючого контуру було виконано ручне годування через блок оперативного керування. Користувач задавав масу порції, після чого запускав команду подачі корму.

У результаті в системі змінювався стан кількох взаємопов'язаних об'єктів: зменшувався запас у бункері, збільшувався обсяг корму в мисці, до журналу подій додавався відповідний запис, а подальша поведінка тварини відображала доступність нової порції. Після того як модель тварини переходила до споживання корму, знижувався рівень голоду та накопичувалася кількість з'їденого за поточну добу. Така послідовність підтвердила, що команда з

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

інтерфейсу не є ізольованою дією, а запускає повний цикл зміни стану системи, який коректно відображається в усіх пов'язаних модулях.

Окремо перевірялася робота подачі води, де під час ручної активації відповідної команди система збільшувала обсяг води в поїлці та зменшувала запас у резервуарі. Зміна відображалася в кругових індикаторах головної панелі, а в журналі подій з'являвся новий запис, що підтверджував виконання операції.

У подальшому, за наявності змодельованої поведінки пиття, знижувався показник спраги, а кількість випитої води включалася до денних аналітичних підсумків. Перевірка цього сценарію підтвердила, що контур водозабезпечення реалізовано не лише як візуальну кнопку, а як логічно пов'язану підсистему, результати роботи якої впливають на стан тварини та статистику функціонування комплексу.

Важливою частиною перевірки стало дослідження Smart-режиму, оскільки саме він надає системі адаптивний характер. Під час його активації логіка годування перестає залежати лише від жорстко встановленої маси порції та враховує вагу тварини, розраховану добову норму корму, уже спожитий обсяг, температуру середовища й поточний рівень голоду. Якщо добова потреба майже вичерпана, система не повинна видавати надлишкову кількість корму.

Окремо перевірено автоматичну подачу води, яка активується при зниженні рівня рідини в поїлці нижче заданого порога за наявності запасу в резервуарі. У такій ситуації система сама ініціює поповнення миски, що підтверджує реалізацію автономного контуру реагування без безпосередньої участі користувача. Водночас у моделі враховується підвищена температура, яка посилює зменшення обсягу води в поїлці, тому система може частіше виконувати автоматичне відновлення ресурсу в тепліших умовах. Така перевірка показала, що комплекс підтримує не лише планові або ручні дії, а й залежне автоматизоване керування на поточному значенні сенсорного параметра.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що кіберфізична система «Розумна годівничка» коректно підтримує основні сценарії, закладені в її

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

функціональну модель. Вона стабільно відображає поточний стан, реагує на зміни поведінкових параметрів тварини, виконує ручні й автоматичні керуючі дії, враховує персоналізовані налаштування, формує часові графіки та аналітичні підсумки. У сукупності це підтверджує узгоджену роботу сенсорного, алгоритмічного, керуючого та користувацького рівнів.

3.7 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було розглянуто практичну реалізацію кіберфізичної системи «Розумна годівничка» та підтверджено її здатність працювати як цілісний комплекс моніторингу, керування й аналітичного супроводу процесу догляду за домашньою твариною. Реалізований вебінтерфейс об'єднує в одному середовищі відображення поточного стану тварини, запасів корму та води, показників навколишнього середовища, технічного стану ESP32 і журналу подій.

Що дозволяє користувачу швидко оцінити ситуацію та зрозуміти, чи потребує система ручного втручання або вже перебуває в штатному режимі автоматизованої роботи. У межах практичної реалізації створено набір керуючих дій, що забезпечує безпосередній вплив на стан годівнички.

Користувач може вручну подати корм, активувати подачу води, поповнити бункер і резервуар, скинути модель до початкових параметрів, а також змінювати режими автоматизації. Окреме значення має Smart-режим, у якому подача корму визначається не лише розкладом, а й масою тварини, добовою нормою, уже спожитим обсягом, температурою та рівнем голоду. Це свідчить про реалізацію адаптивного принципу керування, який робить систему змістовно складнішою за звичайний таймерний дозатор.

