

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд
Назва теми

КвРКІ 220035.22.01.28 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав: студент III курсу, група КІ2с-22-1

Підпис

Артем РИФЛЯК
Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем

Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«16» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
Освітній рівень БАКАЛАВР
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ
Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.



**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Артему РИФЛЯКУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд

Керівник проекту (роботи) Тетяна КИСІЛЬ, к.ф.-м.н., доцент

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд

Проектування системи обробки інформації у кіберфізична системі розумного будинку із використанням голосових команд

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи розумного будинку із використанням голосових команд

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

Архітектура розумного будинку

Блок-схеми алгоритмів роботи приладу

Структурна схема приладу

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи розумного будинку із використанням голосових команд	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи розумного будинку із використанням голосових команд	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Артем РИФЛЯК
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

ата
вдання прийняв

Примітка
виконано
виконано
виконано
виконано
виконано
виконано

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ скз	Примітка
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 220035.22.01.28 ПЗ	Пояснювальна записка	94		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 220035.22.01.28 Е8	Архітектура розумного будинку	1		
3		КвРКІ 220035.22.01.28 Е8	Принципова схема пристрою	1		
4		КвРКІ 220035.22.01.28 Е8	Алгоритм роботи пристрою	1		
КвРКІ 220035.22.01.28 ВП						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Літера	Аркуш
Розробив		Рифляк	<i>[Signature]</i>		У	1
Перевір.		Кисіль	<i>[Signature]</i>	16.08.25		1
Н. конпр.		Кисіль	<i>[Signature]</i>	16.08.25	ХНУ, КІ2с-22-1	
Затв.		Павлова	<i>[Signature]</i>	16.08.25		
Відомість проекту						

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд».

Автор роботи: Артем РИФЛЯК.

Керівник роботи: Кисіль Тетяна Миколаївна.

Пояснювальна записка: 84 с., 4 дод., 59 джерел.

Графічна частина: 0 креслення.

ГОЛОСОВІ КОМАНДИ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, РОЗУМНИЙ БУДИНОК.

Метою дипломної роботи є розробка та реалізація кіберфізичної системи розумного будинку, що забезпечує інтеграцію апаратного та програмного забезпечення для автоматизованого керування домашніми пристроями за допомогою голосових команд. Система має підвищити рівень комфорту, безпеки та енергоефективності житлового приміщення, а також забезпечити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс взаємодії користувача з елементами інтелектуального середовища. Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.

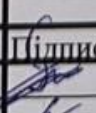
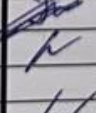

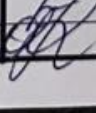

Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ З ГОЛОСОВИМИ КОМАНДАМИ НА БАЗІ ІОТ	6
1.1 Вітчизняні технології сьогодні	6
1.2 Розумні будинки	7
1.3 Штучні нейронні мережі розумних будинків	10
1.4. Висновки	18
2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ГОЛОСОВИМ КЕРУВАННЯМ	20
2.1 Вимоги до системи розумного будинку з голосовим керуванням.....	20
2.2 Архітектура системи розумного будинку з голосовим керуванням.....	22
2.3 Проектування апаратної частини системи розумного будинку	26
2.4 Проектування програмної частини системи розумного будинку	29
2.5 Проектування підсистеми голосового керування.....	35
2.6 Інтеграція компонентів системи розумного будинку.....	40
2.7 Висновки	48
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ГОЛОСОВИМ КЕРУВАННЯМ	49
3.1 Опис реалізації апаратних модулів системи розумного будинку	49
3.2 Опис реалізації програмних модулів системи розумного будинку	55
3.3 Реалізація алгоритмів розпізнавання голосових команд	63
3.4 Розробка інтерфейсу взаємодії з користувачем	67
3.5 Висновки	73
ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	78

				КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ		
Зм.	Дрк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		
Виконав	Артем РИФЛЯК				Літера	Арк.вп.
Перевід.	Тетяна КИСЛІЬ			16.06.22	у	Арк.впів
Н.контр.	Тетяна КИСЛІЬ			16.06.22	ХНУ КІ2с-22-1	
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА			16.06.22		
					Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд	
					2	94

ДОДАТОК А.....	85
ДОДАТОК Б.....	86
ДОДАТОК В.....	87
ДОДАТОК Г.....	88

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Стрімкий розвиток інформаційних технологій, зокрема Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту та систем розпізнавання мовлення, створює передумови для революційних змін у сфері автоматизації житлових приміщень. Розумні будинки з голосовим керуванням представляють новий етап еволюції житлового простору, що дозволяє підвищити комфорт, безпеку, енергоефективність та якість життя мешканців. Особливої актуальності ця тема набуває в контексті зростаючих вимог до енергозбереження, старіння населення та потреби в адаптації житлового простору для людей з обмеженими можливостями. Голосове керування значно спрощує взаємодію користувачів із технологічними системами, роблячи їх доступними для широкого кола осіб без спеціальної підготовки.

Економічна доцільність впровадження систем розумного будинку підтверджується потенціалом суттєвого зниження витрат на електроенергію (до 30%) та опалення (до 40%) за рахунок оптимізації режимів роботи інженерних систем будівлі. Зростання ринку розумних будинків, який за прогнозами досягне \$135,3 млрд до 2025 року, підкреслює комерційну привабливість розробок у цій галузі. Водночас існуючі рішення характеризуються високою вартістю, обмеженою функціональністю, складністю налаштування та експлуатації, що обумовлює необхідність розробки інноваційних, доступних та ефективних систем розумного будинку з голосовим керуванням.

Метою роботи є проектування та реалізація системи розумного будинку з голосовими командами на основі технології Інтернету речей, що забезпечує високий рівень функціональності, надійності, безпеки та зручності використання при оптимальних економічних показниках.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі завдання:

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Проаналізувати теоретичні основи розумних будинків, технології Інтернету речей та системи розпізнавання мовлення для визначення оптимальних підходів до розробки інтегрованої системи;

2. Розробити архітектуру системи розумного будинку з голосовим керуванням, визначити функціональні та нефункціональні вимоги, спроектувати апаратну та програмну частини;

3. Реалізувати програмно-апаратний комплекс розумного будинку з голосовим керуванням, включаючи алгоритми розпізнавання голосових команд та інтерфейси взаємодії з користувачем;

4. Провести тестування та оцінку ефективності розробленої системи за критеріями функціональності, надійності, енергоефективності та зручності використання.

Об'єкт дослідження: процеси автоматизації та управління інженерними системами житлових приміщень.

Предмет дослідження: методи та засоби створення системи розумного будинку з голосовим керуванням на основі технології Інтернету речей.

Розроблена система розумного будинку з голосовим керуванням може бути впроваджена для автоматизації житлових приміщень з метою підвищення комфорту, безпеки та енергоефективності. Запропоновані технічні рішення та методики можуть використовуватися для створення комерційних продуктів у сфері домашньої автоматизації, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців з комп'ютерної інженерії та Інтернету речей.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ З ГОЛОСОВИМИ КОМАНДАМИ НА БАЗІ ІОТ

1.1 Вітчизняні технології сьогодні

Розвиток технологій інтернету речей в Україні демонструє поступальну динаміку, незважаючи на складні економічні та політичні умови. Національна телекомунікаційна інфраструктура проходить процес модернізації, спрямований на забезпечення надійного та високошвидкісного зв'язку для підтримки IoT-екосистеми. Провідні українські телекомунікаційні оператори активно впроваджують мережі п'ятого покоління, що створює технологічну основу для розгортання масштабних IoT-проектів у сфері розумних будинків та автоматизації житлового простору. За даними аналітичних досліджень, кількість IoT-пристроїв у світі демонструє експоненціальне зростання і до 2030 року очікується досягнення позначки 32,1 мільярда підключених пристроїв [4]. Вітчизняні технологічні компанії зосереджують зусилля на розробці власних рішень для домашньої автоматизації, адаптованих до специфічних потреб українського ринку. Локалізація програмного забезпечення включає підтримку української мови в системах голосового керування, що є критично важливим фактором для масового впровадження технологій розумного будинку. Українські розробники працюють над створенням інтегрованих платформ, що поєднують різні аспекти домашньої автоматизації: від безпеки та енергоменеджменту до клімат-контролю та керування освітленням [5]. Академічна спільнота України активно досліджує питання застосування штучного інтелекту в системах розумного будинку, особливу увагу приділяючи розробці алгоритмів природного мовного оброблення для української мови. Дослідження в галузі машинного навчання спрямовані на створення адаптивних систем, здатних враховувати культурні особливості та специфічні потреби українських користувачів. Співпраця між науковими установами та

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приватними компаніями сприяє трансферу технологій і прискорює впровадження інноваційних рішень у сфері домашньої автоматизації [6].

Регуляторне середовище в Україні поступово адаптується до потреб IoT-індустрії, створюючи правові основи для безпечного та ефективного функціонування розумних будинків. Стандартизація в галузі кібербезпеки та захисту персональних даних набуває особливого значення в контексті масового впровадження пристроїв інтернету речей у житловому секторі. Національні ініціативи з цифровізації включають програми підтримки розвитку технологій розумного будинку як складової цифрової трансформації країни [7].

1.2 Розумні будинки

Розумний будинок являє собою інтегровану технологічну екосистему, що поєднує мережу взаємопов'язаних пристроїв, сенсорів та систем керування для автоматизації та оптимізації функціонування житлового простору. Концептуальна основа розумного будинку ґрунтується на принципах інтероперабельності, адаптивності та автономності, що забезпечують безперервне моніторингове спостереження за станом житлового середовища та автоматичне регулювання параметрів мікроклімату, освітлення, безпеки та енергоспоживання відповідно до потреб мешканців [8].

Технологічна архітектура розумного будинку характеризується багаторівневою структурою, що включає фізичний рівень пристроїв та сенсорів, комунікаційний рівень мережевої взаємодії, рівень обробки даних та прийняття рішень, а також рівень користувацького інтерфейсу. Кожен рівень виконує специфічні функції та взаємодіє з іншими компонентами системи через стандартизовані протоколи та інтерфейси програмування додатків. Інтелектуальні можливості розумного будинку реалізуються через алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту, що дозволяють системі навчатися на основі поведінкових патернів користувачів та адаптувати свою роботу для максимального задоволення їхніх потреб [9].

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

користувачів від потенційних загроз. Машинне навчання дозволяє системам безпеки адаптуватися до нормальних патернів активності в будинку та автоматично виявляти аномальні ситуації, мінімізуючи кількість помилкових спрацювань [11].

Клімат-контроль та керування мікрокліматом забезпечують оптимальні умови проживання через автоматизоване регулювання температури, вологості, якості повітря та циркуляції повітря в різних зонах будинку. Інтелектуальні термостати та системи вентиляції використовують дані про присутність мешканців, погодні умови, час доби та індивідуальні переваги для створення персоналізованого клімату в кожному приміщенні. Інтеграція з метеорологічними службами дозволяє системі передбачати зміни погодних умов та заздалегідь адаптувати параметри мікроклімату [12].

Автоматизація побутових процесів охоплює керування освітленням, аудіо-відео системами, побутовими приладами та системами водопостачання. Інтелектуальне освітлення автоматично регулює яскравість та колірну температуру відповідно до часу доби, природного освітлення та активності користувачів. Розумні побутові прилади, такі як пральні машини, посудомийні машини, холодильники та духові шафи, можуть координувати свою роботу для оптимізації енергоспоживання та забезпечення максимальної зручності для користувачів [13].

Технології виявлення активності в розумних будинках базуються на комплексному використанні різноманітних типів сенсорів та алгоритмів обробки сигналів для моніторингу присутності та активності мешканців. Пасивні інфрачервоні сенсори (PIR) забезпечують виявлення руху через детектування змін в інфрачервоному випромінюванні, генерованому тілами людей та тварин. Калібрування PIR-сенсорів передбачає налаштування чутливості, кута огляду та часу затримки для мінімізації помилкових спрацювань та забезпечення надійного виявлення цільової активності. Дослідження показують, що PIR-сенсори забезпечують високу точність детектування при правильному налаштуванні параметрів затримки та кута виявлення [14].

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ультразвукові сенсори використовують принцип ехолокації для виявлення присутності та руху об'єктів через аналіз відбитих ультразвукових хвиль. Доплерівський ефект дозволяє визначати не лише факт присутності, але й напрямок та швидкість руху об'єктів у зоні спостереження. Мікрохвильові сенсори працюють на аналогічному принципі, але використовують електромагнітні хвилі мікрохвильового діапазону, що забезпечує більшу точність виявлення та стійкість до впливу навколишніх факторів [15].

Комп'ютерний зір на основі відеокамер та алгоритмів машинного навчання забезпечує найбільш детальну інформацію про активність в приміщеннях, включаючи розпізнавання конкретних осіб, аналіз поведінкових патернів та виявлення аномальних ситуацій. Технології глибокого навчання дозволяють системам відеоспостереження адаптуватися до специфічних умов експлуатації та підвищувати точність розпізнавання з часом. Приватність користувачів забезпечується через використання технік локальної обробки відео та анонімізації персональних даних [16].

Акустичні сенсори та системи аналізу звуку використовуються для виявлення специфічних акустичних сигнатур, пов'язаних з діяльністю мешканців, таких як відкривання дверей, кроки, розмови або звуки побутових приладів. Алгоритми машинного навчання дозволяють системам навчатися розпізнавати нормальні та аномальні звукові патерни, що забезпечує додатковий рівень безпеки та моніторингу. Обробка акустичних сигналів в режимі реального часу вимагає значних обчислювальних ресурсів та оптимізованих алгоритмів цифрової обробки сигналів [17].

1.3 Штучні нейронні мережі розумних будинків

Штучні нейронні мережі в контексті розумних будинків представляють собою обчислювальні моделі, інспіровані біологічними нейронними мережами, що здатні навчатися на основі даних, отриманих від IoT-пристроїв, та приймати автономні рішення для оптимізації функціонування житлового середовища.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Концептуальна основа застосування нейронних мереж у розумних будинках полягає в їхній здатності виявляти складні нелінійні залежності між множиною вхідних параметрів та генерувати оптимальні керуючі сигнали для досягнення заданих цілей комфорту, безпеки та енергоефективності [28].

Таблиця 1.3 – Характеристики бездротового стандарту домашньої мережі

Wireless Protocol	ZigBee	WiFi	Bluetooth LE
IEEE Standard	802.15.4	802.11	802.15.1
Frequency band	2.4 GHz	2.4 GHz, 5 GHz	2.4 GHz
Nominal range	100 m	150 m	10 m
Peak current consumption	30 mA	116 mA	12.5 mA
Power consumption per bit	185.9 μ W/bit	0.00525 μ W/bit	0.153 μ W/bit
Data Rate	250 Kbps	1Gbps	1 Mbps
Network topology	Star, Cluster, Mesh	Star, Mesh	Star-Bus
Number of nodes per network	65000	250/access point	one-to-many

Адаптивні властивості нейронних мереж дозволяють системам розумного будинку поступово покращувати свою роботу через накопичення досвіду взаємодії з користувачами та аналіз їхніх поведінкових патернів. Здатність до узагальнення забезпечує функціонування системи в умовах, що не зустрічалися під час навчання, що критично важливо для реальних додатків домашньої автоматизації. Розпаралелювання обчислень у нейронних мережах дозволяє ефективно використовувати сучасні багатоядерні процесори та спеціалізовані обчислювальні пристрої для прискорення процесів прийняття рішень [29]. Математична модель штучного нейрона базується на принципі зваженого сумування вхідних сигналів з

подальшим нелінійним перетворенням через функцію активації. Формальний опис нейрона включає вектор вхідних сигналів, вектор синаптичних ваг, функцію активації та вихідний сигнал. Вхідні сигнали представляють собою дані від сенсорів розумного будинку, такі як температура, вологість, освітлення, присутність людей та стан побутових приладів. Синаптичні ваги визначають силу зв'язку між вхідними сигналами та нейроном, а їхні значення налаштовуються в процесі навчання для оптимізації роботи системи [30].

Таблиця 1.4 – Архітектура розумного діму на основі IOT

User Application Layer		
Kernel Layer	Agent Management	Data Transportation
	Authentication and Authorization	State Monitor
Agent Layer	Agents	
Interface Layer	Appliance Specific Service Interface	
Resource Layer (Household appliances)		

Зважене сумування вхідних сигналів формує лінійну комбінацію, що представляє собою агрегований сигнал, який подається на вхід функції активації. Зміщення (bias) додається до зваженої суми для забезпечення додаткової гнучкості моделі та можливості генерації ненульових виходів при нульових вхідних сигналах. Математично модель нейрона описується рівнянням $y = f(\sum w_i x_i + b)$, де y - вихідний сигнал, f - функція активації, w_i - синаптичні ваги, x_i - вхідні сигнали, b - зміщення [31].

Динамічні властивості нейронних моделей дозволяють врахувати часові залежності в даних, що особливо важливо для систем розумного будинку, де стан середовища змінюється з часом. Рекурентні нейронні мережі здатні запам'ятовувати інформацію про попередні стани системи та використовувати її

для прийняття поточних рішень. Це дозволяє системам розумного будинку адаптуватися до циклічних патернів поведінки користувачів та передбачати їхні потреби [32].

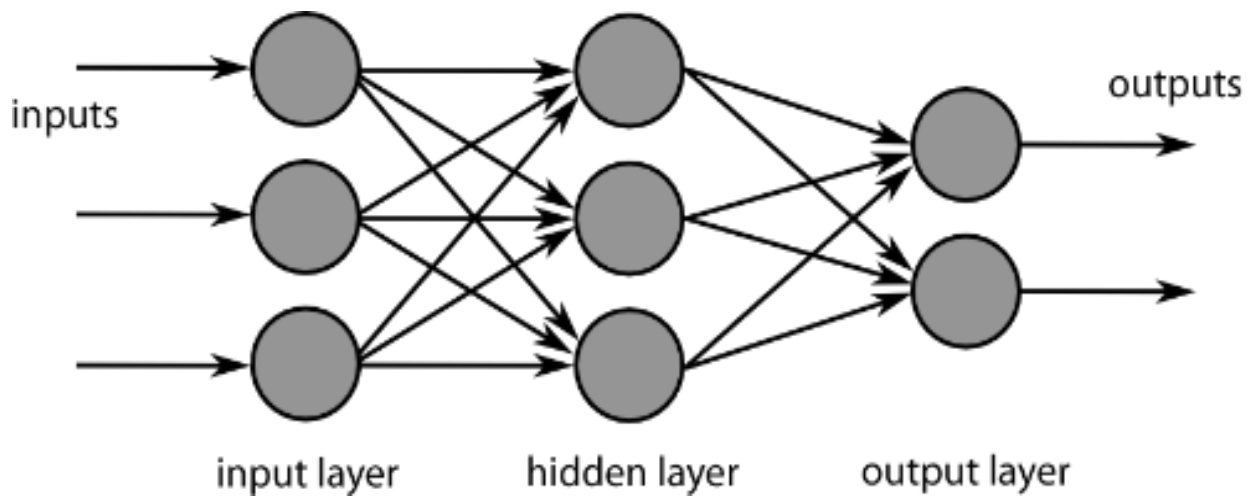


Рисунок 1.2 – Діаграма багатошарової штучної нейронної мережі зв'язком

Функції активації визначають нелінійні властивості штучних нейронів та забезпечують здатність нейронних мереж до апроксимації складних залежностей між вхідними та вихідними сигналами. Сигмоїдна функція активації забезпечує плавне перетворення вхідного сигналу в діапазон від 0 до 1, що корисно для моделювання ймовірностей та бінарних рішень у системах розумного будинку. Гіперболічний тангенс розширює діапазон вихідних значень від -1 до 1, що дозволяє представляти як позитивні, так і негативні впливи вхідних параметрів [33].