Важливою складовою системи стала сторінка налаштувань, де користувач задає профіль тварини та формує індивідуальний добовий графік годування. Завдяки цьому комплекс не обмежується єдиним наперед визначеним сценарієм, а може бути налаштований відповідно до конкретних умов використання. Зміна

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

типу тварини, її ваги та структури розкладу безпосередньо впливає на денну норму корму, роботу адаптивної логіки й подальшу інтерпретацію аналітичних показників.

У результаті реалізована система демонструє не лише автоматизацію окремих дій, а й персоналізацію режиму функціонування. Показано роботу графічного й аналітичного модулів, а сторінка графіків забезпечує простеження змін голоду, спраги, енергії, температури, вологості та накопиченого споживання корму в часі. Аналітична сторінка підсумовує результати роботи комплексу за поточний день і за весь період функціонування, відображаючи кількість з'їденого корму, випитої води, число годувань, ступінь виконання добової норми та щоденну статистику. Наявність CSV-експорту розширює можливості подальшого опрацювання накопичених даних і підтверджує завершеність інформаційного циклу системи.

Система коректно відображає штатний режим роботи, формує попередження при підвищенні рівня голоду, реагує на ручне годування й подачу води, підтримує автоматичне поповнення поїлки та враховує користувацькі налаштування профілю й графіка. Зміни, що виникають у результаті виконання дій, своєчасно відображаються на головній панелі, у журналі подій, на графіках і в аналітичному розділі. Це підтверджує наявність зв'язку між моделлю поведінки, керуючими алгоритмами, потоковим оновленням даних і засобами інтерпретації результатів.

Отже, третій розділ підтвердив, що запропоновані технічні та алгоритмічні рішення були реалізовані у вигляді повноцінної кіберфізичної системи. Створений комплекс поєднує моніторинг, керування, адаптивну логіку, персоналізовані налаштування, часову візуалізацію й аналітичне узагальнення результатів.

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено кіберфізичну систему «Розумна годівничка» на базі контролера ESP32, призначену для автоматизації процесу годування домашніх тварин, сенсорного контролю стану пристрою, керування режимами роботи та зручної взаємодії користувача із системою через вебінтерфейс. Запропоноване рішення поєднує апаратну частину, програмну логіку, засоби обміну даними, адаптивні алгоритми керування та інструменти візуального й аналітичного відображення результатів роботи, що дає змогу розглядати його як завершений приклад побутової кіберфізичної системи.

У першому розділі проведено аналіз предметної області автоматизованого годування домашніх тварин і встановлено, що традиційне ручне годування та найпростіші таймерні годівнички не забезпечують достатнього рівня точності, гнучкості й контролю. Обґрунтовано доцільність використання кіберфізичного підходу, за якого фізичний пристрій, сенсорні елементи, керуючий контролер і програмний рівень працюють як єдина система. Проаналізовано сучасні програмно-апаратні засоби, визначено переваги платформи ESP32, розглянуто придатні сенсори, виконавчі механізми та технології організації інформаційної взаємодії. На основі цього сформульовано мету, об'єкт, предмет дослідження та основні завдання кваліфікаційної роботи.

У другому розділі виконано проектування кіберфізичної системи «Розумна годівничка». Визначено її функціональні й нефункціональні вимоги, сформовано загальну структуру та описано принципи взаємодії сенсорної, керуючої, виконавчої, комунікаційної й користувацької складових. Обґрунтовано застосування контролера ESP32, тензометричного вузла з HX711, ультразвукового датчика HC-SR04, датчика температури й вологості DHT22, PIR-сенсора HC-SR501 та сервоприводу для реалізації подачі корму. Розроблено структурні, електричні та монтажні рішення, описано логіку замкненого контуру

					КвРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

керування, алгоритми стандартного й адаптивного годування, а також роль програмної архітектури у забезпеченні моніторингу та керування системою.

У третьому розділі розглянуто практичну реалізацію системи та перевірено її працездатність у характерних сценаріях функціонування. Створено вебінтерфейс, який відображає стан тварини, запаси корму й води, показники середовища, параметри ESP32 та журнал подій. Реалізовано ручне годування, подачу води, поповнення запасів, перемикання автоматичних режимів, Smart-режим, сторінку персоналізованих налаштувань тварини та графіка годування, графічні зміни показників у часі, аналітичний модуль і експорт даних.

Отже, у результаті виконання дослідження спроектовано та реалізовано кіберфізичну систему «Розумна годівничка», яка демонструє можливість використання сучасних мікроконтролерних, сенсорних і вебтехнологій для автоматизації повсякденного процесу догляду за домашніми тваринами. Розроблена система забезпечує не лише механічну подачу корму, а й контроль стану пристрою, адаптивне керування, накопичення даних і зручне подання інформації користувачу, що створює основу для її подальшого вдосконалення та практичного розвитку.

Окрему увагу в кваліфікаційній роботі приділено узгодженню апаратної та програмної частин, оскільки саме цей зв'язок визначає практичну цінність розробленої системи. ESP32 виконує роль центрального керуючого вузла, який приймає сигнали від сенсорів, передає дані до серверної частини та формує команди для виконавчих елементів. Серверна логіка забезпечує оброблення отриманої інформації, збереження налаштувань і передавання оновлених даних у вебінтерфейс, а користувачка частина подає ці відомості у зрозумілій формі. Це дозволяє не просто автоматизувати окрему дію подачі корму, а сформувати повноцінний цикл керування, у якому кожен елемент системи має визначене призначення й працює у спільній логіці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. FEDIAF. Facts & Figures 2025. *The European Pet Food Industry Federation*. 2025. URL: <https://europeanpetfood.org/wp-content/uploads/2025/06/FEDIAF-Facts-Figures-2025.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).
2. FEDIAF. Statistics. *The European Pet Food Industry Federation*. 2025. URL: <https://europeanpetfood.org/about/statistics/> (дата звернення: 30.05.2026).
3. WSAVA Global Nutrition Committee. Global Nutrition Guidelines. *World Small Animal Veterinary Association*. 2026. URL: <https://wsava.org/global-guidelines/global-nutrition-guidelines/> (дата звернення: 30.05.2026).
4. WSAVA Global Nutrition Committee. WSAVA Global Nutrition Toolkit. *World Small Animal Veterinary Association*. 2021. URL: <https://wsava.org/wp-content/uploads/2021/04/WSAVA-Global-Nutrition-Toolkit-English.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).
5. WSAVA Global Nutrition Committee. Guidelines on Selecting Pet Foods. *World Small Animal Veterinary Association*. 2021. URL: https://wsava.org/wp-content/uploads/2021/04/Selecting-a-pet-food-for-your-pet-updated-2021_WSAVA-Global-Nutrition-Toolkit.pdf (дата звернення: 30.05.2026).
6. Cline M. G., Burns K. M., Coe J. B. та ін. 2021 AAHA Nutrition and Weight Management Guidelines for Dogs and Cats. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 2021. Vol. 57, No. 4. P. 153–178. DOI: 10.5326/JAAHA-MS-7232.
7. Montoya M., Morrison J. A., Arrington K. A. та ін. Overweight and Obese Body Condition in Dogs and Cats Seen at Primary Practices across the USA: Prevalences by Life Stage from Early Growth to Senior. *Preventive Veterinary Medicine*. 2025. Vol. 235. 106398. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2024.106398.
8. Witzel-Rollins A., Murphy M., Becvarova I. та ін. Evaluation of a Pet-Separating Automatic Feeder and High-Frequency Meal Feeding for Weight Loss in

					КВРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Multi-Cat Households. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2022. DOI: 10.1177/1098612X221105046.

9. Chui K. T., Gupta B. B., Liu J. та ін. A Survey of Internet of Things and Cyber-Physical Systems: Standards, Algorithms, Applications, Security, Challenges, and Future Directions. *Information*. 2023. Vol. 14, No. 7. 388. DOI: 10.3390/info14070388.