Функція ReLU (Rectified Linear Unit) та її модифікації стали стандартом для глибоких нейронних мереж завдяки своїй простоті та ефективності в процесі навчання. ReLU забезпечує швидку збіжність алгоритмів навчання та зменшує проблему зникаючих градієнтів у глибоких мережах. Модифікації ReLU, такі як Leaky ReLU та ELU, усувають проблему «мертвих» нейронів та забезпечують більш стабільне навчання [34].

Функція Swish та GELU представляють собою сучасні активаційні функції, що поєднують переваги сигмоїдних та ReLU-подібних функцій. Вони

забезпечують плавність та диференційовність на всій області визначення, що покращує якість навчання глибоких мереж для складних завдань автоматизації розумного будинку. Адаптивні функції активації дозволяють автоматично налаштовувати свої параметри в процесі навчання для оптимізації роботи конкретної архітектури мережі [35]. Багатошарові перцептрони представляють собою фундаментальну архітектуру штучних нейронних мереж, що складається з вхідного шару, одного або декількох прихованих шарів та вихідного шару. Вхідний шар отримує дані від сенсорів розумного будинку та передає їх до перших прихованих шарів для первинної обробки. Приховані шари виконують складні нелінійні перетворення вхідних даних, виявляючи приховані закономірності та залежності у поведінці системи. Вихідний шар генерує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв розумного будинку [36].

Конволюційні нейронні мережі особливо ефективні для обробки просторово-структурованих даних, наприклад, зображень від камер відеоспостереження або теплових карт приміщень. Конволюційні шари використовують фільтри для виявлення локальних ознак у вхідних даних, а операції пулінгу зменшують розмірність даних зберігаючи найважливішу інформацію. Архітектури типу ResNet та DenseNet забезпечують ефективне навчання дуже глибоких мереж через використання skip-connections та повторне використання ознак [37].

Рекурентні нейронні мережі, включаючи LSTM та GRU, спеціально розроблені для обробки послідовностей даних та врахування часових залежностей. Мережі LSTM здатні запам'ятовувати довготривалі залежності в даних, що критично важливо для розуміння циклічних патернів поведінки користувачів розумного будинку. Bidirectional LSTM обробляють послідовності в обох напрямках, що дозволяє враховувати як минулий, так і майбутній контекст при прийнятті рішень [38].

Регуляризація запобігає перенавчанню нейронних мереж через введення додаткових обмежень на складність моделі. L1 та L2 регуляризація додають штрафні терми до функції втрат, що стимулюють простоту моделі. Dropout випадково вимикає частину нейронів під час навчання, що змушує мережу розвивати більш робастні внутрішні представлення. Batch normalization нормалізує активації між шарами, що прискорює збіжність та покращує стабільність навчання [41].

Навчання з підкріпленням дозволяє нейронним мережам навчатися через взаємодію з середовищем та отримання винагороди за правильні дії. Q-learning та policy gradient методи знаходять оптимальні стратегії керування розумним будинком через максимізацію довготривалої винагороди. Actor-Critic архітектури поєднують переваги методів оцінки цінності та прямої оптимізації політики, що особливо ефективно для складних завдань автоматизації [42].

Правило виправлення помилок або дельта-правило представляє собою фундаментальний алгоритм навчання для одношарових нейронних мереж, що базується на мінімізації квадратичної помилки між бажаним та фактичним виходом мережі. Математична формулізація дельта-правила виражається через оновлення ваг пропорційно до добутку помилки та вхідного сигналу: $\Delta w_i = \eta(d - y)x_i$, де η - швидкість навчання, d - бажаний вихід, y - фактичний вихід, x_i - вхідний сигнал. Узагальнення дельта-правила для багатошарових мереж призвело до розробки алгоритму зворотного поширення помилки [43].

Адаптивна швидкість навчання дозволяє автоматично регулювати параметр η в процесі навчання для забезпечення оптимальної збіжності. Великі значення швидкості навчання прискорюють початкові етапи навчання, але можуть призвести до нестабільності на пізніших етапах. Малі значення забезпечують стабільність, але сповільнюють процес навчання. Адаптивні методи, такі як schedules та learning rate decay, динамічно змінюють швидкість навчання відповідно до прогресу оптимізації [44].

Momentum додає інерційний терм до оновлення ваг, що допомагає подолати локальні мінімуми та прискорює збіжність в напрямках з малими градієнтами. Nesterov momentum забезпечує випереджаючу оцінку градієнта, що покращує точність та стабільність процесу навчання. Комбінація дельта-правила з momentum забезпечує ефективне навчання нейронних мереж для завдань розумного будинку, де важливі як швидкість адаптації, так і стабільність роботи [45].

Системи розпізнавання голосових команд використовують глибокі нейронні мережі для перетворення акустичних сигналів в текстові команди та їх подальшої інтерпретації через алгоритми природного мовного оброблення. Рекурентні нейронні мережі та Transformer-архітектури забезпечують високу точність розпізнавання мовлення навіть в умовах шуму та акустичних перешкод. Багатомовні моделі дозволяють системі розуміти команди різними мовами, що особливо важливо для багатонаціональних сімей [46].

Прогнозування енергоспоживання та оптимізація роботи побутових приладів реалізуються через нейронні мережі, що аналізують історичні дані споживання, погодні умови, розклад активності користувачів та тарифи на електроенергію. LSTM-мережі ефективно моделюють сезонні та добові цикли енергоспоживання, дозволяючи системі передбачати потреби та автоматично керувати навантаженням. Reinforcement learning оптимізує стратегії керування для мінімізації витрат при збереженні комфорту користувачів [47].

Системи безпеки та виявлення аномалій використовують конволюційні нейронні мережі для аналізу відеопотоків та автоматичного виявлення підозрілих активностей. Unsupervised learning дозволяє системам навчатися розпізнавати нормальні патерни поведінки без попереднього маркування даних. Ensemble методи поєднують різні типи нейронних мереж для підвищення надійності та зменшення кількості помилкових спрацювань систем безпеки [48].

Персоналізація та адаптація до потреб користувачів забезпечується через neural collaborative filtering та recommender systems на основі глибокого навчання. Мережі аналізують поведінкові патерни користувачів, їхні переваги та зворотний

зв'язок для автоматичного налаштування параметрів освітлення, температури, музики та інших аспектів житлового середовища. Multi-task learning дозволяє одній моделі одночасно вирішувати декілька завдань персоналізації, що підвищує ефективність використання обчислювальних ресурсів [49].

1.4. Висновки

Розглянуті теоретичні основи розумних будинків з голосовими командами на базі технології Інтернету речей дозволяють стверджувати, що така система становить складний програмно-апаратний комплекс, який інтегрує різноманітні технології для автоматизації побутових процесів та підвищення комфорту проживання. Аналіз вітчизняних технологій показав, що український ринок розумних будинків знаходиться на стадії активного розвитку, однак більшість впроваджених рішень базується на імпортованих компонентах та програмному забезпеченні, що підкреслює актуальність розробки вітчизняних систем з урахуванням локальних потреб та особливостей.

Дослідження концепції розумних будинків виявило основні сфери їх застосування, серед яких найбільш затребуваними є управління освітленням, кліматом, безпекою, мультимедійними системами та побутовими приладами. Використання методів виявлення активності, заснованих на даних різноманітних сенсорів, забезпечує автоматизоване функціонування системи та адаптацію до звичок і потреб мешканців, що істотно підвищує енергоефективність та комфорт проживання.

Технології Інтернету речей становлять основу функціонування сучасних розумних будинків, забезпечуючи взаємодію між пристроями та централізоване управління. Аналіз стандартів підключення (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave) виявив їхні особливості, переваги та недоліки, що дозволяє обґрунтовано обирати оптимальні рішення для різних підсистем розумного будинку. Архітектура технологічної інфраструктури розумного будинку базується на багаторівневій

моделі, що включає рівні сенсорів та актуаторів, мережевий рівень, рівень обробки даних та рівень додатків, забезпечуючи модульність, масштабованість та надійність системи.

Штучні нейронні мережі відіграють ключову роль у забезпеченні інтелектуальних функцій розумного будинку, зокрема в розпізнаванні голосових команд. Розглянуті моделі нейронів, функції активації, архітектури штучних нейронних мереж та алгоритми навчання демонструють потенціал цих технологій для розвитку систем, здатних адаптуватися до поведінки користувачів, прогнозувати їхні потреби та вдосконалювати власну роботу. Застосування нейронних мереж у середовищі розумного будинку дозволяє реалізувати природні інтерфейси взаємодії, підвищити точність розпізнавання голосових команд та забезпечити персоналізацію функціонування системи.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ГОЛОСОВИМ КЕРУВАННЯМ 3

2.1 Вимоги до системи розумного будинку з голосовим керуванням

Проєктування системи розумного будинку з голосовим керуванням базується на визначенні комплексу вимог, які мають забезпечити ефективність, безпеку та зручність експлуатації. Аналіз сучасних тенденцій у галузі домашньої автоматизації дозволяє сформулювати ряд функціональних та нефункціональних вимог до системи.

Функціональні вимоги розумного будинку з голосовим керуванням визначають основний функціонал, який повинна забезпечувати система. Голосове керування має розпізнавати команди користувача для управління освітленням, опаленням, кондиціонуванням, мультимедійними системами, побутовою технікою, системами безпеки. Важливою функціональною вимогою постає здатність системи контролювати параметри середовища (температуру, вологість, рівень освітлення, наявність шкідливих речовин у повітрі) та реагувати на їх зміни відповідно до заданих алгоритмів. Система має забезпечувати можливість віддаленого доступу та керування через мережу Інтернет з використанням мобільного додатку або веб-інтерфейсу.

Нефункціональні вимоги стосуються якісних характеристик системи та визначають її надійність, безпеку, продуктивність. Надійність системи розумного будинку забезпечується резервуванням критичних компонентів, наявністю автономного живлення, можливістю функціонування основних підсистем при відсутності зовнішнього підключення до мережі Інтернет. Безпека передбачає захист від несанкціонованого доступу, шифрування даних при передачі через мережу, автентифікацію користувачів, захист від зловмисного втручання у роботу системи.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуктивність системи характеризується швидкістю відгуку на команди користувача, яка не повинна перевищувати 1-2 секунди для критичних функцій. Система має підтримувати одночасну роботу з кількома користувачами та обробку множинних запитів без суттєвого зниження продуктивності. Масштабованість передбачає можливість розширення системи новими пристроями та функціями без необхідності суттєвої перебудови архітектури.

Особливу увагу варто приділити питанням енергоефективності, оскільки розумний дім повинен не лише забезпечувати комфорт, але й оптимізувати використання енергоресурсів. Система має аналізувати патерни використання пристроїв та адаптувати їх роботу для мінімізації енергоспоживання без погіршення умов комфорту.

Питання сумісності та інтеграції постають одними з найсуттєвіших при проектуванні системи розумного будинку, оскільки на ринку присутня велика кількість пристроїв різних виробників, які використовують різні протоколи комунікації. Система повинна підтримувати стандартні протоколи (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave) та забезпечувати можливість інтеграції з існуючими системами домашньої автоматизації.

Вимоги до голосового керування заслуговують на окрему увагу, оскільки саме ця функціональність відрізняє досліджувану систему від традиційних рішень домашньої автоматизації. Система розпізнавання голосових команд повинна працювати з високою точністю (не менше 95% правильно розпізнаних команд) в умовах звичайного побутового шуму. Бажаною є підтримка кількох мов та можливість адаптації до особливостей вимови конкретного користувача.

Зручність використання системи забезпечується інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, мінімальними вимогами до технічних знань користувача, наявністю детальної документації та системи допомоги. Голосове керування повинно використовувати природні мовні конструкції, а не вимагати від користувача запам'ятовування специфічних команд.

2.2 Архітектура системи розумного будинку з голосовим керуванням

Архітектура системи розумного будинку з голосовим керуванням визначає структурну організацію компонентів системи, їх взаємозв'язки та принципи взаємодії. Загальна архітектура системи ґрунтується на багаторівневій моделі, яка забезпечує гнучкість, масштабованість та надійність.

Нижній рівень архітектури становлять фізичні пристрої – датчики, актуатори, контролери. Датчики здійснюють збір інформації про стан середовища (температура, вологість, освітленість, якість повітря, присутність людей тощо). Актуатори виконують фізичні дії для зміни стану об'єктів (вмикання/вимикання пристроїв, регулювання яскравості світла, відкриття/закриття дверей, вікон, штор). Контролери забезпечують безпосереднє керування фізичними пристроями та можуть виконувати базову логіку автоматизації навіть при відсутності з'єднання з верхніми рівнями системи.

Мережевий рівень забезпечує комунікацію між пристроями та верхніми рівнями системи. Він базується на різних технологіях зв'язку – дротових (Ethernet, RS-485, CAN) та бездротових (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, LoRa). Вибір конкретної технології залежить від вимог до дальності зв'язку, енергоспоживання, швидкості передачі даних, надійності. Мережевий рівень реалізує протоколи передачі даних, забезпечує маршрутизацію пакетів, контроль цілісності даних, шифрування для захисту від несанкціонованого доступу.

Рівень управління виконує функції координації роботи пристроїв, обробки даних, реалізації логіки автоматизації. Центральним елементом цього рівня виступає контролер розумного будинку – програмно-апаратний комплекс, який обробляє інформацію від датчиків, приймає рішення на основі запрограмованих алгоритмів та передає команди актуаторам. Контролер може бути реалізований на базі спеціалізованого обладнання або загальнодоступних платформ (Raspberry Pi, Arduino).

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Порівняння технологій бездротового зв'язку для систем розумного будинку

Характеристика	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee	Z-Wave	LoRa
Діапазон дії	50-100 м	10-100 м	10-100 м	30-100 м	2-15 км
Швидкість передачі даних	150-600 Мбіт/с	1-3 Мбіт/с	250 Кбіт/с	40-100 Кбіт/с	0.3-50 Кбіт/с
Енергоспоживання	Високе	Середнє	Низьке	Низьке	Дуже низьке
Частотний діапазон	2.4 ГГц, 5 ГГц	2.4 ГГц	2.4 ГГц	868-908 МГц	433/868/915 МГц
Топологія мережі	Зірка	Зірка, mesh	Mesh	Mesh	Зірка
Кількість пристроїв у мережі	250+	7-32	65000+	232	10000+
Безпека	WPA2/WPA3	AES-128	AES-128	AES-128	AES-128
Переваги	Висока швидкість, широке розповсюдження	Низьке енергоспоживання, простота	Надійність, mesh-мережа	Висока сумісність, стандартизація	Велика дальність, низьке енергоспоживання
Недоліки	Високе енергоспоживання, обмежена дальність	Обмежена кількість пристроїв	Складність налаштування	Закритий стандарт, обмежена швидкість	Низька швидкість передачі даних

Рівень управління виконує функції координації роботи пристроїв, обробки даних, реалізації логіки автоматизації. Центральним елементом цього рівня виступає контролер розумного будинку – програмно-апаратний комплекс, який обробляє інформацію від датчиків, приймає рішення на основі запрограмованих алгоритмів та передає команди актуаторам. Контролер може бути реалізований на

базі спеціалізованого обладнання або загальнодоступних платформ (Raspberry Pi, Arduino).

Особливе місце в архітектурі розумного будинку з голосовим керуванням займає підсистема розпізнавання та синтезу мовлення. Вона включає мікрофони для захоплення голосових команд, модуль попередньої обробки звуку (фільтрація шумів, нормалізація гучності), модуль розпізнавання мовлення, який перетворює аудіосигнал у текст, модуль розуміння природної мови для аналізу семантики команд, модуль синтезу мовлення для генерації голосових відповідей системи. Підсистема голосового керування може бути реалізована як локально на контролері розумного будинку, так і з використанням хмарних сервісів розпізнавання мовлення, що забезпечує вищу точність розпізнавання, але вимагає постійного підключення до Інтернету.

Рівень додатків надає інтерфейси для взаємодії користувачів з системою – мобільні додатки, веб-інтерфейси, голосові помічники. Цей рівень відповідає за візуалізацію стану системи, надання користувачу інформації про параметри середовища, стан пристроїв, енергоспоживання, генерацію сповіщень про важливі події, налаштування правил автоматизації.

Хмарний рівень не є обов'язковим, але його наявність розширює функціональні можливості системи. Хмарні сервіси забезпечують віддалений доступ до системи через Інтернет, зберігання історичних даних, аналіз патернів використання для оптимізації роботи системи, інтеграцію з зовнішніми сервісами (прогноз погоди, тарифи на електроенергію, сервіси розпізнавання мовлення).