10. Lesch V., Züfle M., Bauer A. та ін. A Literature Review of IoT and CPS: What They Are, and What They Are Not. *Journal of Systems and Software*. 2023. Vol. 200. 111631. DOI: 10.1016/j.jss.2023.111631.

11. Khater H. M., Sallabi F., Serhani M. A. та ін. Empowering Healthcare with Cyber-Physical System: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 83952–83993. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3407376.

12. Harkat H., Camarinha-Matos L. M., Goes J., Ahmed H. F. T. Cyber-Physical Systems Security: A Systematic Review. *Computers & Industrial Engineering*. 2024. Vol. 188. 109891. DOI: 10.1016/j.cie.2024.109891.

13. Pivoto D. G., de Almeida L. F., da Rosa Righi R. та ін. Cyber-Physical Systems Architectures for Industrial Internet of Things Applications in Industry 4.0: A Literature Review. *Journal of Manufacturing Systems*. 2021. Vol. 58. P. 176–192. DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.11.017.

14. ISO/IEC 30141:2024. Internet of Things (IoT) — Reference Architecture. *International Organization for Standardization*. 2024. URL: <https://www.iso.org/standard/88800.html> (дата звернення: 30.05.2026).

15. Fagan M., Megas K., Watrobski P., Marron J., Cuthill B. Profile of the IoT Core Baseline for Consumer IoT Products. *NIST Interagency or Internal Report 8425*. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2022. DOI: 10.6028/NIST.IR.8425.

16. Alshammari H. H. The Internet of Things Healthcare Monitoring System Based on MQTT Protocol. *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 69. P. 275–287. DOI: 10.1016/j.aej.2023.01.065.

					КВРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

17. Castillo-Arceo O. E., Renteria-Flores R. U., Santana-Mancilla P. C. Design and Development of a Smart Pet Feeder with IoT and Deep Learning. *Engineering Proceedings*. 2024. Vol. 82, No. 1. 63. DOI: 10.3390/ecsa-11-20487.

18. Castillo Rangel A. V., Ponce Monárrez I. U., Soto I. Automatic Pet Feed System Applying IoT. *Modelling, Measurement and Control D*. 2024. Vol. 45, No. 1–4. P. 87–93. DOI: 10.18280/mmc_d.451-413.

19. Untiveros-Peñaloza H., Castro-Vargas C. IoT-Based Smart Pet Feeding System with Dynamic Network Configuration Using ESP32, WiFiManager and Blynk 2.0. *Ingénierie des Systèmes d'Information*. 2025. Vol. 30, No. 11. P. 2881–2889. DOI: 10.18280/isi.301106.

20. Priya B. V., Jitesh R., Lekha I. K., Suresh E. C. IoT Based Smart Pet Feeding System Using ESP32. *Atlantis Press*. 2025. URL: <https://www.atlantispress.com/article/126017574.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

21. Shah A., Tajuddin S., Darzi I. H., Malgi G. D. Pet Feeder Using IoT. *Advances in Intelligent Systems and Technologies*. 2023. P. 034–038. DOI: 10.53759/aist/978-9914-9946-1-2_6.

22. ESP32-DevKitC. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 30.05.2026).

23. Espressif Systems. ESP32-DevKitC. *ESP DevKits Documentation*. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32/esp32-devkitc/index.html> (дата звернення: 30.05.2026).

24. Arduino. UNO R3. *Arduino Documentation*. 2026. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> (дата звернення: 30.05.2026).

25. Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet. *Espressif Systems Documentation*. 2026. URL: https://documentation.espressif.com/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf (дата звернення: 30.05.2026).

26. Raspberry Pi Ltd. RP2040 Datasheet. *Raspberry Pi Documentation*. 2026.
URL: <https://pip.raspberrypi.com/documents/RP-008371-DS-rp2040-datasheet.pdf>
(дата звернення: 30.05.2026).

27. STMicroelectronics. STM32F103x8, STM32F103xB Datasheet.
STMicroelectronics. 2025. URL:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf> (дата звернення:
30.05.2026).

28. Avia Semiconductor. HX711: 24-Bit Analog-to-Digital Converter for Weigh
Scales. *SparkFun Documentation*. 2026. URL:
https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf (дата
звернення: 30.05.2026).

29. ElecFreaks. Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. *SparkFun
Documentation*. 2026. URL:
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> (дата
звернення: 30.05.2026).

30. Aosong Electronics. DHT22 Digital-Output Relative Humidity &
Temperature Sensor/Module. *SparkFun Documentation*. 2026. URL:
<https://cdn.sparkfun.com/assets/f/7/d/9/c/DHT22.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

31. Handson Technology. HC-SR501 Passive Infrared PIR Motion Sensor.
Handson Technology. 2026. URL:
<https://www.handsontec.com/dataspecs/SR501%20Motion%20Sensor.pdf> (дата
звернення: 30.05.2026).

32. TowerPro. SG90 9 g Micro Servo. *Imperial College London*. 2026. URL:
https://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf (дата
звернення: 30.05.2026).

33. TowerPro. MG996R Metal Gear Servo Motor. *Handson Technology*. 2026.
URL: https://www.handsontec.com/dataspecs/motor_fan/MG996R.pdf (дата
звернення: 30.05.2026).

					КВРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

34. MQTT.org. MQTT: The Standard for IoT Messaging. *MQTT.org*. 2026. URL: <https://mqtt.org/> (дата звернення: 30.05.2026).
35. MDN Web Docs. WebSocket API. *Mozilla Developer Network*. 2026. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API (дата звернення: 30.05.2026).
36. FastAPI. WebSockets. *FastAPI Documentation*. 2026. URL: <https://fastapi.tiangolo.com/advanced/websockets/> (дата звернення: 30.05.2026).
37. React. Built-in React Hooks. *React Documentation*. 2026. URL: <https://react.dev/reference/react/hooks> (дата звернення: 30.05.2026).
38. Recharts. Recharts Documentation. *Recharts*. 2026. URL: <https://recharts.org/> (дата звернення: 30.05.2026).
39. Node-RED. Low-Code Programming for Event-Driven Applications. *Node-RED*. 2026. URL: <https://nodered.org/> (дата звернення: 30.05.2026).
40. Google Firebase. Firebase Realtime Database. *Firebase Documentation*. 2026. URL: <https://firebase.google.com/docs/database> (дата звернення: 30.05.2026).
41. Amazon Web Services. Device Communication Protocols. *AWS IoT Core Developer Guide*. 2026. URL: <https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/protocols.html> (дата звернення: 30.05.2026).
42. Amazon Web Services. MQTT. *AWS IoT Core Developer Guide*. 2026. URL: <https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/mqtt.html> (дата звернення: 30.05.2026).
43. Espressif Systems. FreeRTOS Overview. *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/system/freertos.html> (дата звернення: 30.05.2026).
44. Espressif Systems. Wi-Fi. *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/network/esp_wifi.html (дата звернення: 30.05.2026).

45. Espressif Systems. Watchdogs. *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/system/wdts.html> (дата звернення: 30.05.2026).

46. Kouchaki S., Momenzadeh M., Sepehri M. M. та ін. AI- and IoT-Enabled Solutions for Healthcare. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 8. 2607. DOI: 10.3390/s24082607.

47. Irshad R. R., Ali A., Khan M. A. та ін. Towards Enhancing Security of IoT-Enabled Healthcare Systems. *Heliyon*. 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e22440.

48. Marlina E. The Design of Smart Prototype Pet Feeder Using Passive Infrared (PIR) Sensors. *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*. 2023. Vol. 5, No. 1. P. 313–320. DOI: 10.47709/cnahpc.v5i1.2237.