Архітектура системи розумного будинку з голосовим керуванням повинна бути побудована за модульним принципом, що дозволяє гнучко налаштовувати конфігурацію системи відповідно до потреб конкретного користувача, легко додавати нові функціональні можливості, замінювати окремі компоненти без необхідності перебудови всієї системи.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

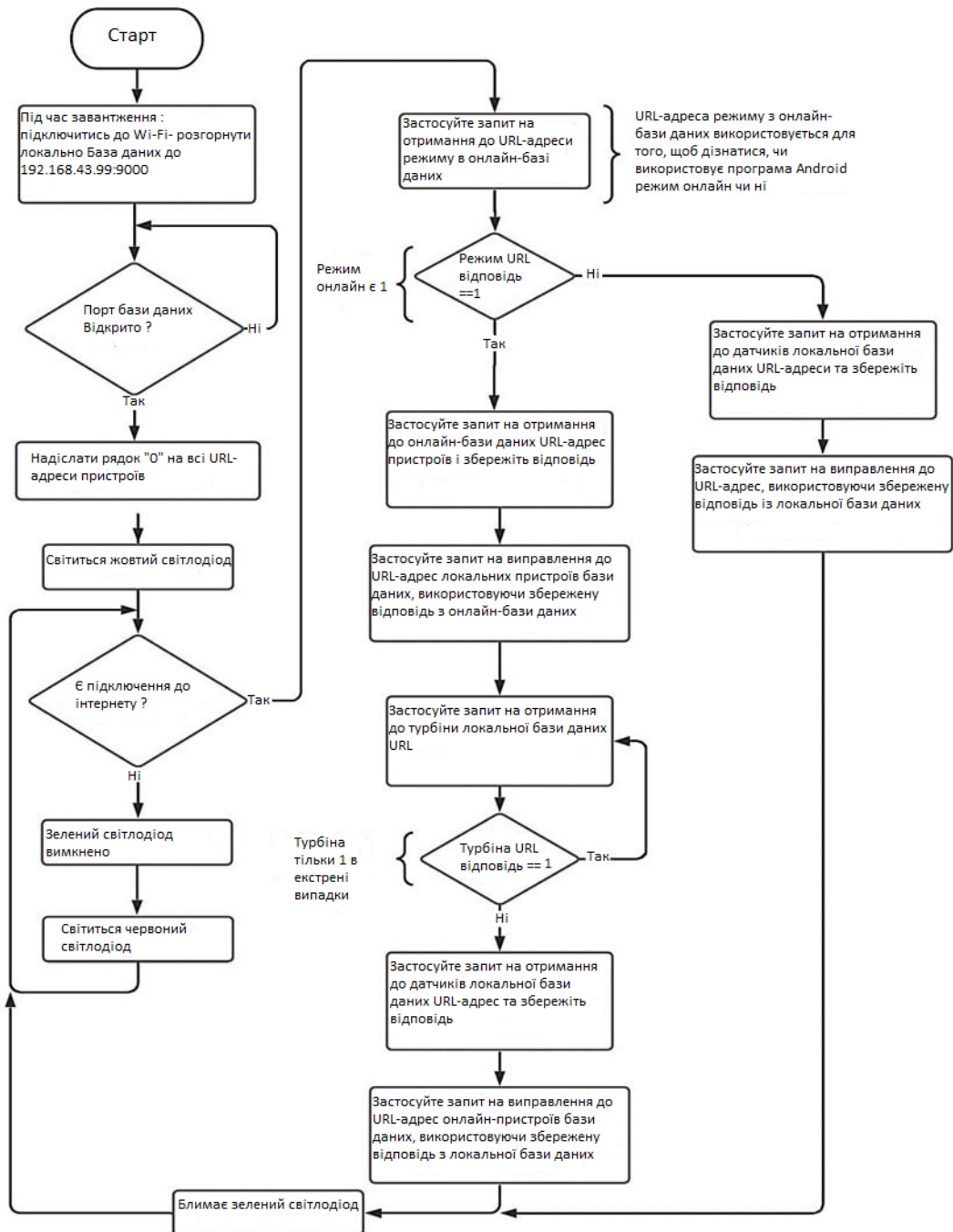


Рисунок 2.1 – Багаторівнева архітектура системи розумного будинку з голосовим керуванням

Важливим аспектом архітектури системи виступає забезпечення безпеки на всіх рівнях. Фізичний рівень безпеки передбачає захист обладнання від несанкціонованого доступу, резервування критичних компонентів, наявність джерел безперебійного живлення. Мережевий рівень безпеки забезпечує шифрування даних при передачі, автентифікацію пристроїв, захист від атак типу

"відмова в обслуговуванні". Програмний рівень безпеки включає контроль доступу до функцій системи, аудит дій користувачів, захист від шкідливого програмного забезпечення. Архітектура системи розумного будинку з голосовим керуванням повинна забезпечувати високу доступність послуг навіть при відмові окремих компонентів. Ключові функції системи (безпека, підтримка кліматичних параметрів) мають продовжувати працювати навіть при відсутності з'єднання з Інтернетом або виході з ладу центрального контролера. Механізми автоматичного відновлення після збоїв дозволяють мінімізувати потребу в технічному обслуговуванні системи. Розглянута архітектура системи розумного будинку з голосовим керуванням забезпечує гнучкість, масштабованість, надійність та безпеку, що відповідає сучасним вимогам до систем домашньої автоматизації.

2.3 Проектування апаратної частини системи розумного будинку

Проектування апаратної частини системи розумного будинку з голосовим керуванням передбачає вибір, конфігурування та інтеграцію різноманітних компонентів, які забезпечують реалізацію функціональних вимог до системи. Апаратна частина розумного будинку утворює фізичну основу для функціонування системи та визначає її технічні можливості.

Центральний контролер виступає ядром системи розумного будинку, забезпечуючи координацію роботи всіх підсистем. Оптимальним рішенням для реалізації центрального контролера постає використання одноплатних комп'ютерів, таких як Raspberry Pi, які поєднують достатню обчислювальну потужність з низьким енергоспоживанням. Raspberry Pi 4 Model B з 4 ГБ оперативної пам'яті та процесором Broadcom BCM2711 (чотириядерний Cortex-A72 з частотою 1.5 ГГц) забезпечує достатню продуктивність для обробки даних від множинних датчиків, виконання алгоритмів автоматизації та базової обробки голосових команд. Одноплатний комп'ютер доповнюється модулями розширення,

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(магнітоконтатні) забезпечують контроль стану отворів для реалізації функцій безпеки та енергозбереження. Датчики якості повітря (MQ-2, MQ-9) виявляють наявність шкідливих газів (чадний газ, метан) для попередження потенційно небезпечних ситуацій. Датчики споживання електроенергії (ESP8266 з модулем вимірювання струму) дозволяють аналізувати енергоспоживання окремих пристроїв та оптимізувати використання електроенергії.

Виконавчі пристрої (актуатори) реалізують фізичні дії для зміни стану об'єктів у будинку. Релейні модулі (4-канальні релейні модулі з оптичною ізоляцією) забезпечують керування електроживленням пристроїв. Розумні вимикачі світла (на базі ESP8266 з релейним модулем) дозволяють керувати освітленням як вручну, так і через систему автоматизації. Димери (на базі ESP8266 з модулем управління потужністю) забезпечують регулювання яскравості освітлення. Сервоприводи (MG996R) використовуються для керування шторами, жалюзі, клапанами опалення. Розумні термостати (на базі ESP32 з реле та датчиком температури) забезпечують керування системою опалення.

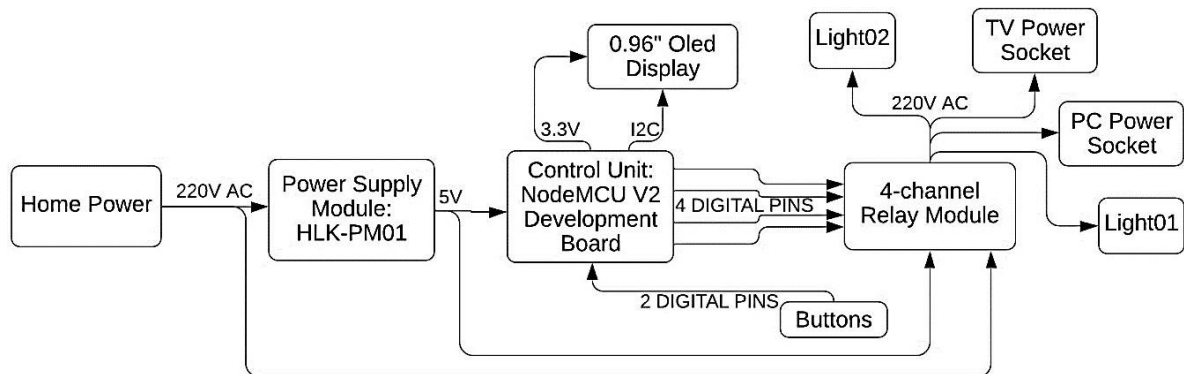


Рисунок 2.2 – Структурна схема апаратної частини системи розумного будинку з голосовим керуванням

Підсистема голосового керування вимагає розміщення мікрофонів у ключових зонах будинку для забезпечення можливості подання голосових команд з будь-якого місця. Оптимальним рішенням постає використання масивів мікрофонів (наприклад, ReSpeaker 4-Mic Array), які забезпечують спрямоване захоплення звуку та попередню фільтрацію шумів. Для відтворення голосових

повідомлень системи в кожному приміщенні встановлюються динаміки, які підключаються до центрального контролера через аудіоінтерфейс або бездротово за допомогою Bluetooth. Альтернативним рішенням може бути використання розумних колонок (наприклад, Google Home Mini), які поєднують функції мікрофона та динаміка, а також можуть виконувати базову обробку голосових команд.

Мережева інфраструктура забезпечує комунікацію між компонентами системи та доступ до зовнішніх ресурсів. Основу мережевої інфраструктури становить маршрутизатор з підтримкою Wi-Fi 802.11ac (або новіших стандартів), який забезпечує підключення пристроїв до локальної мережі та доступ до Інтернету. Для розширення зони покриття Wi-Fi використовуються точки доступу або mesh-системи, які забезпечують безшовне покриття всього будинку. Для інтеграції пристроїв, які використовують спеціалізовані протоколи зв'язку (Zigbee, Z-Wave), застосовуються відповідні шлюзи, що забезпечують трансляцію команд між різними протоколами.

Розміщення компонентів системи розумного будинку вимагає ретельного планування для забезпечення оптимального покриття всіх приміщень, мінімізації довжини кабельних трас, забезпечення надійності функціонування. Центральний контролер розміщується у технічному приміщенні з доступом до мережі електроживлення та Ethernet. Датчики розміщуються з урахуванням їх зони дії та специфіки вимірюваних параметрів (наприклад, датчики температури не повинні розміщуватися поблизу джерел тепла, датчики руху повинні мати повний огляд контрольованого приміщення). Мікрофони розміщуються на стелі або стінах у ключових зонах (вітальня, кухня, спальні) на висоті, яка забезпечує оптимальне захоплення голосу.

Особлива увага при проектуванні апаратної частини приділяється питанням електробезпеки. Усі компоненти, які працюють з мережевою напругою, повинні розміщуватись у спеціальних корпусах з відповідним ступенем захисту. Електропроводка повинна виконуватись з дотриманням вимог та бути захищеною

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичними вимикачами та пристроями захисного відключення. Для захисту від перенапруг, які можуть виникати при грозових розрядах, застосовуються пристрої захисту від імпульсних перенапруг.

Проектування апаратної частини системи розумного будинку з голосовим керуванням завершується створенням детальних специфікацій обладнання, схем підключення та монтажних креслень, які дозволяють здійснити реалізацію системи з дотриманням усіх технічних вимог.

2.4 Проектування програмної частини системи розумного будинку

Проектування програмної частини системи розумного будинку з голосовим керуванням базується на багаторівневій архітектурі, яка забезпечує модульність, масштабованість та надійність системи. Стек програмних технологій розумного будинку включає системне програмне забезпечення, проміжне програмне забезпечення для взаємодії з пристроями, серверну частину для обробки даних та клієнтські додатки для взаємодії з користувачами.

Системне програмне забезпечення центрального контролера побудоване на базі Linux-подібної операційної системи, оптимізованої для роботи на обмежених апаратних ресурсах. Використання Raspberry Pi OS забезпечує стабільність роботи, підтримку широкого спектру периферійних пристроїв та можливість тонкого налаштування параметрів системи. Оптимізація операційної системи включає відключення непотрібних служб, налаштування автоматичного відновлення після збоїв, мінімізацію операцій запису на SD-карту для подовження її терміну служби.

Проміжне програмне забезпечення для взаємодії з пристроями реалізує драйвери та протоколи комунікації з фізичними компонентами системи. Драйвери пристроїв розробляються з використанням мов програмування C/C++ для забезпечення максимальної продуктивності та мінімального споживання ресурсів. Абстракція апаратного рівня дозволяє уніфікувати інтерфейси взаємодії з різними типами пристроїв та спростити їх інтеграцію в систему.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серверна частина системи розумного будинку реалізує логіку обробки даних, автоматизацію процесів, взаємодію з зовнішніми сервісами. Центральним компонентом серверної частини виступає платформа домашньої автоматизації, яка забезпечує агрегацію даних від пристроїв, виконання сценаріїв автоматизації, генерацію сповіщень, візуалізацію стану системи. Home Assistant, реалізований на мові Python, надає широкі можливості для інтеграції різноманітних пристроїв та сервісів, має активну спільноту розробників та користувачів.

Брокер повідомлень MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) забезпечує асинхронний обмін повідомленнями між компонентами системи за принципом "публікація-підписка".

Таблиця 2.3 – Структура програмного забезпечення розумного будинку з голосовим керуванням

Рівень програмного забезпечення	Компоненти	Технології реалізації
Системний рівень	Операційна система	Raspberry Pi OS (Debian-based)
	Драйвери пристроїв	C/C++, Python, Device Tree
	Мережеві сервіси	Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave стеки
Рівень проміжного ПЗ	Платформа домашньої автоматизації	Home Assistant, OpenHAB
	Брокер повідомлень	MQTT (Mosquitto), RabbitMQ
	База даних	InfluxDB, SQLite, PostgreSQL
	Серверний рівень	API сервер
Сервіс автоматизації		YAML-скрипти, Node-RED
Сервіс голосового керування		DeepSpeech, Kaldi, DialogFlow
Клієнтський рівень	Веб-інтерфейс	HTML5, CSS3, JavaScript, React
	Мобільний додаток	Flutter, React Native
	Голосовий інтерфейс	TTS/STT, DSP бібліотеки

Архітектура програмного забезпечення розумного будинку передбачає використання мікросервісного підходу, при якому система розбивається на набір незалежних сервісів, кожен з яких відповідає за певну функціональність. Сервіс автоматизації обробляє події від датчиків та генерує команди для актуаторів відповідно до заданих правил. Сервіс сповіщень забезпечує генерацію та доставку повідомлень користувачам через різні канали (push-сповіщення, електронна пошта, SMS). Сервіс історичних даних зберігає та аналізує інформацію від датчиків для виявлення трендів та оптимізації роботи системи.

Таблиця 2.4 – Мови програмування та фреймворки для розробки системи розумного будинку

Компонент	Мова програмування	Фреймворки та бібліотеки	Обґрунтування вибору
Драйвери периферійних пристроїв	C/C++	WiringPi, pigpio	Висока продуктивність, низькорівневий доступ до апаратури
Платформа домашньої автоматизації	Python	Home Assistant, asyncio	Багата екосистема бібліотек, простота розробки
Сервіс автоматизації	JavaScript	Node.js, Node-RED	Асинхронна модель, велика кількість готових компонентів
Сервіс аналізу даних	Python	NumPy, Pandas, scikit-learn	Потужні інструменти для аналізу даних та машинного навчання
Веб-інтерфейс	JavaScript	React, Redux, Material-UI	Сучасний підхід до розробки інтерактивних інтерфейсів
Мобільний додаток	Dart	Flutter	Крос-платформний розвиток, висока продуктивність
Голосовий інтерфейс	Python	DeepSpeech, TensorFlow	Потужні інструменти для обробки природної мови

Сховище даних системи розумного будинку реалізується з використанням спеціалізованих баз даних часових рядів, таких як InfluxDB, які оптимізовані для

зберігання та аналізу даних з часовими мітками. Для зберігання конфігурації системи, налаштувань користувачів, сценаріїв автоматизації використовуються реляційні бази даних (SQLite для невеликих систем, PostgreSQL для систем з високими вимогами до продуктивності та надійності).

Клієнтська частина системи розумного будинку включає веб-інтерфейс, мобільний додаток та голосовий інтерфейс для взаємодії з користувачами. Веб-інтерфейс реалізується з використанням сучасних фреймворків для розробки односторінкових додатків (React, Vue.js), які забезпечують швидкодію та інтерактивність інтерфейсу. Мобільний додаток розробляється з використанням крос-платформних технологій (Flutter, React Native), які дозволяють створити єдиний кодовий базис для додатків на платформах iOS та Android.

Архітектура програмної системи розумного будинку передбачає використання RESTful API для взаємодії між клієнтськими додатками та серверною частиною. API забезпечує уніфікований інтерфейс для доступу до функціональності системи, абстрагуючи клієнтські додатки від внутрішньої структури серверної частини. Для забезпечення реактивності інтерфейсу використовуються технології асинхронного обміну даними (WebSocket, Server-Sent Events), які дозволяють оперативно відображати зміни стану системи на клієнтських пристроях.

Безпека програмного забезпечення розумного будинку реалізується на кількох рівнях. Автентифікація користувачів забезпечується з використанням сучасних методів (OAuth 2.0, JWT), які дозволяють реалізувати єдиний вхід та багатофакторну автентифікацію. Авторизація доступу до функцій системи базується на ролевій моделі, яка дозволяє гнучко налаштовувати права користувачів. Захист каналів зв'язку забезпечується використанням шифрування TLS для всіх мережевих взаємодій. Захист даних включає шифрування чутливої інформації, анонімізацію персональних даних, регулярне резервне копіювання.

Надійність програмного забезпечення розумного будинку забезпечується застосуванням практик стійкого програмування. Механізми обробки помилок

дозволяють системі коректно реагувати на непередбачені ситуації та продовжувати функціонування. Моніторинг стану системи забезпечує раннє виявлення проблем та автоматичне відновлення після збоїв. Архітектура системи передбачає деградацію функціональності при відмові окремих компонентів, забезпечуючи безперервну роботу критичних функцій.

Процес розробки програмного забезпечення розумного будинку ґрунтується на гнучких методологіях, які дозволяють адаптувати систему до змінюваних вимог та швидко впроваджувати нові функціональні можливості. Використання контролю версій (Git) забезпечує відстеження змін у кодовій базі та спрощує командну роботу. Автоматизація процесів збірки, тестування та розгортання (CI/CD) дозволяє скоротити час виведення нових версій програмного забезпечення та підвищити його якість.

Тестування програмного забезпечення розумного будинку включає модульне тестування окремих компонентів, інтеграційне тестування взаємодії між компонентами, функціональне тестування відповідності вимогам, нефункціональне тестування продуктивності та надійності. Особлива увага приділяється тестуванню безпеки для виявлення потенційних вразливостей та їх усунення.

Документація програмного забезпечення розумного будинку включає технічну документацію для розробників, адміністраторів та інтеграторів, а також користувацьку документацію, яка пояснює принципи роботи системи та способи взаємодії з нею. Документація розробляється паралельно з розробкою програмного забезпечення та регулярно оновлюється для відображення поточного стану системи.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Механізми забезпечення безпеки в програмній частині розумного будинку

Рівень захисту	Механізми безпеки	Опис
Автентифікація	Багатофакторна автентифікація	Поєднання паролю з одноразовими кодами або біометричними даними
	OAuth 2.0	Протокол делегованої автентифікації
	JWT (JSON Web Token)	Технологія безпечної передачі даних між сторонами
Авторизація	Ролева модель доступу	Розмежування доступу до функцій системи на основі ролей користувачів
	Атрибутивна модель доступу	Гнучке налаштування прав доступу на основі атрибутів користувачів та ресурсів
Захист даних	Шифрування даних у спокої	Захист даних, що зберігаються в базі даних
	Шифрування даних при передачі	Захист даних, що передаються по мережі (TLS)
	Анонімізація персональних даних	Заміна ідентифікуючої інформації на псевдоніми
Захист від атак	Аудит подій безпеки	Реєстрація та аналіз подій безпеки для виявлення спроб несанкціонованого доступу
	Захист від ін'єкцій	Валідація вхідних даних для запобігання SQL-ін'єкціям, XSS-атакам
	Захист від DoS-атак	Обмеження кількості запитів, фільтрація трафіку
Безпека розробки	Аналіз коду	Статичний та динамічний аналіз коду для виявлення вразливостей
	Контроль залежностей	Моніторинг вразливостей у сторонніх бібліотеках
	Безпечний цикл розробки	Інтеграція практик безпеки в процес розробки програмного забезпечення

Таблиця 2.6 – Функціональні модулі програмного забезпечення розумного будинку

Функціональний модуль	Призначення	Компоненти
Модуль збору даних	Отримання та первинна обробка даних від датчиків	Драйвери датчиків, агенти збору даних, механізми буферизації
Модуль автоматизації	Виконання сценаріїв автоматизації на основі правил та подій	Рушій правил, планувальник завдань, обробники подій
Модуль голосового керування	Розпізнавання та обробка голосових команд	STT-процесор, аналізатор намірів, генератор відповідей
Модуль безпеки	Забезпечення безпеки системи та об'єкта	Контроль доступу, відеоспостереження, сигналізація
Модуль управління кліматом	Контроль та регулювання кліматичних параметрів	Термостати, вентиляція, кондиціонування
Модуль управління освітленням	Керування освітлювальними приладами	Контролери освітлення, сценарії освітлення
Модуль енергоменеджменту	Моніторинг та оптимізація енергоспоживання	Лічильники енергії, аналізатори споживання, оптимізатори
Модуль мультимедіа	Керування аудіо/відео системами	Медіасервер, контролери мультимедійних пристроїв
Модуль візуалізації	Відображення стану системи та інтерфейс користувача	Веб-інтерфейс, мобільний додаток, інформаційні панелі
Модуль аналітики	Аналіз даних та генерація звітів	Агрегатори даних, аналітичні інструменти, генератори звітів

2.5 Проектування підсистеми голосового керування

Підсистема голосового керування виступає ключовим елементом розумного будинку, забезпечуючи природний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс взаємодії людини з технологічними системами. Проектування цієї підсистеми охоплює кілька взаємопов'язаних аспектів – апаратне забезпечення для захоплення та відтворення звуку, програмні компоненти для обробки мовлення, лінгвістичні моделі для розпізнавання команд.

Архітектура підсистеми голосового керування розумним будинком базується на багаторічній обробці аудіосигналу. Процес починається із захоплення звуку за допомогою масивів мікрофонів, розташованих у ключових зонах будинку. Використання масивів мікрофонів (наприклад, ReSpeaker 4-Mic Array) забезпечує спрямоване захоплення звуку та попередню фільтрацію шумів. Сигнал з мікрофонів проходить первинну обробку – фільтрацію шумів, нормалізацію гучності, сегментацію на окремі фрагменти мовлення.

Наступним етапом виступає виявлення ключових слів, які активують систему голосового керування. Для цього використовуються спеціалізовані алгоритми, які безперервно аналізують аудіопотік на наявність заданих фраз активації (наприклад, "Гей, будинок" або "Окей, система"). Виявлення ключового слова сигналізує про початок голосової команди та ініціює процес повноцінного розпізнавання мовлення. Процес розпізнавання мовлення перетворює аудіосигнал голосової команди в текстове представлення. Для цього використовуються моделі машинного навчання, зокрема глибокі нейронні мережі, які аналізують спектрограму звукового сигналу та перетворюють її на послідовність фонем, а потім – на слова та фрази. Розпізнавання мовлення може реалізовуватися як локально на центральному контролері розумного будинку, так і з використанням хмарних сервісів. Локальне розпізнавання мовлення забезпечує незалежність від підключення до Інтернету та вищий рівень приватності, оскільки аудіодані не передаються на зовнішні сервери. Для локального розпізнавання мовлення можуть

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуватися відкриті рішення, такі як Mozilla DeepSpeech або Kaldi. Однак локальні рішення мають обмеження в точності розпізнавання, особливо для мов з обмеженою кількістю доступних навчальних даних, та вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Хмарні сервіси розпізнавання мовлення (Google Speech-to-Text, Amazon Alexa Voice Service, Microsoft Azure Speech Services) забезпечують вищу точність розпізнавання та підтримку більшої кількості мов, але вимагають постійного підключення до Інтернету та передбачають передачу аудіоданих на сервери провайдера послуг, що може викликати занепокоєння щодо приватності.

Після перетворення аудіосигналу в текст виконується аналіз отриманого тексту для виділення намірів користувача та параметрів команди. Для цього використовуються методи обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP), зокрема синтаксичний аналіз для визначення структури речення, семантичний аналіз для виділення сутностей та відношень між ними, прагматичний аналіз для визначення контексту та намірів мовця.

Для аналізу намірів користувача можуть використовуватися спеціалізовані платформи обробки природної мови, такі як Dialogflow (Google), LUIS (Microsoft), Lex (Amazon), які дозволяють визначати наміри користувача, виділяти параметри команди та будувати діалогові сценарії. Альтернативою є створення власної системи аналізу намірів з використанням методів машинного навчання та бібліотек обробки природної мови (spaCy, NLTK, Stanford NLP).

Модель предметної області використовується для нормалізації розпізнаних команд та перетворення їх у формалізовані запити до системи управління розумним будинком. Модель предметної області включає:

- Категорії пристроїв (освітлення, опалення, кондиціонування, мультимедіа, безпека).
- Конкретні пристрої в кожній категорії (люстра у вітальні, кондиціонер у спальні).

можуть використовуватися як локальні рішення (eSpeak, Festival), так і хмарні сервіси (Google Text-to-Speech, Amazon Polly, Microsoft Azure Text-to-Speech).

Сучасні технології синтезу мовлення на основі нейронних мереж (WaveNet, Tacotron) забезпечують високу якість звучання, наближену до природного людського голосу, з правильною інтонацією та наголосами. Генерація голосових відповідей має враховувати контекст взаємодії, адаптуючи стиль та інтонацію відповідно до ситуації.

Підсистема голосового керування повинна забезпечувати стійкість до різних акцентів, темпів мовлення, фонових шумів. Для підвищення точності розпізнавання може використовуватися адаптація акустичної моделі до голосу конкретного користувача та умов середовища. Мовна модель може розширюватися спеціалізованими термінами та командами, характерними для домашньої автоматизації. Проектування підсистеми голосового керування також включає розробку методів обробки помилок розпізнавання та механізмів зворотного зв'язку. Якщо система не може розпізнати команду або виконати її, вона повинна надати користувачу зрозуміле повідомлення про проблему та запропонувати альтернативні дії. Механізми зворотного зв'язку включають голосові підтвердження, звукові сигнали, візуальні індикатори на пристроях відображення.

2.6 Інтеграція компонентів системи розумного будинку

Інтеграція компонентів системи розумного будинку з голосовим керуванням становить критично важливий етап проектування, що забезпечує ефективну взаємодію різнорідних апаратних та програмних елементів для створення цілісної, злагоджено функціонуючої системи. Комплексний підхід до інтеграції дозволяє об'єднати компоненти різних виробників, технологій та протоколів у єдиний екосистемний простір, де забезпечується безперебійний обмін даними, координація процесів та централізоване управління.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стратегія інтеграції системи розумного будинку визначається багаторівневою моделлю, яка охоплює фізичний рівень підключення пристроїв, мережевий рівень комунікації, програмний рівень управління та користувацький рівень взаємодії. Поступний підхід до інтеграції передбачає послідовне впровадження компонентів системи з поступовим розширенням функціональності, що дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити стабільність роботи на кожному етапі.

Фізична інтеграція компонентів розумного будинку охоплює проектування схем підключення пристроїв, визначення топології мережі, планування кабельних трас та розміщення бездротових точок доступу. Особливу увагу приділяють забезпеченню електромагнітної сумісності компонентів, мінімізації інтерференції радіосигналів, резервуванню критичних з'єднань. Комплексне планування фізичної інтеграції вимагає врахування особливостей приміщень, електропроводки, розташування меблів та інших факторів, що можуть впливати на якість зв'язку між пристроями.

Протоколи зв'язку відіграють визначальну роль у забезпеченні комунікації між компонентами системи розумного будинку. Різноманітність технологій бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, Thread) та дротових інтерфейсів (Ethernet, RS-485, KNX) вимагає створення інтеграційної стратегії, яка забезпечує їх ефективну взаємодію. Вибір оптимальних протоколів для різних типів пристроїв залежить від вимог до дальності зв'язку, швидкості передачі даних, енергоспоживання, надійності та безпеки.

Шлюзи та концентратори становлять ключові елементи інтеграційної інфраструктури, забезпечуючи взаємодію між пристроями з різними протоколами зв'язку. Універсальні шлюзи (Hubitat Elevation, Home Assistant Yellow, Samsung SmartThings) підтримують кілька протоколів бездротового зв'язку та надають уніфікований інтерфейс для управління різнорідними пристроями. Спеціалізовані шлюзи (Philips Hue Bridge, IKEA TRÅDFRI Gateway) забезпечують інтеграцію пристроїв конкретного виробника з загальною системою розумного будинку.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 – Матриця інтеграції компонентів системи розумного будинку

Категорія пристроїв	Протоколи зв'язку	Методи інтеграції	Рівень пріоритету	Проблеми інтеграції
Освітлення	ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi	API, шлюзи, MQTT	Високий	Різноманітність протоколів, сумісність димерів
Кліматичне обладнання	ModBus, KNX, Wi-Fi	API, REST інтерфейси, MQTT	Високий	Складність алгоритмів управління, інерційність систем
Системи безпеки	Ethernet, Wi-Fi, Z-Wave	API, RTSP, ONVIF	Критичний	Необхідність резервування каналів, шифрування даних
Мультимедійні системи	HDMI-CEC, Wi-Fi, IR	API, REST, веб-сокети	Середній	Різні формати команд, затримки відгуку
Побутова техніка	Wi-Fi, Bluetooth	Фірмові API, MQTT	Низький	Закритість протоколів, обмежена функціональність API
Датчики середовища	ZigBee, Z-Wave, 1-Wire	MQTT, прямий доступ	Високий	Оптимізація енергоспоживання, стабільність з'єднання
Голосові помічники	Wi-Fi, Bluetooth	REST API, WebSockets	Високий	Локалізація розпізнавання, приватність даних
Системи енергоменеджменту	ModBus, KNX, M-Bus	API, MQTT, OPC UA	Середній	Складність протоколів, потреба в кастомізації
Засоби доступу	Z-Wave, Bluetooth, Wi-Fi	API, прямий доступ	Критичний	Захист від несанкціонованого доступу, резервування
Системи зрошення	ZigBee, LoRa, Wi-Fi	MQTT, REST API	Низький	Вологостійкість обладнання, дальність зв'язку

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розробка стратегії використання шлюзів передбачає аналіз їх функціональних можливостей, обмежень, вимог до розміщення та підключення.

Програмна інтеграція компонентів розумного будинку реалізується на рівні платформи домашньої автоматизації, яка забезпечує централізоване управління, моніторинг та автоматизацію. Відкриті платформи (Home Assistant, OpenHAB) надають широкі можливості для інтеграції різноманітних пристроїв через систему розширень, плагінів та інтеграцій. Вибір оптимальної платформи залежить від вимог до функціональності, гнучкості налаштування, підтримки необхідних протоколів та пристроїв, складності адміністрування.

Брокери повідомлень відіграють важливу роль у забезпеченні асинхронного обміну даними між компонентами системи розумного будинку. Технологія MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) широко використовується в системах домашньої автоматизації завдяки своїй легковажності, масштабованості та надійності. MQTT-брокер (Mosquitto, HiveMQ, EMQ X) виступає центральним вузлом системи, через який проходять повідомлення між пристроями та сервісами. Налаштування брокера повідомлень включає визначення топіків для різних типів повідомлень, налаштування рівнів якості обслуговування (QoS), конфігурування автентифікації та шифрування.

Інтеграція систем безпеки вимагає особливого підходу, який забезпечує високий рівень надійності та захищеності. Системи контролю доступу, відеоспостереження, сигналізації повинні інтегруватися з загальною системою розумного дому, забезпечуючи централізований моніторинг та управління, але при цьому зберігати функціональну автономність на випадок відмови інших компонентів системи. Інтеграція передбачає налаштування захищених каналів зв'язку, розмежування прав доступу, реалізацію механізмів авторизації та аудиту дій.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.10 – Порівняння технологій інтеграції компонентів розумного будинку

Технологія інтеграції	Переваги	Недоліки	Оптимальні сценарії використання
API (REST, GraphQL)	Стандартизований підхід, широка підтримка, простота реалізації	Синхронна модель взаємодії, потенційні затримки	Інтеграція з хмарними сервісами, веб-інтерфейси
MQTT	Асинхронна модель, низькі накладні витрати, підтримка QoS	Додаткова інфраструктура (брокер), складність налаштування безпеки	Комунікація між пристроями, IoT-сенсори, системи моніторингу
WebSocket	Двонаправлений зв'язок, реактивність, низька затримка	Складність масштабування, проблеми з проходженням через проксі	Реактивні інтерфейси, потокова передача даних, чат-боти
Шлюзи інтеграції	Підтримка різних протоколів, централізоване управління	Єдина точка відмови, обмеження пропускнуої здатності	Об'єднання екосистем різних виробників, legacy-системи
Локальні шини даних	Висока швидкість, низькі затримки, незалежність від мережі	Обмежена дальність, складність розширення	Критичні системи, реального часу, промислова автоматизація
Хмарні платформи	Масштабованість, доступність з будь-якої точки, сервісна модель	Залежність від Інтернету, питання приватності, абонплата	Віддалений доступ, складна аналітика, інтеграція сервісів
Прямі інтеграції	Простота реалізації, мінімальні накладні витрати	Обмежена масштабованість, складність підтримки	Невеликі системи, прототипи, критичні компоненти
SDK/Бібліотеки	Глибока інтеграція, оптимізація продуктивності	Залежність від версій, складність оновлення	Кастомні рішення, складні алгоритми управління
OPC UA	Стандартизація, семантичні моделі, безпека	Складність, високі вимоги до ресурсів	Промислові системи, критичні інфраструктури
Z-Wave/ZigBee шлюзи	Стандартизовані протоколи, низьке енергоспоживання	Обмежена функціональність, залежність від апаратного забезпечення	Енергоефективні пристрої, автономні датчики, розподілені системи

Кінець таблиці 2.11

4. Інтеграція кліматичних систем	Підключення термостатів, кондиціонерів, вентиляції	API-інтеграції, конфігурування MQTT-брокера	Централізоване управління кліматичними параметрами, автоматичне регулювання
5. Впровадження сенсорної мережі	Розміщення та підключення датчиків, налаштування моніторингу	Конфігурування ZigBee-мережі, налаштування MQTT-топиків	Збір даних від усіх датчиків, візуалізація параметрів середовища
6. Інтеграція систем безпеки	Підключення систем відеоспостереження, контролю доступу, сигналізації	RTSP-потоків, API-інтеграції, налаштування тригерів	Централізований моніторинг безпеки, автоматичні реакції на події
7. Розгортання голосового керування	Встановлення мікрофонів, налаштування розпізнавання команд	Конфігурування STT/TTS сервісів, розробка моделей команд	Розпізнавання базового набору команд, виконання простих дій

Автоматизація процесів інтеграції дозволяє спростити розгортання та конфігурування компонентів системи розумного будинку. Інструменти автоматизації інфраструктури (Ansible, Puppet, Chef) забезпечують декларативне визначення конфігурації системи та її автоматичне розгортання. Системи контейнеризації (Docker, Kubernetes) дозволяють створювати ізольовані середовища для різних сервісів, що спрощує їх розгортання та масштабування. Використання методології CI/CD (Continuous Integration/Continuous Deployment) для програмних компонентів системи забезпечує автоматизацію процесів збірки, тестування та розгортання, що підвищує якість та швидкість впровадження змін.

Тестування інтеграції компонентів розумного будинку охоплює перевірку взаємодії між різними підсистемами, аналіз продуктивності та надійності функціонування. Тестування включає перевірку коректності передачі команд від підсистеми голосового керування до пристроїв, аналіз затримок відгуку, оцінку стійкості системи до відмов окремих компонентів. Важливим аспектом тестування

виступає перевірка безпеки системи, включаючи аналіз захищеності каналів зв'язку, механізмів автентифікації та авторизації, стійкості до різних типів атак.

Масштабованість та розширюваність інтеграційної архітектури визначає можливості системи розумного будинку адаптуватися до змінюваних вимог та включати нові компоненти. Модульний підхід до інтеграції, використання стандартизованих інтерфейсів та протоколів, відкрита архітектура платформи домашньої автоматизації забезпечують можливість розширення системи без необхідності суттєвої перебудови існуючої інфраструктури. Планування розширення системи передбачає аналіз потенційних напрямків розвитку, оцінку ресурсних вимог, розробку стратегії міграції.

Документування процесів інтеграції забезпечує збереження знань про архітектуру системи, конфігурацію компонентів, особливості взаємодії. Документація включає архітектурні діаграми, схеми підключення, конфігураційні файли, інструкції з розгортання та адміністрування. Важливим аспектом документування виступає опис інтерфейсів взаємодії між компонентами, який забезпечує можливість модифікації або заміни окремих елементів системи без порушення загальної функціональності.

Моніторинг та діагностика інтегрованої системи забезпечують контроль її стану, виявлення проблем та оперативне реагування на збої. Система моніторингу збирає інформацію про доступність компонентів, продуктивність, використання ресурсів, помилки та попередження. Інструменти діагностики дозволяють аналізувати логи, трасувати запити, візуалізувати потоки даних для виявлення причин проблем та їх усунення.

Забезпечення надійності інтегрованої системи вимагає реалізації механізмів резервування критичних компонентів, автоматичного відновлення після збоїв, деградації функціональності при відмові окремих елементів. Стратегія забезпечення надійності включає аналіз потенційних точок відмови, розробку планів резервування, реалізацію механізмів виявлення та усунення збоїв. Особлива

увага приділяється забезпеченню надійності функціонування критичних підсистем (безпека, життєзабезпечення) навіть при відмові інших компонентів системи.

Завершальним етапом інтеграції компонентів системи розумного будинку виступає оптимізація її роботи, яка включає налаштування параметрів функціонування для забезпечення максимальної продуктивності, енергоефективності та зручності використання. Оптимізація передбачає аналіз патернів використання системи, виявлення вузьких місць, коригування конфігурації для підвищення ефективності роботи. Важливим аспектом оптимізації виступає налаштування механізмів кешування та буферизації даних, оптимізація алгоритмів обробки інформації, мінімізація мережевого трафіку.