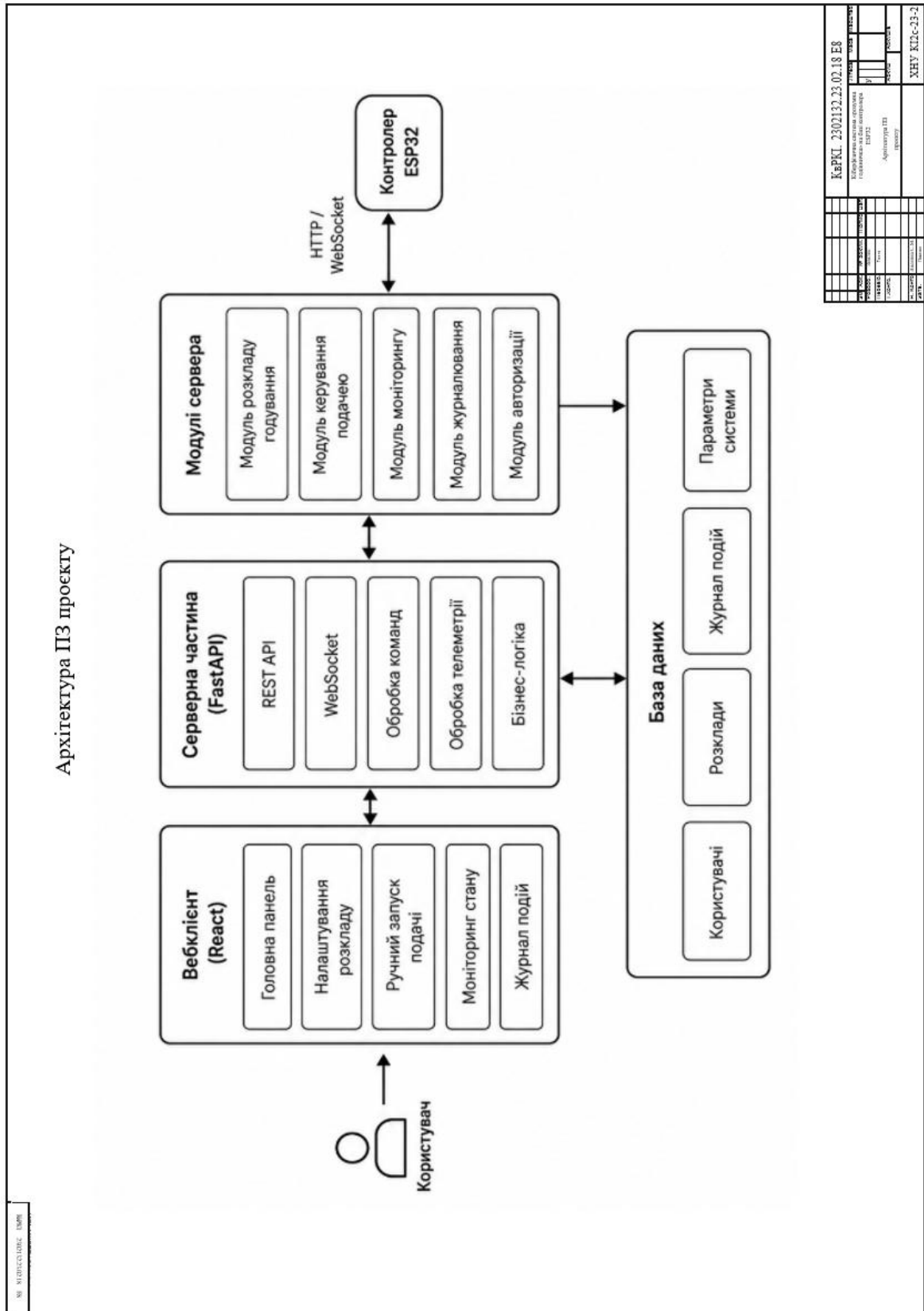
49. Espressif Systems. Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE). *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/bluetooth/bt_le.html (дата звернення: 30.05.2026).

50. Espressif Systems. LED Control (LEDC). *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/peripherals/ledc.html> (дата звернення: 30.05.2026).

					КВРКІ. 2302132.23.02.18 ПЗ	Арк. 71
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

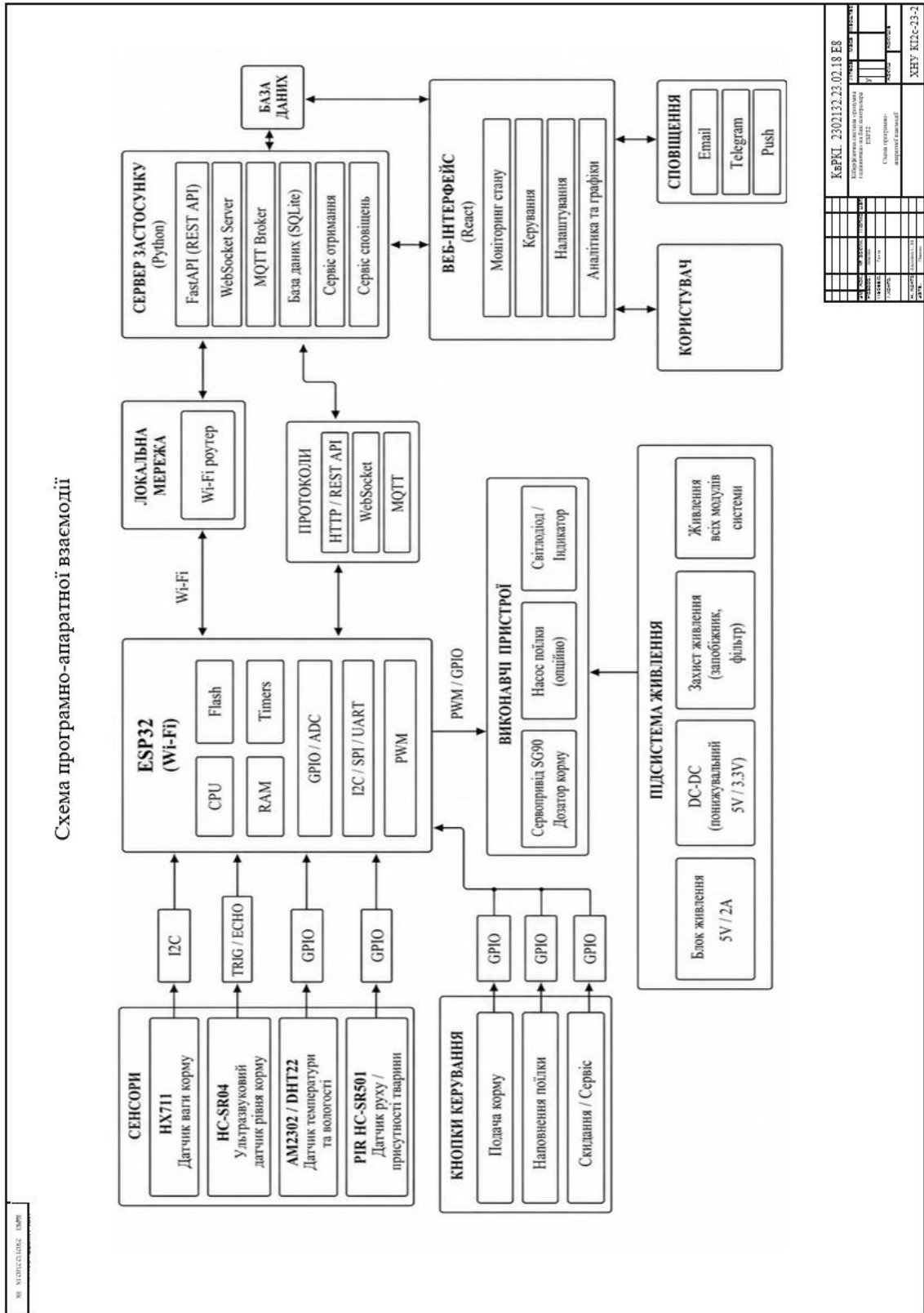
ДОДАТОК А (обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура ПЗ проєкту»