2.7 Висновки

Проектування системи розумного будинку з голосовим керуванням передбачає комплексний підхід до розробки функціональної, надійної та зручної системи, яка відповідає потребам сучасного користувача. У ході проектування визначено ключові функціональні та нефункціональні вимоги до системи, розроблено багаторівневу архітектуру, спроектовано апаратну та програмну частини, підсистему голосового керування, реалізовано інтеграцію всіх компонентів у єдину злагоджену систему.

Архітектурні рішення, обрані в процесі проектування, забезпечують модульність, масштабованість та надійність системи. Багаторівнева архітектура дозволяє чітко розмежувати функціональність на рівні фізичних пристроїв, мережевої комунікації, управління та користувацьких інтерфейсів, що спрощує розробку, тестування та подальше розширення системи. Використання відкритих стандартів та протоколів забезпечує можливість інтеграції пристроїв різних виробників, що розширює функціональні можливості системи та запобігає залежності від конкретних постачальників обладнання.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проектування апаратної частини системи включало вибір центрального контролера, датчиків різних типів, виконавчих пристроїв, мережевого обладнання, компонентів підсистеми голосового керування. Особлива увага приділялася питанням надійності, енергоефективності, електробезпеки, що є критичними для систем домашньої автоматизації. Розроблені схеми підключення та розміщення компонентів забезпечують оптимальне покриття всіх приміщень, мінімізацію довжини кабельних трас, захист від електромагнітних завад.

Програмна частина системи спроектована з використанням сучасних технологій та підходів до розробки програмного забезпечення. Вибір платформи Home Assistant як основи для системи домашньої автоматизації забезпечує широкі можливості для інтеграції різноманітних пристроїв, гнучкі засоби автоматизації, зручний інтерфейс користувача. Використання мікросервісної архітектури, контейнеризації, асинхронного обміну повідомленнями забезпечує надійність, масштабованість та продуктивність системи.

Підсистема голосового керування забезпечує природний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс взаємодії з технологічними системами. Комбінований підхід до розпізнавання голосових команд, який поєднує локальне розпізнавання ключових слів з хмарним розпізнаванням повних команд, забезпечує оптимальний баланс між приватністю, надійністю та точністю розпізнавання. Розроблені моделі розпізнавання намірів користувача та вилучення параметрів команд забезпечують коректну інтерпретацію голосових команд навіть при різних формулюваннях та контекстах взаємодії.

Інтеграція компонентів системи розумного будинку реалізована з використанням різних технологій комунікації, які забезпечують ефективну взаємодію між різнорідними пристроями та сервісами. Використання шлюзів та концентраторів для підключення пристроїв з різними протоколами зв'язку, MQTT-брокера для асинхронного обміну повідомленнями, RESTful API для взаємодії з зовнішніми сервісами забезпечує гнучкість та розширюваність системи.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проектування системи розумного будинку з голосовим керуванням вимагало збалансованого підходу до забезпечення функціональності, надійності, безпеки, зручності використання. Розроблені проектні рішення створюють основу для подальшої реалізації системи, яка відповідає потребам сучасного «розумного» житлового простору.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ГОЛОСОВИМ КЕРУВАННЯМ

3.1 Опис реалізації апаратних модулів системи розумного будинку

Реалізація апаратних модулів системи розумного будинку з голосовим керуванням охоплює практичну імплементацію проєктних рішень, розроблених на етапі проєктування, та включає вибір конкретних компонентів, їх конфігурування, інтеграцію та налаштування для забезпечення ефективного функціонування системи. Апаратна реалізація складається з кількох взаємопов'язаних модулів, які забезпечують різні функціональні можливості системи розумного будинку.

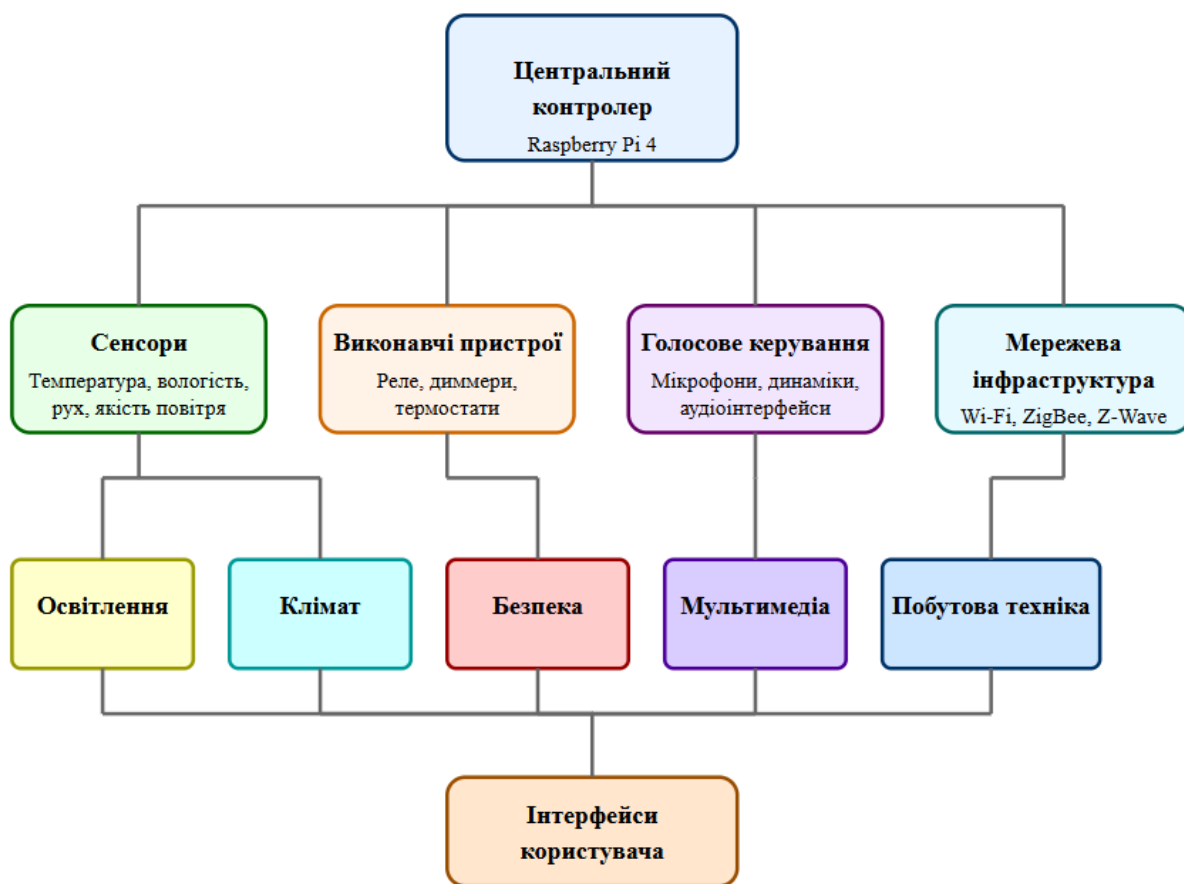


Рисунок 3.1 – Архітектура апаратних модулів системи розумного будинку

Центральний контролер виступає ядром системи розумного будинку, забезпечуючи обробку даних, виконання алгоритмів автоматизації, координацію

роботи підсистем, взаємодію з користувачами. Для реалізації центрального контролера обрано одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4 Model B з 8 ГБ оперативної пам'яті, який забезпечує достатню обчислювальну потужність для виконання всіх необхідних функцій, включаючи локальне розпізнавання голосових команд. Raspberry Pi працює під управлінням операційної системи Raspberry Pi OS (64-bit), яка забезпечує стабільність функціонування та підтримку всіх необхідних периферійних пристроїв.

Для забезпечення надійності роботи центрального контролера було б добре встановити джерело безперебійного живлення APC Back-UPS ES 550VA, яке забезпечить автономну роботу системи протягом 30-40 хвилин при відсутності зовнішнього електроживлення. Для зберігання даних використовувати SD-карту SanDisk Extreme PRO microSDXC UHS-I U3 A2 128GB, яка забезпечить високу швидкість запису/читання та надійність зберігання даних, а також зовнішній SSD-накопичувач Samsung T7 500GB для резервного копіювання критичних даних та зберігання історичних даних від датчиків.

Таблиця 3.1 – Специфікація апаратних компонентів центрального контролера

Компонент	Модель	Технічні характеристики	Призначення
Одноплатний комп'ютер	Raspberry Pi 4 Model B	SoC: Broadcom BCM2711 (Quad-core Cortex-A72), RAM: 8GB LPDDR4, Ethernet: Gigabit, Wi-Fi: 802.11ac, Bluetooth 5.0	Обробка даних, виконання алгоритмів автоматизації, координація роботи підсистем
Корпус	Argon NEO	Алюмінієвий корпус з пасивним охолодженням, доступ до всіх портів	Захист від пилу, механічних пошкоджень, ефективне охолодження
Накопичувач	SanDisk Extreme PRO microSDXC	128GB, UHS-I U3 A2, швидкість читання до 170 MB/s	Зберігання операційної системи та програмного забезпечення

Кінець таблиці 3.1

Зовнішній SSD	Samsung T7	500GB, USB 3.2 Gen2, швидкість читання до 1050 MB/s	Резервне копіювання, зберігання історичних даних
Джерело безперебійного живлення	APC Back-UPS ES 550VA	550VA/330W, час автономної роботи: 30-40 хв	Забезпечення стабільного електроживлення при відключенні електроенергії
Блок живлення	Raspberry Pi 27W USB-C	5.1V/3A, USB-C, офіційний блок живлення	Стабільне електроживлення одноплатного комп'ютера
USB-хаб	Anker PowerExpand+ 7-in-1	2x USB 3.0, 1x USB-C PD, HDMI, Ethernet, SD/microSD	Підключення додаткових USB-пристроїв
Комутатор	TP-Link TL-SG108	8 портів Gigabit Ethernet, металевий корпус	Підключення дротових пристроїв до мережі

Мережева інфраструктура забезпечує комунікацію між компонентами системи розумного будинку та доступ до зовнішніх ресурсів. Основу мережевої інфраструктури становить маршрутизатор ASUS RT-AX86U з підтримкою Wi-Fi 6 (802.11ax), який забезпечує високу швидкість передачі даних, надійне покриття всього будинку, підтримку VLAN для сегментації мережі. Для розширення зони покриття Wi-Fi в будинку можна встановити дві додаткових точки доступу ASUS RT-AX58U, які працюють у режимі AiMesh і забезпечат безшовне покриття всього будинку.

Для інтеграції пристроїв, які використовують спеціалізовані протоколи зв'язку, потрібно встановити відповідні шлюзи: ConBee II (ZigBee-шлюз, який підключається до центрального контролера через USB та забезпечує інтеграцію ZigBee-пристроїв різних виробників), Aeotec Z-Stick Gen5+ (Z-Wave шлюз, який підключається до центрального контролера через USB та забезпечує інтеграцію Z-Wave пристроїв).

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

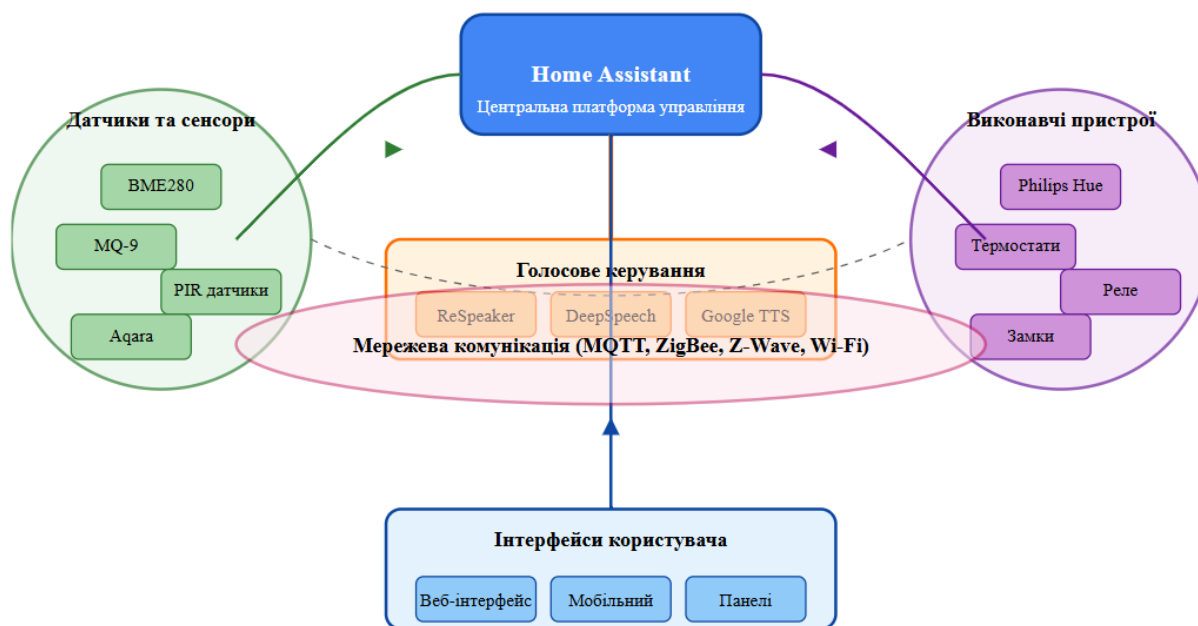


Рисунок 3.2 – Структурна схема взаємодії компонентів системи розумного будинку

Сенсорна підсистема забезпечує збір інформації про стан середовища та об'єктів у будинку. У кожному приміщенні можна встановити датчики температури та вологості Xiaomi Aqara Temperature and Humidity Sensor, які підключаються до системи через ZigBee-шлюз та забезпечують точність вимірювання температури $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ та вологості $\pm 3\%$. Для виявлення руху було б добре встановити датчики Philips Hue Motion Sensor, які окрім руху також вимірюють рівень освітленості, що дозволяє автоматично регулювати яскравість освітлення залежно від природного освітлення.

Для контролю якості повітря в основних приміщеннях можливо встановити датчики Netatmo Smart Indoor Air Quality Monitor, які вимірюють концентрацію CO₂, рівень шуму, температуру, вологість та забезпечують інтеграцію з системою через Wi-Fi. Для виявлення диму та чадного газу поєрібно встановити датчики Nest Protect (2nd Gen), які підключаються до системи через Wi-Fi та забезпечують голосові сповіщення, автоматичне тестування, інтеграцію з іншими підсистемами.

Для контролю стану дверей та вікон було б чудово встановити магнітоконтактні датчики Samsung SmartThings Multipurpose Sensor, які

підключаються до системи через ZigBee та забезпечують виявлення відкриття/закриття, а також вимірювання температури. Для контролю споживання електроенергії встановлено розумні розетки TP-Link Kasa Smart Plug HS110, які підключаються до системи через Wi-Fi та забезпечують вимірювання споживаної потужності, моніторинг енергоспоживання, віддалене керування.

Виконавчі пристрої реалізують фізичні дії для зміни стану об'єктів у будинку. Для керування освітленням потрібно встановити розумні лампи Philips Hue White and Color Ambiance, які підключаються до системи через ZigBee-шлюз Philips Hue Bridge та забезпечують можливість регулювання яскравості, зміни кольору, створення сценаріїв освітлення. У коридорах та допоміжних приміщеннях встановити розумні вимикачі світла Legrand Netatmo, які підключаються до системи через Zigbee та забезпечують можливість керування як вручну, так і через систему автоматизації.

Для керування опаленням можливо встановити розумні термостати Netatmo Smart Thermostat, які підключаються до системи через Wi-Fi та забезпечують можливість програмування режимів роботи, автоматичного регулювання температури, віддаленого керування. На радіаторах можна встановити розумні термостатичні головки Tado Smart Radiator Thermostat, які підключаються до системи через ZigBee та забезпечують можливість зонального регулювання температури в різних приміщеннях. Для керування кондиціонуванням повітря встановити IR-контролери Sensibo Sky, які підключаються до системи через Wi-Fi та забезпечують можливість керування кондиціонерами різних виробників через інфрачервоний порт. Для керування шторами та жалюзі встановити моторизовані приводи Somfy Tahoma, які підключаються до системи через Z-Wave та забезпечують можливість програмування режимів роботи, автоматичного регулювання залежно від рівня освітленості та часу доби.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсистема голосового керування забезпечує природний інтерфейс взаємодії з системою розумного будинку. Для захоплення голосових команд у ключових зонах будинку (вітальня, кухня, спальні) потрібно встановити масиви мікрофонів ReSpeaker 4-Mic Array, які підключаються до центрального контролера через USB та забезпечують спрямоване захоплення звуку, фільтрацію шумів, визначення напрямку джерела звуку. Для обробки аудіосигналу використовувати USB-аудіоінтерфейс Focusrite Scarlett 2i2 (3rd Gen), який забезпечує високу якість оцифрування звуку та низький рівень затримок. Для відтворення голосових повідомлень системи в кожному приміщенні встановити розумні колонки Google Nest Mini, які підключаються до системи через Wi-Fi та забезпечують якісне відтворення звуку, можливість групового відтворення, інтеграцію з системою автоматизації. Розумні колонки також використовуються як резервний канал розпізнавання голосових команд через Google Assistant, що забезпечує можливість управління системою навіть при відмові локальної підсистеми розпізнавання мовлення.

Монтаж та підключення апаратних компонентів здійснити з дотриманням вимог електробезпеки та забезпеченням естетичного зовнішнього вигляду. Центральний контролер та мережеве обладнання розмістити в технічному приміщенні, де забезпечено належну вентиляцію для запобігання перегріву. Датчики розмістити з урахуванням їх зони дії та специфіки вимірюваних параметрів (наприклад, датчики температури не розміщуються поблизу джерел тепла, датчики руху мають повний огляд контрольованого приміщення). Мікрофони розмістити на стелі або стінах у ключових зонах (вітальня, кухня, спальні) на висоті, яка забезпечує оптимальне захоплення голосу.

3.2 Опис реалізації програмних модулів системи розумного будинку

Реалізація програмних модулів системи розумного будинку з голосовим керуванням передбачає розробку, налаштування та інтеграцію різноманітних

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмних компонентів, які забезпечують функціонування системи відповідно до визначених вимог. Програмна реалізація охоплює всі рівні системи – від драйверів для взаємодії з апаратними компонентами до користувацьких інтерфейсів та сервісів автоматизації.

Операційна система центрального контролера становить основу програмної частини розумного будинку. Для Raspberry Pi 4 встановлено Raspberry Pi OS (64-bit) версії 11 (Bullseye), яка забезпечує стабільність роботи та підтримку всіх необхідних периферійних пристроїв. Операційну систему налаштувати для оптимальної продуктивності – відключено непотрібні служби, оптимізувати параметри файлової системи для зменшення кількості операцій запису на SD-карту, налаштувати автоматичне відновлення після збоїв.

Для забезпечення надійності функціонування системи налаштувати автоматичне створення резервних копій конфігурації на зовнішній SSD-накопичувач за допомогою утиліти rsync, яка запускається щоденно через планувальник завдань cron. Налаштувати віддалений доступ до центрального контролера через захищене SSH-з'єднання з використанням аутентифікації на основі ключів та двофакторної аутентифікації для підвищення безпеки.

Платформа домашньої автоматизації виступає центральним компонентом програмної частини розумного будинку. Для реалізації обрано Home Assistant версії 2023.5.4, який встановлено на центральний контролер з використанням методу Home Assistant Operating System, що забезпечує ізоляцію системи та спрощує оновлення. Home Assistant надає широкі можливості для інтеграції різноманітних пристроїв та сервісів, має активну спільноту розробників та користувачів, підтримує різні протоколи зв'язку та забезпечує гнучкі можливості автоматизації.

Конфігурація Home Assistant організована за модульним принципом, з розділенням на окремі файли для різних підсистем, що спрощує підтримку та модифікацію системи. Основний файл конфігурації configuration.yaml містить базові налаштування системи та посилання на інші конфігураційні файли.

Інтеграції з пристроями налаштовані через інтерфейс користувача та зберігаються в директорії .storage, що забезпечує можливість автоматичного оновлення конфігурації при зміні параметрів пристроїв.

Для взаємодії з пристроями, які використовують протокол ZigBee, налаштувати інтеграцію ZHA (ZigBee Home Automation), яка працює з ZigBee-адаптером ConBee II та забезпечує підтримку широкого спектру пристроїв різних виробників. Налаштування ZHA включає визначення дозволених каналів для мінімізації інтерференції з Wi-Fi мережею, конфігурування параметрів маршрутизації для створення надійної mesh-мережі, оптимізацію параметрів роботи для забезпечення стабільності зв'язку з пристроями.

Для взаємодії з пристроями, які використовують протокол Z-Wave, налаштувати інтеграцію Z-Wave JS, яка працює з Z-Wave адаптером Aeotec Z-Stick Gen5+ та забезпечує підтримку пристроїв різних виробників. Налаштування Z-Wave JS включає створення та оптимізацію mesh-мережі, конфігурування параметрів безпеки (включення шифрування S2), налаштування параметрів опитування пристроїв для оптимізації навантаження на мережу.

Для взаємодії з пристроями, які підключаються через Wi-Fi, налаштувати відповідні інтеграції в Home Assistant – для розумних ламп Philips Hue використовується інтеграція Philips Hue, для термостатів Netatmo – інтеграція Netatmo, для розумних розеток TP-Link – інтеграція TP-Link Kasa Smart. Для кожної інтеграції налаштовано оптимальні параметри роботи, включаючи част

Реалізація програмних модулів системи розумного будинку з голосовим керуванням передбачає розробку, налаштування та інтеграцію різноманітних програмних компонентів, які забезпечують функціонування системи відповідно до визначених вимог. Програмна реалізація охоплює всі рівні системи – від драйверів для взаємодії з апаратними компонентами до користувацьких інтерфейсів та сервісів автоматизації.

Операційна система центрального контролера становить основу програмної частини розумного будинку. Для Raspberry Pi 4 встановлено Raspberry Pi OS (64-

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

bit) версії 11 (Bullseye), яка забезпечує стабільність роботи та підтримку всіх необхідних периферійних пристроїв. Операційна система налаштована для оптимальної продуктивності – відключено непотрібні служби, оптимізовано параметри файлової системи для зменшення кількості операцій запису на SD-карту, налаштовано автоматичне відновлення після збоїв.

Для забезпечення надійності функціонування системи налаштувати автоматичне створення резервних копій конфігурації на зовнішній SSD-накопичувач за допомогою утиліти rsync, яка запускається щоденно через планувальник завдань cron. Налаштувати віддалений доступ до центрального контролера через захищене SSH-з'єднання з використанням аутентифікації на основі ключів та двофакторної аутентифікації для підвищення безпеки.

Таблиця 3.3 – Програмні компоненти системи розумного будинку

Рівень	Компонент	Версія	Призначення	Джерело
Системний	Raspberry Pi OS	11 (Bullseye) 64-bit	Операційна система центрального контролера	raspberrypi.org
	Docker	20.10.17	Платформа контейнеризації для ізоляції сервісів	docker.com
	Mosquitto MQTT Broker	2.0.15	Брокер повідомлень для обміну даними між компонентами	mosquitto.org
Платформа автоматизації	Home Assistant	2023.5.4	Центральна платформа управління розумним будинком	home-assistant.io
	Node-RED	3.0.2	Середовище для створення сценаріїв автоматизації	nodered.org
	ESPHome	2023.5.1	Фреймворк для програмування ESP-пристроїв	esphome.io

Кінець таблиці 3.3

Підсистема голосового керування	DeepSpeech	0.9.3	Система локального розпізнавання мовлення	github.com/mozilla/DeepSpeech
	Rhasspy	2.5.11	Фреймворк для голосових асистентів	rhasspy.readthedocs.io
	Porcupine	2.1.5	Система виявлення ключових слів	picovoice.ai
Інтерфейс користувача	Lovelace UI	2023.5.4	Веб-інтерфейс для управління розумним будинком	home-assistant.io
	Home Assistant Companion App	2023.5.2	Мобільний додаток для управління розумним будинком	home-assistant.io
	HADashboard	4.6.0	Інформаційні панелі для відображення стану системи	appdaemon.readthedocs.io
Інтеграції	ZHA	1.2.5	Інтеграція ZigBee-пристроїв	home-assistant.io
	Z-Wave JS	1.5.0	Інтеграція Z-Wave пристроїв	home-assistant.io
	HACS	1.32.0	Менеджер користувацьких компонентів	hacs.xyz

Платформа домашньої автоматизації виступає центральним компонентом програмної частини розумного будинку. Для реалізації обрано Home Assistant версії 2023.5.4, який можна встановити на центральний контролер з використанням методу Home Assistant Operating System, що забезпечить ізоляцію системи та

спростить оновлення. Розгортання Home Assistant здійснити з використанням технології контейнеризації Docker, що забезпечить ізоляцію сервісів, спростить оновлення та масштабування системи. Конфігурація Home Assistant організована за модульним принципом, з розділенням на окремі файли для різних підсистем.

Брокер повідомлень MQTT (Mosquitto) відіграє важливу роль для забезпечення асинхронного обміну даними між пристроями та сервісами системи розумного будинку. Встановити Mosquitto версії 2.0.15 з налаштуванням автентифікації на основі сертифікатів TLS для забезпечення безпеки передачі даних. Налаштувати ієрархічну структуру топіків MQTT для різних типів пристроїв та функцій системи, що забезпечує гнучкість та масштабованість. Кожен пристрій має власний набір топіків для публікації даних про стан та отримання команд керування.

Для взаємодії з пристроями, які використовують протокол ZigBee, налаштувати інтеграцію ZHA (ZigBee Home Automation), яка працює з ZigBee-адаптером ConBee II та забезпечує підтримку широкого спектру пристроїв різних виробників. Налаштування ZHA включає визначення дозволених каналів для мінімізації інтерференції з Wi-Fi мережею, конфігурування параметрів маршрутизації для створення надійної mesh-мережі, оптимізацію параметрів роботи для забезпечення стабільності зв'язку з пристроями.

Сервіс автоматизації Node-RED можна встановити як доповнення до Home Assistant для реалізації складних сценаріїв автоматизації, які виходять за межі можливостей стандартних автоматизацій Home Assistant. Node-RED забезпечує візуальне програмування потоків даних та дій, що спрощує розробку та модифікацію складних сценаріїв автоматизації.

Таблиця 3.4 – Можливі до реалізації сценарії автоматизації розумного будинку

Категорія	Назва сценарію	Опис	Технологія реалізації
Освітлення	Автоматичне керування освітленням	Автоматичне вмикання/вимикання світла на основі датчиків руху та рівня освітленості	Home Assistant Automation
	Адаптивне освітлення	Регулювання яскравості та кольорової температури світла відповідно до часу доби	Node-RED + Home Assistant
	Режим перегляду фільмів	Налаштування освітлення та штор для оптимального перегляду фільмів	Home Assistant Scene
Клімат	Адаптивне опалення	Регулювання температури в кожному приміщенні на основі присутності, часу доби та зовнішньої температури	Node-RED + Home Assistant
	Нічне охолодження	Автоматичне охолодження будинку вночі через відкриття вікон при сприятливих зовнішніх умовах	Node-RED
Енергоефективність	Оптимізація споживання енергії	Аналіз та оптимізація енергоспоживання побутової техніки	Node-RED + Grafana
	Керування пікового навантаження	Розподіл включення потужних пристроїв для уникнення пікових навантажень	Node-RED
	Контроль енергоспоживання	Моніторинг та аналіз споживання енергії різними підсистемами	Home Assistant + InfluxDB + Grafana

Для збереження історичних даних від датчиків та аналізу трендів можна використати базу даних InfluxDB, яка оптимізована для роботи з часовими рядами. Налаштувати збереження даних від усіх датчиків системи з різними інтервалами агрегації для оптимізації об'єму зберігання. Для візуалізації даних та аналізу трендів встановити Grafana, яка інтегрується з InfluxDB та надає гнучкі можливості для створення інформативних дашбордів. Розробити набір дашбордів для відображення ключових параметрів системи – температури, вологості, споживання енергії, стану пристроїв.

Для програмування та конфігурування ESP-пристроїв (NodeMCU, ESP-01) потрібно використати фреймворк ESPHome, який забезпечує декларативний підхід до налаштування функціональності пристроїв та їх інтеграцію з Home Assistant. ESPHome спрощує розробку та оновлення прошивок для ESP-пристроїв, забезпечує автоматичне виявлення пристроїв у мережі, підтримує OTA-оновлення (Over-The-Air) для безпроводового оновлення прошивок. Розробити типові конфігурації ESPHome для різних типів пристроїв – датчиків, контролерів освітлення, термостатів, інфрачервоних передавачів.

3.3 Реалізація алгоритмів розпізнавання голосових команд

Реалізація алгоритмів розпізнавання голосових команд для системи розумного будинку базується на комбінованому підході, який поєднує локальне розпізнавання ключових слів з хмарним розпізнаванням повних команд, забезпечуючи баланс між приватністю, надійністю та точністю розпізнавання. Архітектура підсистеми голосового керування включає кілька взаємопов'язаних компонентів, які забезпечують захоплення звуку, виявлення ключових слів, розпізнавання мовлення, аналіз намірів користувача, виконання команд, генерацію відповідей.

Локальне виявлення ключових слів реалізовано з використанням бібліотеки Porcupine, яка забезпечує енергоефективне виявлення активаційних фраз (wake

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

words) без необхідності передачі аудіоданих на зовнішні сервери. Porcupine використовує алгоритми машинного навчання для аналізу аудіопотоку та виявлення заданих ключових слів з високою точністю навіть в умовах фонового шуму. Для системи розумного будинку можна налаштувати розпізнавання активаційних фраз «Привіт, дім» та «Вітаю, будинок» українською мовою з можливістю додавання інших фраз за потреби користувача.

Програмна реалізація локального виявлення ключових слів включає налаштування аудіоінтерфейсу для захоплення звуку з масивів мікрофонів ReSpeaker 4-Mic Array, попередню обробку аудіосигналу для фільтрації шумів та нормалізації гучності, ініціалізацію моделі Porcupine з налаштуваннями для розпізнавання заданих активаційних фраз, безперервний аналіз аудіопотоку для виявлення активаційних фраз, генерацію подій при виявленні активаційної фрази для запуску процесу повного розпізнавання мовлення.

Для захоплення звуку з масивів мікрофонів можливо використати бібліотеку PyAudio, яка забезпечує доступ до аудіоінтерфейсів через API PortAudio. Аудіосигнал захоплюється з частотою дискретизації 16 кГц та розрядністю 16 біт, що забезпечує оптимальний баланс між якістю звуку та навантаженням на обчислювальні ресурси. Для попередньої обробки аудіосигналу потрібно використати алгоритми фільтрації шумів, нормалізації гучності, придушення луни, які реалізовані з використанням бібліотеки SpeexDSP.

Розпізнавання повних голосових команд можна реалізувати з використанням комбінованого підходу, який поєднує локальне розпізнавання за допомогою бібліотеки DeepSpeech з хмарним розпізнаванням через Google Speech-to-Text API. Локальне розпізнавання забезпечить незалежність від підключення до Інтернету та вищий рівень приватності, оскільки аудіодані не передаються на зовнішні сервери. Хмарне розпізнавання забезпечує вищу точність для складних команд та підтримку більшої кількості мов, але вимагає підключення до Інтернету.

Для локального розпізнавання мовлення використати DeepSpeech – відкрита система розпізнавання мовлення, розроблена Mozilla, яка базується на глибоких

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нейронних мережах. DeepSpeech потрібно налаштувати для роботи з українською мовою з використанням попередньо навченої моделі, адаптованої для розпізнавання голосових команд у контексті розумного будинку. Для адаптації базової моделі DeepSpeech до специфіки предметної області провести додаткове навчання з використанням корпусу голосових команд, характерних для управління розумним будинком.

Процес локального розпізнавання мовлення включає запис голосової команди після виявлення активаційної фрази, попередню обробку аудіосигналу для покращення якості розпізнавання, розпізнавання мовлення з використанням DeepSpeech, оцінку достовірності результатів розпізнавання. Якщо достовірність результатів локального розпізнавання нижче заданого порогу або команда не розпізнана, система автоматично переключиться на хмарне розпізнавання через Google Speech-to-Text API, якщо доступне підключення до Інтернету.

Для хмарного розпізнавання мовлення було б добре використати Google Speech-to-Text API, який забезпечує високу точність розпізнавання для різних мов та акцентів. Інтеграція з Google Speech-to-Text API реалізована з використанням офіційної бібліотеки Python google-cloud-speech, яка забезпечує зручний інтерфейс для відправки аудіоданих та отримання результатів розпізнавання. Можна налаштувати параметри розпізнавання для оптимізації точності у контексті голосових команд для розумного будинку – мова розпізнавання (українська), модель розпізнавання (command_and_search для коротких команд), підказки для покращення точності розпізнавання специфічних термінів.

Після отримання текстового представлення голосової команди виконується аналіз намірів користувача та параметрів команди. Для цього потрібно використати Rhasspy – відкрита платформа для створення голосових асистентів, яка включає компоненти для аналізу намірів (intent recognition) та вилучення слотів (slot filling). Rhasspy налаштувати для роботи з українською мовою та специфічними командами для управління розумним будинком.

команди користувача, стан пристроїв, що дозволяє коректно інтерпретувати команди, які залежать від контексту. Наприклад, якщо користувач спочатку сказав «Увімкни світло у вітальні», а потім «Зроби яскравіше», система розуміє, що друга команда стосується освітлення у вітальні.

Після визначення наміру користувача та параметрів команди виконується трансляція команди у відповідні API-виклики до системи управління розумним будинком. Для цього використовується інтерфейс Home Assistant API, який дозволяє керувати пристроями, активувати сценарії, отримувати інформацію про стан системи. Розроблено модуль трансляції команд, який відображає розпізнані наміри та параметри на відповідні API-виклики до Home Assistant.

Для забезпечення надійності розпізнавання голосових команд реалізовано механізми обробки помилок та зворотного зв'язку. Якщо система не може розпізнати команду або виконати її, вона надає користувачу зрозуміле повідомлення про проблему та пропонує альтернативні дії. Механізми зворотного зв'язку включають голосові підтвердження, звукові сигнали, візуальні індикатори на пристроях відображення.

3.4 Розробка інтерфейсу взаємодії з користувачем

Розробка інтерфейсу взаємодії з користувачем для системи розумного будинку з голосовим керуванням передбачає створення зручних, інтуїтивно зрозумілих та ефективних механізмів для контролю та моніторингу стану системи. Інтерфейс користувача реалізовано у кількох взаємодоповнюючих формах – веб-інтерфейс для доступу з комп'ютерів та планшетів, голосовий інтерфейс для природної взаємодії з системою, інформаційні панелі для відображення стану системи у різних приміщеннях будинку.

Веб-інтерфейс системи розумного будинку можна реалізувати на базі Lovelace UI – фреймворка для створення користувацьких інтерфейсів, який є частиною платформи Home Assistant. Lovelace UI забезпечить гнучкі можливості

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для конструювання інтерфейсу з використанням різноманітних карт, які будуть відображають стан пристроїв та дозволять керувати ними. Веб-інтерфейс можна оптимізувати для роботи на різних пристроях – від настільних комп'ютерів до планшетів, з адаптивним дизайном, які забезпечать зручність використання на різних розмірах екранів.

Структура веб-інтерфейсу організувати за функціональними зонами будинку – вітальня, спальні, ванна кімната, з можливістю швидкого переключення між ними. Для кожної зони можна створити окремий дашборд, який відображатиме стан пристроїв у цій зоні та дозволить керувати ними. Додатково створити загальний дашборд для централізованого управління всіма пристроями будинку, статистичний дашборд для відображення історичних даних та трендів, дашборд системних налаштувань для конфігурації параметрів системи.

Для кожного типу пристроїв розробити спеціалізовані карти, які відображатимуть релевантну інформацію та нададуть інтуїтивні елементи управління. Для освітлення реалізувати карти, які відображають стан (увімкнено/вимкнено), яскравість, колір (для RGB-ламп), з можливістю керування цими параметрами через кнопки, слайдери, колірні селектори. Для кліматичних систем чудово було б створити карти, які відображатимуть поточну температуру, вологість, режим роботи, з можливістю встановлення цільової температури, вибору режиму роботи, налаштування розкладу.

Для систем безпеки потрібно реалізувати карти, які відображають стан датчиків (відкрито/закрито, рух/спокій), відеопотік з камер спостереження, стан системи сигналізації, з можливістю керування режимами роботи системи безпеки, переглядом архіву відеозаписів. Для мультимедійних систем створити карти, які будуть відображати стан відтворення (запущено/зупинено), поточний контент, гучність, з можливістю керування відтворенням, вибором контенту, регулюванням гучності. Для енергоменеджменту реалізувати карти, які будуть відображати поточне споживання енергії, історичні дані та тренди споживання, з можливістю аналізу енергоефективності та оптимізації споживання. Для статистичних даних

можна створити карти, які відображатимуть графіки зміни параметрів середовища (температура, вологість, якість повітря) у часі, з можливістю вибору періоду аналізу, порівняння різних параметрів.

Мобільний додаток для системи розумного будинку можна реалізувати на базі Home Assistant Companion App, який доступний для платформ iOS та Android. Мобільний додаток забезпечить можливість керування системою розумного будинку з будь-якого місця, де є доступ до Інтернету, з підтримкою всіх функцій, які доступні у веб-інтерфейсі, але з оптимізацією для використання на мобільних пристроях.

Інтерфейс мобільного додатку адаптовати для зручного використання на смартфонах, з оптимізацією розміру елементів управління для сенсорного вводу, з підтримкою жестів для швидкої навігації та керування (свайп для переключення між дашбордами, довге натискання для доступу до додаткових функцій, пінч для масштабування графіків та зображень).