ДОДАТОК В (обов'язковий)

Копія креслення «Схема програмно-апаратної взаємодії»



КерПКЛ_2302132_23.02.18_E8	
№ документа	КерПКЛ_2302132_23.02.18_E8
Дата	23.02.2023
Стан проекту	Виконано
Ім'я розробника	Михайло Козуб
Ім'я керівника	Михайло Козуб
№ документа	КерПКЛ_2302132_23.02.18_E8
Дата	23.02.2023
Стан проекту	Виконано
Ім'я розробника	Михайло Козуб
Ім'я керівника	Михайло Козуб
№ документа	КерПКЛ_2302132_23.02.18_E8
Дата	23.02.2023
Стан проекту	Виконано
Ім'я розробника	Михайло Козуб
Ім'я керівника	Михайло Козуб

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Андрій ЗЕМЛЯК

Співавтор:

Назва: Кіберфізична система «розумна годівничка» на базі контролера ESP32

Експерт: Володимир ГРИГА

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 4.04%

Коефіцієнт подібності 2: 1.12%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-11 23:00:43.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

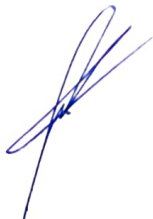
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-12

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 9%

ID: 274664 Назва: БКР Кіберфізична система «розумна годівничка» на базі контролера ESP32 Додано в БД: 2026-06-11 Автора: Андрій ЗЕМЛЯК Керівники: Володимир ГРИГА Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	106031	741	2548 (2%)	35 (5%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Земляк Андрій Вікторович

Тема: Комп'ютерна система кодування в комп'ютерних мережах

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 62

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проектування, програмно-апаратна реалізація та перевірка кіберфізичної системи автоматизованого годування домашніх тварин на базі контролера ESP32. Розроблена система забезпечує подачу корму за заданими параметрами, передавання даних про стан пристрою (моніторинг запасів та мікроклімату) та керування адаптивними режимами годування через розроблений вебінтерфейс.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено ґрунтовний аналіз предметної області та обґрунтовано актуальність використання кіберфізичних систем для догляду за тваринами. Здійснено аналіз апаратних платформ та аргументовано вибір мікроконтролера ESP32 завдяки його продуктивності та наявності вбудованого модуля Wi-Fi. У другому розділі викладено процес проектування КФС. Розроблено структурну, монтажну та електричну принципову схеми. Доцільно підібрано сенсорну базу, а саме: тензодатчик HX711, ультразвуковий датчик HC-SR04, DHT22, HC-SR501 та визначено програмний стек FastAPI, React, WebSocket, MQTT, що цілком відповідає сучасним тенденціям побудови IoT-систем. У третьому розділі виконано практичну реалізацію та перевірку функціонування комплексу. Розроблено зручний вебінтерфейс, який містить панель моніторингу, журнал подій, систему керуючих дій (у тому числі адаптивний Smart-

режим), а також графічний та аналітичний модулі. Перевірка підтвердила коректність роботи всіх алгоритмів у різних сценаріях.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи, комплексний підхід, що поєднує апаратне проектування із сучасною веброзробкою

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага аналізу предметної області; недостатньо чітко описано процес складання програмно-технічного засобу.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому технічному рівні.


8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (D / 70)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Бедрашова Валентина Петрівна, зав. каф. ІІІЗ, ХНУ

“ _____ ” _____ 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Андрій ЗЕМЛЯК

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 червня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Комп'ютерна система кодування в комп'ютерних мережах _____
Автор Андрій ЗЕМЛЯК

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: к.т.н., доцент Володимир ГРИГА

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 4,04%; та системою Anti-Plagiarism складає 1,0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Підпис

Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Володимир ГРИГА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