Голосовий інтерфейс забезпечить природну взаємодію з системою розумного будинку через голосові команди та відповіді. Можна реалізовано підтримку широкого спектру голосових команд для керування різними функціями системи – управління освітленням, кліматичними параметрами, мультимедійними системами, безпекою, отримання інформації про стан системи. Система може розпізнавати команди природною мовою, без необхідності запам'ятовування специфічних формулювань.

Для забезпечення зручності використання голосового інтерфейсу потрібно реалізувати механізми зворотного зв'язку, які будуть підтверджувати отримання та виконання команд. Голосові відповіді системи будуть генеруватись з використанням природного синтезу мовлення, з адаптацією інтонації та темпу мовлення до контексту взаємодії.

Інформаційні панелі для системи розумного будинку можливо реалізувати з використанням планшетів, які потрібно встановити у ключових зонах будинку – вхідна зона, вітальня. Інформаційні панелі будуть відображати актуальну

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформацію про стан системи – поточні параметри середовища, стан пристроїв, активні сценарії, прогноз погоди, розклад подій, з можливістю швидкого доступу до керування ключовими функціями системи.

Для кожної інформаційної панелі можна розробити специфічний інтерфейс, який буде відображати релевантну для даної зони інформацію та надасть доступ до найбільш використовуваних функцій.

3.5 Висновки

Програмно-апаратна реалізація системи розумного будинку з голосовим керуванням представляє комплексне рішення, яке поєднує сучасні технології Інтернету речей, хмарних обчислень, штучного інтелекту для створення інтелектуального, енергоефективного та безпечного житлового простору. Реалізована система забезпечує широкий спектр функціональних можливостей – управління освітленням, кліматичними параметрами, мультимедійними системами, системами безпеки, з підтримкою різних інтерфейсів взаємодії – веб-інтерфейс, мобільний додаток, голосове керування, інформаційні панелі.

Реалізація апаратних модулів системи включає встановлення та конфігурування центрального контролера на базі Raspberry Pi 4, підключення датчиків різних типів для моніторингу параметрів середовища, монтаж та налаштування виконавчих пристроїв для керування освітленням, кліматичними системами, шторами, мультимедійним обладнанням, встановлення та налаштування обладнання для підсистеми голосового керування. Особлива увага приділялася забезпеченню надійності функціонування апаратних компонентів – використання джерел безперебійного живлення, резервування критичних компонентів, оптимізація розміщення для забезпечення стабільного зв'язку між пристроями.

Програмна реалізація системи базується на платформі Home Assistant, яка забезпечує інтеграцію різноманітних пристроїв, виконання сценаріїв автоматизації,

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моніторинг стану системи, взаємодію з користувачами через різні інтерфейси. Встановлено та налаштовано компоненти для інтеграції пристроїв з різними протоколами зв'язку – ZHA для ZigBee-пристроїв, Z-Wave JS для Z-Wave пристроїв, інтеграції для Wi-Fi пристроїв різних виробників. Розроблено сценарії автоматизації для різних функціональних аспектів системи – управління освітленням, кліматичними параметрами, безпекою, енергоефективністю, забезпеченням комфорту.

Реалізація алгоритмів розпізнавання голосових команд базується на комбінованому підході, який поєднує локальне розпізнавання ключових слів з хмарним розпізнаванням повних команд. Локальне виявлення ключових слів реалізовано з використанням бібліотеки Porcupine, розпізнавання повних команд – з використанням DeepSpeech для локального розпізнавання та Google Speech-to-Text API для хмарного розпізнавання. Аналіз намірів користувача та вилучення параметрів команд реалізовано з використанням Rhasspy з моделями, адаптованими для специфіки голосових команд у контексті розумного будинку.

Розробка інтерфейсу взаємодії з користувачем включала створення веб-інтерфейсу на базі Lovelace UI, налаштування мобільного додатку Home Assistant Companion App для платформ iOS та Android, реалізацію голосового інтерфейсу для природної взаємодії з системою, встановлення та налаштування інформаційних панелей у ключових зонах будинку. Інтерфейси оптимізовано для зручності використання на різних пристроях, з підтримкою адаптивного дизайну, персоналізації налаштувань, альтернативних методів взаємодії для користувачів з різними потребами.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Розглянуті теоретичні основи розумних будинків з голосовими командами на базі технології Інтернету речей дозволяють стверджувати, що така система становить складний програмно-апаратний комплекс, який інтегрує різноманітні технології для автоматизації побутових процесів та підвищення комфорту проживання. Аналіз вітчизняних технологій показав, що український ринок розумних будинків знаходиться на стадії активного розвитку, однак більшість впроваджених рішень базується на імпорتنих компонентах та програмному забезпеченні, що підкреслює актуальність розробки вітчизняних систем з урахуванням локальних потреб та особливостей.

Дослідження концепції розумних будинків виявило основні сфери їх застосування, серед яких найбільш затребуваними є управління освітленням, кліматом, безпекою, мультимедійними системами та побутовими приладами. Використання методів виявлення активності, заснованих на даних різноманітних сенсорів, забезпечує автоматизоване функціонування системи та адаптацію до звичок і потреб мешканців, що істотно підвищує енергоефективність та комфорт проживання.

Проектування системи розумного будинку з голосовим керуванням передбачає комплексний підхід до розробки функціональної, надійної та зручної системи, яка відповідає потребам сучасного користувача. У ході проектування визначено ключові функціональні та нефункціональні вимоги до системи, розроблено багаторівневу архітектуру, спроектовано апаратну та програмну частини, підсистему голосового керування, реалізовано інтеграцію всіх компонентів у єдину злагоджену систему.

Архітектурні рішення, обрані в процесі проектування, забезпечують модульність, масштабованість та надійність системи. Багаторівнева архітектура дозволяє чітко розмежувати функціональність на рівні фізичних пристроїв, мережевої комунікації, управління та користувацьких інтерфейсів, що спрощує

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробку, тестування та подальше розширення системи. Використання відкритих стандартів та протоколів забезпечує можливість інтеграції пристроїв різних виробників, що розширює функціональні можливості системи та запобігає залежності від конкретних постачальників обладнання.

Проектування апаратної частини системи включало вибір центрального контролера, датчиків різних типів, виконавчих пристроїв, мережевого обладнання, компонентів підсистеми голосового керування. Особлива увага приділялася питанням надійності, енергоефективності, електробезпеки, що є критичними для систем домашньої автоматизації. Розроблені схеми підключення та розміщення компонентів забезпечують оптимальне покриття всіх приміщень, мінімізацію довжини кабельних трас, захист від електромагнітних завад.

Програмна частина системи спроектована з використанням сучасних технологій та підходів до розробки програмного забезпечення. Вибір платформи Home Assistant як основи для системи домашньої автоматизації забезпечує широкі можливості для інтеграції різноманітних пристроїв, гнучкі засоби автоматизації, зручний інтерфейс користувача. Використання мікросервісної архітектури, контейнеризації, асинхронного обміну повідомленнями забезпечує надійність, масштабованість та продуктивність системи.

Програмно-апаратна реалізація системи розумного будинку з голосовим керуванням представляє комплексне рішення, яке поєднує сучасні технології хмарних обчислень, штучного інтелекту для створення інтелектуального, енергоефективного та безпечного житлового простору.

Реалізація апаратних модулів системи включає встановлення та конфігурування центрального контролера на базі Raspberry Pi 4, підключення датчиків різних типів для моніторингу параметрів середовища, монтаж та налаштування виконавчих пристроїв для керування освітленням, кліматичними системами, шторами, мультимедійним обладнанням, встановлення та налаштування обладнання для підсистеми голосового керування. Особлива увага приділялася забезпеченню надійності функціонування апаратних компонентів –

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання джерел безперебійного живлення, резервування критичних компонентів, оптимізація розміщення для забезпечення стабільного зв'язку між пристроями.

Програмна реалізація системи базується на платформі Home Assistant, яка забезпечує інтеграцію різноманітних пристроїв, виконання сценаріїв автоматизації, моніторинг стану системи, взаємодію з користувачами через різні інтерфейси.

Реалізація алгоритмів розпізнавання голосових команд базується на комбінованому підході, який поєднує локальне розпізнавання ключових слів з хмарним розпізнаванням повних команд. Локальне виявлення ключових слів реалізовано з використанням бібліотеки Porcupine, розпізнавання повних команд – з використанням DeepSpeech для локального розпізнавання та Google Speech-to-Text API для хмарного розпізнавання. Аналіз намірів користувача та вилучення параметрів команд реалізовано з використанням Rhasspy з моделями, адаптованими для специфіки голосових команд у контексті розумного будинку.

Розробка інтерфейсу взаємодії з користувачем включає створення веб-інтерфейсу на базі Lovelace UI, налаштування мобільного додатку Home Assistant Companion App для платформ iOS та Android, реалізацію голосового інтерфейсу для природної взаємодії з системою, встановлення та налаштування інформаційних панелей у ключових зонах будинку. Інтерфейси оптимізовано для зручності використання на різних пристроях, з підтримкою адаптивного дизайну, персоналізації налаштувань, альтернативних методів взаємодії для користувачів з різними потребами.

					КвРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. 3W Ultra-small Power Module. HI-LINK. URL: https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1909111105_HI-LINK-HLK-PM24_C399250.pdf

(дата звернення: 17.03.2025).

2. 5W Ultra small series power module. HI-LINK. URL: https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1912111437_HI-LINK-HLK-5M03_C209906.pdf

(дата звернення: 20.02.2025).

3. Ahmed S. H., Zeebaree S. R. A survey on security and privacy challenges in smarthome based IoT. *Journal of Contemporary Architecture*. 2021. Vol. 8. P. 489–510.

4. Al Faruque M. A., Vatanparvar K. Energy management-as-a-service over fog computing platform. *IEEE Internet of Things Journal*. 2016. Vol. 3. P. 161–169. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2471260> (дата звернення: 23.03.2025).

5. Alam M. R., Reaz M. B. I., Ali M. A. M. State of the art of smart homes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2012. Vol. 25. P. 1313–1321.

6. Allifah N. M., Zualkernan I. A. Ranking security of IoT-based smart home consumer devices. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 18352–18369. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3150456> (дата звернення: 23.03.2025).

7. Arora S. J., Singh R. P. Automatic Speech Recognition: A Review. *International Journal of Computer Applications*. 2012. Vol. 60. P. 34–44.

8. Ashraf Z., Sohail A., Hameed A., Farhan M., Alotaibi F. A., Alnfaii M. M. Robust and lightweight remote user authentication mechanism for next-generation IoT-based smart home. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 137899–137910. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3340234> (дата звернення: 25.03.2025).

9. Augusto J. C., Nugent C. D. Artificial Neural Networks in Smart Homes. *Designing Smart Homes*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2006. P. 146–164.

10. Barreiro D. Speech Recognizer. Kodular, 2021. URL: <https://docs.kodular.io/components/media/speech-recognizer/> (дата звернення:

04.04.2025).

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Barreiro D. Text To Speech. Kodular, 2021. URL: <https://docs.kodular.io/components/media/text-to-speech/> (дата звернення: 04.04.2025).
12. Benharosh J. What is REST API? in plain English. 2018. URL: <https://phpenthusiast.com/blog/what-is-rest-api> (дата звернення: 05.04.2025).
13. Beuran R., Wang J., Zhao M., Tan Y. IoT security training for system developers: Methodology and tools. *Internet of Things*. 2023. Vol. 24. P. 100931. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100931> (дата звернення: 05.04.2025).
14. BME280 Datasheet. Bosch, 2022. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132060/BOSCH/BME280.html> (дата звернення: 05.04.2025).
15. Chrislb. Wikimedia. 2005. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MultiLayerNeuralNetwork_english.png (дата звернення: 06.04.2025).
16. Diyhobi. Flash Program ESP-01 using USB Serial Adapter. URL: <https://www.diyhobi.com/flash-program-esp-01-using-usb-serial-adapter/> (дата звернення: 06.04.2025).
17. ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard. URL: <https://www.json.org/json-en.html> (дата звернення: 07.04.2025).
18. ESP8266EX DataSheet. Espressif Systems, 2022. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf (дата звернення: 10.04.2025).
19. Farooqi A. H., Akhtar S., Rahman H., Sadiq T., Abbass W. Enhancing network intrusion detection using an ensemble voting classifier for internet of things. *Sensors*. 2024. Vol. 24. P. 127. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24010127> (дата звернення: 10.04.2025).
20. Firebase CLI reference. Firebase, 2021. URL: <https://firebase.google.com/docs/cli#windows-npm> (дата звернення: 11.04.2025).
21. Firebase database kodular component. Kodular, 2021. URL: <https://docs.kodular.io/components/google/firebase-database/>(дата звернення: 11.04.2025).

22. Flame Sensor Module Datasheet. Free Electronics Egypt. URL: <http://rogerbit.com/wprb/wp-content/uploads/2018/01/Flame-sensor-arduino.pdf> (дата звернення: 11.04.2025).

23. Garg R., Gupta S. A review on internet of thing for home automation. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2020. Vol. 8. P. 80–83.

24. Gayathri K. S., Thomas T. Intrusion detection systems for internet of things. *Handbook of Research on Intrusion Detection Systems*. Hershey, PA : IGI Global, 2020. P. 148–171. DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2245-5.ch007> (дата звернення: 12.04.2025).

25. Harper R. Smart Homes: Past, Present and Future. *Inside the Smart Home*. Bristol, UK : Springer Science & Business Media, 2006. P. 17–39.

26. Hasan T., Abrar M. A., Saimon M. Z. R., Sayeduzzaman M., Islam M. S. Constructing an integrated IoT-based smart home with an automated fire and smoke security alert system. *Malaysian Journal of Science and Advanced Technology*. 2023. Vol. 3. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.56532/mjsat.v3i1.123> (дата звернення: 12.04.2025).

27. Hattersley L. Raspberry Pi 4, 3A+, Zero W - specs, benchmarks & thermal tests. 2019. URL: <https://magpi.raspberrypi.org/articles/raspberry-pi-specs-benchmarks> (дата звернення: 14.04.2025).

28. Hellaoui H., Koudil M., Bouabdallah A. Energy-efficient mechanisms in security of the internet of things: A survey. *Computer Networks*. 2017. Vol. 127. P. 173–189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2017.08.006> (дата звернення: 14.04.2025).

29. Install the Firebase CLI. Firebase, 2021. URL: https://firebase.google.com/docs/functions/local-emulator#run_the_emulator_suite (дата звернення: 14.04.2025).

30. IR Proximity Sensor. Sunkee TechnoLabs. URL: https://components101.com/asset/sites/default/files/component_datasheet/Datasheet%20of%20IR%20%20Sensor.pdf (дата звернення: 16.04.2025).

31. Ivaschenko O., Nivorozhkin A., Nivorozhkin E. The role of economic crisis

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

and social spending in explaining crime in Russia: Regional panel data analysis. *Eastern European Economics*. 2012. Vol. 50. P. 21–41. DOI: <https://doi.org/10.2753/EEE0012-8775500102> (дата звернення: 16.04.2025).

32. Kaur K., Singh E. C. A Review on Automatic Speech Recognition Architecture and Approaches. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*. 2016. Vol. 9, № 4. P. 393–404.

33. Kępuska V., Bohouta G. Comparing Speech Recognition Systems (Microsoft API, Google API And CMU Sphinx). *International Journal of Engineering Research and Application*. 2017. Vol. 7, № 3. P. 20–24.

34. Khudhair Al-Gburi M., Ali Abdul-Rahaim L. Secure smart home automation and monitoring system using internet of things. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2022. Vol. 28. P. 269. DOI: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i1.pp269-278> (дата звернення: 18.04.2025).

35. Kronholm B. D. Firestore emulator always binds to localhost #1283. 2019. URL: <https://github.com/firebase/firebase-tools/issues/1283> (дата звернення: 18.04.2025).

36. L293x Quadruple Half-H Drivers. Texas Instruments, 2021. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf> (дата звернення: 20.04.2025).

37. L7800 series Positive voltage regulators. STMicroelectronics, 2021. URL: <https://datasheet.octopart.com/L7805CV-STMicroelectronics-datasheet-7264666.pdf> (дата звернення: 20.04.2025).

38. Lastminuteengineers. Insight Into ESP8266 NodeMCU Features & Using It With Arduino IDE. 2021. URL: <https://lastminuteengineers.com/esp8266-nodemcu-arduino-tutorial/> (дата звернення: 22.04.2025).

39. Likhitha K., Malineni S., Jampani N., Prasanna N. L. Home security system using PIR sensor-IoT. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2021. Vol. 5. P. 497–500. DOI: <https://doi.org/10.32628/CSEIT1952113> (дата звернення: 22.04.2025).

40. Liu X., Xu B., Zheng K., Zheng H. Throughput maximization of wireless-

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

powered communication network with mobile access points. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2023. Vol. 22. P. 4401–4415. DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2022.3227890> (дата звернення: 22.04.2025).

41. Lohan V., Singh R. P. Home automation using internet of things. *Advances in Data and Information Sciences*. Singapore : Springer, 2021. Vol. 39. P. 293–301. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0277-0_24 (дата звернення: 22.04.2025).

42. Majumder A. J., Izaguirre J. A. A smart iot security system for smart-home using motion detection and facial recognition. *Proceedings of the 2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference*. Madrid, Spain, 13–17 July 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMPSAC48688.2020.00023> (дата звернення: 23.04.2025).

43. Messina R. O. Acoustical Modeling for Speech Recognition: Long Units and Multi-Modeling : dis. ... PhD. Avignon : Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2015.

44. MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas. Hanwei Electronics Co. URL: <https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf> (дата звернення: 23.04.2025).

45. MQ-9 Semiconductor Sensor for CO/Combustible Gas. Hanwei Electronics Co. URL: https://www.smart-prototyping.com/image/data/2_components/sensors/100996%20MQ-9/MQ9.pdf (дата звернення: 30.04.2025).

46. Næs T., Isaksson T., Kowalski B. Artificial neural networks in multivariate. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 1993. Vol. 1. P. 1–11.

47. Netinant P., Amatyakul A., Rukhiran M. Alert intruder detection system using passive infrared motion detector based on internet of things. *Proceedings of the 2022 5th International Conference on Software Engineering and Information Management*. New York, NY, USA, 21–23 January 2022. DOI: <https://doi.org/10.1145/3520084.3520089> (дата звернення: 02.05.2025).

48. Netinant P., Vasprasert P., Rukhiran M. Evaluations of effective on LWIR micro thermal camera IoT and digital thermometer for human body temperatures. *Proceedings of the 5th International Conference on E-Commerce, E-Business and E-*

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Government. New York, NY, USA, 28–30 April 2021. DOI: <https://doi.org/10.1145/3466029.3466039> (дата звернення: 02.05.2025).

49. Rabiner L., Juang B. An Introduction to Hidden Markov Models. *IEEE ASSP Magazine*. 1986. Vol. 3, № 1. P. 4–16.

50. Rukhiran M., Sutanthavibul C., Boonsong S., Netinant P. IoT-based mushroom cultivation system with solar renewable energy integration: Assessing the sustainable impact of the yield and quality. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. P. 13968. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151813968> (дата звернення: 03.05.2025).

51. Rukhiran M., Wong-In S., Netinant P. IoT-based biometric recognition systems in education for identity verification services: Quality assessment approach. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 22767–22787. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3252456> (дата звернення: 03.05.2025).

52. Samad A., Siddiqui F. IoT based automation for smart sustainable homes. *Proceedings of the 2nd International Conference on ICT for Digital, Smart, and Sustainable Development*. New Delhi, India, 27–28 February 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDSSD49901.2020.9103746> (дата звернення: 06.05.2025).

53. Samuel S. I. A Review of Connectivity Challenges in IoT-Smart Home. *International Conference on Big Data and Smart City*. Muscat, Sultanate of Oman, 2016.

54. Search With Google Images. 2021.

55. Tao M., Zuo J., Liu Z., Castiglione A., Palmieri F. Multi-layer cloud architectural model and ontology-based security service framework for IoT-based smart homes. *Future Generation Computer Systems*. 2018. Vol. 78. P. 1040–1051. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.04.043> (дата звернення: 08.05.2025).

56. Viswanath S. K., Yuen C., Tushar W., Li W.-T., Wen C.-K., Hu K., Chen C., Liu X. System design of the internet of things for residential smart grid. *IEEE Wireless Communications*. 2016. Vol. 23. P. 90–98. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7462487> (дата звернення: 10.05.2025).

57. Wu K., Yu J., Chen L., Ryu A., Chen K., Munteanu C., Cohn J., Rudzicz F., Barry T., Weiss S. A Comparison of Online Automatic Speech Recognition Systems and

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк. 82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

the Nonverbal Responses to Unintelligible Speech. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1904.12403v1> (дата звернення: 12.05.2025).

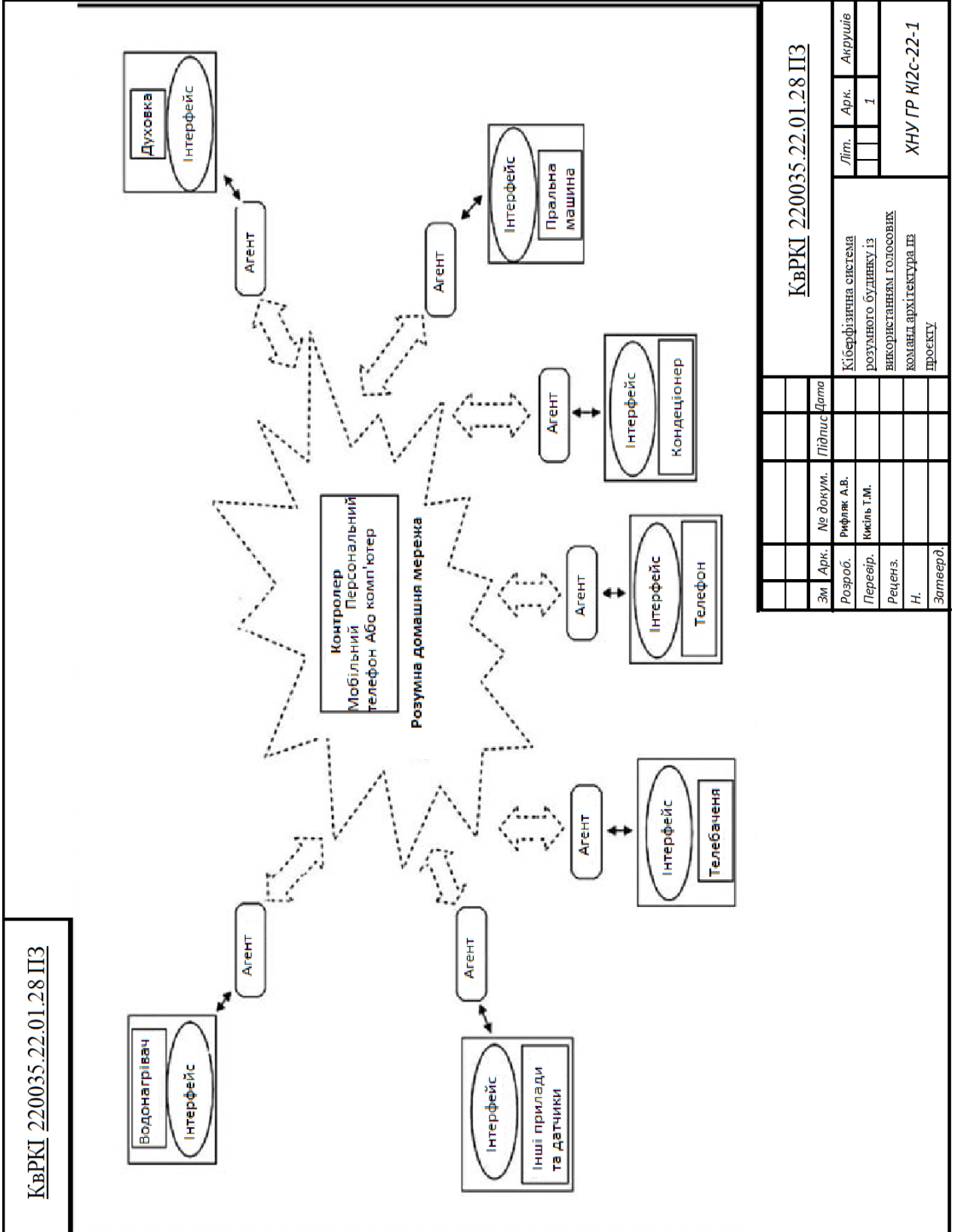
58. Yang J., Sun L. A comprehensive survey of security issues of smart home system: "Spear" and "Shields", theory and practice. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 124167–124192. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3223344> (дата звернення: 14.05.2025).

59. Yin Jie, Yang J., Liu P., Yang G., Wu X. Smart Home System based on IOT Technologies. *International Conference on Computational and Information Sciences*. Shenzhen, China, 2013.

					КВРКІ.220035.22.01.28 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

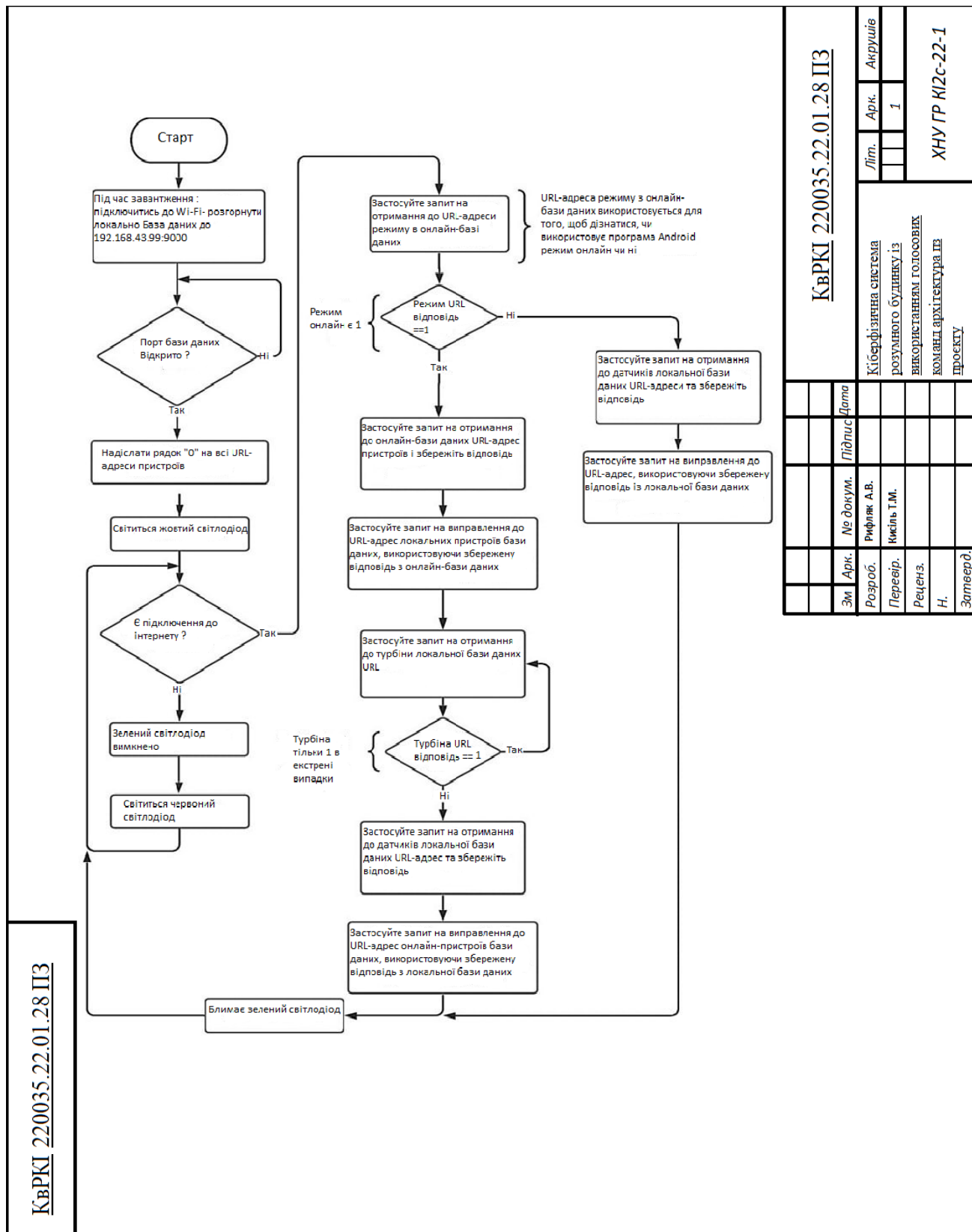
Додаток А
(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АРХІТЕКТУРА ПЗ ПРОЄКТУ»



Додаток Б (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИЛАДУ»



КвРКІ 220035.22.01.28 ПЗ		Літ.	Арк.	Аркушів
			1	
ХНУ ГР КІ2с-22-1				
Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд архітектура та проект				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Арк.	Рифляк А.В.		
Перевір.	Арк.	Кисіль Т.М.		
Реценз.	Арк.			
Н.	Арк.			
Затверд.	Арк.			

КвРКІ 220035.22.01.28 ПЗ

Додаток Г (обов'язковий)

ПРОГРАМНИЙ КОД

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>
#include <RTClib.h>
#include <Servo.h>

// Pin assignments
const int pirPin = 2;           // PIR Motion Sensor
const int dhtPin = 3;          // DHT22 Sensor
const int ldrPin = A0;         // LDR (Photoresistor)
const int ledPin = 4;          // LED for light control
const int alertLedPin = 5;     // LED for security alert
const int acLedPin = 6;        // LED for air conditioner
const int curtainLedPin = 7;   // LED for curtains
const int buzzerPin = 8;       // Buzzer
const int servoPin = 10;       // Servo motor for smart lock
const int buttonPin = 11;      // Push button for manual lock/unlock
const int dataPin = 13;        // Connects to pin 14 on the 74HC595
const int clockPin = 12;       // Connects to pin 11 on the 74HC595
const int latchPin = 9;        // Connects to pin 12 on the 74HC595

// Shift Register Pins
const int secondPirPin = 1;    // Q1 on the 74HC595 shift register
const int newLedPin = 2;       // Q2 on the 74HC595 shift register

// DHT setup
#define DHT_TYPE DHT22
DHT dht(dhtPin, DHT_TYPE);

// LCD setup
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// RTC setup
RTC_DS1307 rtc;

// Servo setup
Servo myServo;
bool lockState = false; // false = unlocked, true = locked

// Shift Register state
byte shiftRegisterState = 0;

// Function prototypes
```

```

void displayInitialMessage();
void initializeSystem();
void readSensors();
void updateLcdDisplay(float temperature, float humidity);
void controllLights(int ldrValue);
void handleSecurityAlert(int pirState);
void controlAirConditioner(float temperature);
void controlCurtains(DateTime now);
void controlDoorLock();
void toggleLock();
void updateShiftRegister();
void handleSecondMotionSensor();

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    pinMode(pirPin, INPUT);
    pinMode(ldrPin, INPUT);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode(alertLedPin, OUTPUT);
    pinMode(acLedPin, OUTPUT);
    pinMode(curtainLedPin, OUTPUT);
    pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
    pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(dataPin, OUTPUT);
    pinMode(clockPin, OUTPUT);
    pinMode(latchPin, OUTPUT);

    dht.begin();
    lcd.init();
    lcd.backlight();

    myServo.attach(servoPin);
    myServo.write(0); // Start with the door unlocked

    // Initialize RTC
    if (!rtc.begin()) {
        Serial.println("Couldn't find RTC");
        while (1);
    }
    if (!rtc.isrunning()) {
        Serial.println("RTC is NOT running!");
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    }

    displayInitialMessage();
    initializeSystem();
}

void loop() {

```

```

    readSensors();
    DateTime now = rtc.now();
    controlCurtains(now);
    controlDoorLock();
    handleSecondMotionSensor(); // Handle second motion sensor
    delay(2000); // Wait for 2 seconds before next loop
}

void displayInitialMessage() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Smart Home System");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Initializing...");
    delay(2000);
}

void initializeSystem() {
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    digitalWrite(alertLedPin, LOW);
    digitalWrite(acLedPin, LOW);
    digitalWrite(curtainLedPin, LOW);
    digitalWrite(buzzerPin, LOW);
}

void readSensors() {
    // Read PIR sensor
    int pirState = digitalRead(pirPin);

    // Read DHT22 sensor
    float humidity = dht.readHumidity();
    float temperature = dht.readTemperature();

    // Read LDR sensor
    int ldrValue = analogRead(ldrPin);

    // Read second PIR sensor
    bool secondPirState = bitRead(shiftRegisterState, secondPirPin);

    // Print values to Serial Monitor
    Serial.print("PIR: ");
    Serial.print(pirState);
    Serial.print("\tSecond PIR: ");
    Serial.print(secondPirState);
    Serial.print("\tTemperature: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.print("°C\tHumidity: ");
    Serial.print(humidity);
    Serial.print("%\tLDR: ");
    Serial.println(ldrValue);
}

```

```

// Update LCD display
updateLcdDisplay(temperature, humidity);

// Control lights based on LDR value
controlLights(ldrValue);

// Handle security alert based on PIR sensor
handleSecurityAlert(pirState);

// Control air conditioner based on temperature
controlAirConditioner(temperature);
}

void updateLcdDisplay(float temperature, float humidity) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.print(temperature);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Humidity: ");
    lcd.print(humidity);
    lcd.print("%");
}

void controlLights(int ldrValue) {
    if (ldrValue < 500) {
        digitalWrite(ledPin, HIGH); // Turn on LED if it's dark
    } else {
        digitalWrite(ledPin, LOW); // Turn off LED if it's light
    }
}

void handleSecurityAlert(int pirState) {
    if (pirState == HIGH) {
        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            tone(8, 800); // Sound buzzer
            digitalWrite(alertLedPin, HIGH);
            delay(50);
            noTone(8);
            digitalWrite(alertLedPin, LOW);
            delay(150);
            tone(8, 900);
            digitalWrite(alertLedPin, HIGH);
            delay(50);
            noTone(8);
            digitalWrite(alertLedPin, LOW);
        }
    } else {

```

```

    digitalWrite(alertLedPin, LOW);
    noTone(8);
}
}

void controlAirConditioner(float temperature) {
    if (temperature > 27.0) {
        digitalWrite(acLedPin, HIGH); // Turn on AC (represented by LED)
    } else {
        digitalWrite(acLedPin, LOW); // Turn off AC (represented by LED)
    }
}

void controlCurtains(DateTime now) {
    if (now.hour() >= 7 && now.hour() < 19) {
        digitalWrite(curtainLedPin, LOW); // Open curtains (represented by LED)
    } else {
        digitalWrite(curtainLedPin, HIGH); // Close curtains (represented by LED)
    }
}

void controlDoorLock() {
    if (digitalRead(buttonPin) == LOW) {
        toggleLock();
        delay(500); // Debounce delay
    }
}

void toggleLock() {
    if (lockState) {
        myServo.write(0); // Unlock door
        lockState = false;
    } else {
        myServo.write(90); // Lock door
        lockState = true;
    }
}

void updateShiftRegister() {
    digitalWrite(latchPin, LOW);
    shiftOut(dataPin, clockPin, MSBFIRST, shiftRegisterState);
    digitalWrite(latchPin, HIGH);
}

void handleSecondMotionSensor() {
    bool motionDetected = bitRead(shiftRegisterState, secondPirPin);

    if (motionDetected) {
        bitSet(shiftRegisterState, newLedPin); // Turn on new LED
        updateShiftRegister();
    }
}

```

```
delay(6000); // Keep the LED on for 6 seconds
bitClear(shiftRegisterState, newLedPin); // Turn off new LED
updateShiftRegister();
}
}
```

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Рифляка Артема Віталійовича

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

13.06 2025 року



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Рифляк Артем Віталійович

Тема: Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 84

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є дослідити та спроектувати кіберфізичну систему розумного будинку з голосовими командами.
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: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз сучасних технологій, голосового керування, сенсорики та нейронних мережі у системах «розумний будинок». У другому розділі обґрунтовано вибір компонентів, описано архітектуру та підхід до інтеграції підсистем. У третьому розділі наведено як можна провести повну реалізацію системи, зокрема програмну частину, алгоритми обробки голосу, взаємодію з користувачем. Робота демонструє використання актуальних технологій, зокрема ESP32, Raspberry Pi, алгоритмів розпізнавання мовлення та штучного інтелекту.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.
5. Негативні сторони роботи: не всі схеми деталізовано в графічному вигляді.
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 належному науково-технічному рівні.

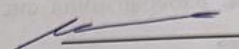
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

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

Ксаос Дмитро Павлович к.т.н, зав.кадрових
відділу, ХНУ

"16" 06 2025 р.

 (підпис)

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 11%

ID: 245829 Title: БКР Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд Added in a DB: 2025-06-14 Authors: Артем РИФЛЯК Heads: Тетяна КИСІЛЬ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	128061	858	1409 (1%)	23 (3%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

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: Артем РИФЛЯК

Співавтор:

Назва: Рифляк_Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:3.8%

Коефіцієнт подібності 2:0.9%

Мікропробіли: 9

Заміна букв: 3

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-14 08:34:53.0

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:

2025-06-14

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

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

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:
Назва: Кіберфізична система розумного будинку із використанням голосових команд

Автор: Артем РИФЛЯК

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Тетяна КИСІЛЬ, к.ф.-м.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,8% та системою Anti-Plagiarism складає 11%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Тетяна КИСІЛЬ

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА