

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень


Кіберфізична система моніторингу якості сну
Назва теми

КвРКІ 022039.22.01.38 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  Іван СТАСПЕН
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник  Павло РЕГІДА
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  Тетяна КИСІЛЬ
Підпис, дата Ініціали, прізвище

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

 Ольга ПАВЛОВА
Підпис Ініціали, прізвище

«9» 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**

Івану СТАСІШЕНУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система моніторингу якості сну

Керівник проекту (роботи) Павло РЕГІДА

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 моніторингу якості сну та постановка задачі щодо її

удосконалення

Проектування кіберфізичної системи контролю якості сну

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи моніторингу якості сну

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

Алгоритм роботи кіберфізичної системи моніторингу якості сну

Структурна схема системи

Принципова електрична схема системи

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)	Примітка
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	Розділ 1: огляд існуючих систем моніторингу якості сну	01.03.2025	виконано
4	Розділ 2: аналіз компонентів системи, вимоги до комфортних умов сну, проектування апаратної частини	01.04.2025	виконано
5	Розділ 3: програмна реалізація системи у Wokwi	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

Іван СТАСШЕН
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Павло РЕГІДА
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система моніторингу якості сну».

Автор роботи: Стасішен Іван Михайлович.

Керівник роботи: Регіда Павло Геннадійович.

Пояснювальна записка: 66 с., 24 рис., 3 табл., 4 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

Метою даного дослідження є розробка та впровадження розумної апаратно-програмної системи контролю якості сну, яка забезпечує моніторинг параметрів середовища (температури, вологості, рівня освітлення) та автоматичне керування пристроями для створення комфортних умов сну.

Об'єктом дослідження є апаратно-програмна система забезпечення комфортних умов сну шляхом автоматизованого екологічного контролю.

Предметом дослідження є методи зчитування, передавання, аналізу й відображення даних про параметри навколишнього середовища, а також способи автоматичного керування виконавчими елементами (обігрівачем, зволожувачем, шторами) на основі отриманих показників.

Під час дослідження було використано методи аналізу для вивчення аналогів та визначення доцільності реалізації системи, методи схемотехнічного проектування для побудови структурної та електричної схеми, методи моделювання для тестування системи в емуляторі Wokwi, а також експериментальний підхід для перевірки алгоритмів обробки даних, коректності керування пристроями та зручності взаємодії користувача із системою через OLED-дисплей.







Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ МОНІТОРІНГУ ЯКОСТІ СНУ	5
1.1 Дослідження аналогів систем контролю якості сну	5
1.2 Аналіз кіберфізичних систем моніторингу якості сну	14
1.3 Висновки до першого розділу	18
2 СТРУКТУРНІ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ МОНІТОРІНГУ ЯКОСТІ СНУ	19
2.1 Визначення оптимальних умов для сну та постановка завдання.....	19
2.2 Апаратна реалізація системи моніторингу	35
2.3 Проектування компонентів системи, та структура мережевих даних давачів в системі.....	25
2.4 Висновки до другого розділу	33
3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СНУ	35
3.1 Програмні особливості функціонування системи та її компонентів	47
3.2 Реалізовані функції та опис підключених бібліотек.....	53
3.3 Робота системи моніторингу якості сну в емуляторі	60
3.4 Висновки до третього розділу.....	64
ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	68
ДОДАТОК А	73
ДОДАТОК Б	74
ДОДАТОК В	75

КвРКІ 022039.22.01.22 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система моніторингу якості сну	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Іван СТАСШЕН			2022		у		2
Перевір.	Павло РЕГІДА			2022				
Н.контр.	Гетяна КИСІЛЬ			2022				
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА			2022				
ХНУ КІ2с-22-1								

ВСТУП

Сон є однією з найважливіших фізіологічних потреб людини, поряд із харчуванням, фізичною активністю та вживанням води. Він виступає як процес відновлення, під час якого організм регенерує клітини. Якість сну безпосередньо впливає на рівень енергії, стресостійкість і загальну ефективність життєдіяльності людини. В умовах сучасного ритму життя, порушення сну чи його недостатність стають дедалі частішими, негативно впливаючи як на фізичне, так і на психічне здоров'я.

За даними багатьох досліджень, створення систем моніторингу якості сну дозволяє не лише діагностувати існуючі проблеми, але й вчасно впроваджувати профілактичні заходи. Наприклад, використання різних давачів для аналізу фаз сну, електроенцефалографії (ЕЕГ) та інших методик дає можливість точно визначити якість сну та виявити потенційні порушення. Такі дані надзвичайно важливі як для клінічної медицини, так і для розробки персоналізованих рекомендацій щодо поліпшення умов життя. Особливо актуальним є створення доступної, компактної та інтелектуальної системи, яку можна застосовувати в домашніх умовах без залучення дорогого медичного обладнання [1]. Подібна система буде здатна не лише реєструвати показники (температура, вологість, рівень освітленості тощо), але й автоматично реагувати на несприятливі умови –наприклад, керувати обігрівачем, гідратором чи затемненням штор [2].

Підхід до аналізу якості сну на основі сучасних технологій дає можливість визначити індивідуальні особливості, адаптувати рекомендації та використовувати інноваційні методи лікування й профілактики [3, 4]. Це особливо актуально в умовах стрімко зростаючого ритму сучасного життя, коли якість сну часто падає через надмірне використання гаджетів, стрес та нерегулярний графік.

Під час глибокого сну активізуються процеси регенерації тканин і м'язів. Відбувається виділення гормону росту, який сприяє відновленню клітин, росту і ремонту організму. Недостатність глибокого сну може призвести до уповільнення

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

цих процесів, що в перспективі негативно впливає на фізичну витривалість та загальний стан здоров'я. Якість сну має прямий вплив на гормональну систему, наприклад, порушення сну впливає на баланс гормонів, відповідальних за регуляцію апетиту. Зміна рівню гормонів стимулюють відчуття голоду, що може спричинити переїдання, збільшення ваги та розвиток метаболічних захворювань, таких як діабет 2-го типу. Крім того, посилене вивільнення кортизолу (гормону стресу) в умовах недостатнього сну призводить до зниження імунітету та посилення запальних процесів. Також, якість сну має великий вплив на роботу серцево-судинної системи. Недостатній сон або його низька якість спричиняють порушення цих процесів: підвищення артеріального тиску, збільшення ризику серцевих нападів, інфарктів та інших кардіологічних ускладнень. Крім того, дослідження показують, що хронічне недосипання є суттєвим фактором підвищеного ризику серцево-судинних захворювань. Під час сну відбувається консолідація пам'яті, тобто перенесення інформації з короткочасної пам'яті до довготривалої. Порушення циклів сну впливає на здатність людини засвоювати нову інформацію, приймати рішення та вирішувати складні завдання. Недосипання може призвести до зниження уваги, погіршення концентрації, уповільнення реакцій та збільшення чисельності помилок, що особливо критично на робочому місці або за кермом автомобіля. Під час сну відбувається нормалізація артеріального тиску та серцевого ритму

Таким чином, створення подібної кіберфізичної системи контролю якості сну є актуальним і доцільним кроком у напрямку персоналізованого здоров'я. профілактики розладів сну та підвищення якості життя загалом.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

1 АНАЛІЗ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ МОНІТОРІНГУ ЯКОСТІ СНУ

1.1 Дослідження аналогів систем контролю якості сну

Розглянемо найвідоміші системи безконтактного моніторингу якості сну:

1) **SleepScore Max** – це передова безконтактна система моніторингу сну (Рисунок 1.1), яка спирається на використання мультисенсорного обладнання. Пристрій зазвичай розташовується поруч із ліжком і використовує методи аналізу руху, дихання та серцевих ритмів для визначення фаз сну [5]. Система застосовує радіолокаційні або акустичні сенсори, які здатні реєструвати найменші зміни активності. Це дозволяє алгоритмам штучного інтелекту здійснювати детальне розбиття циклу сну, аналізуючи переходи між фазами швидкого сну (REM) та повільного сну (NREM). Також система може враховувати параметри оточення, наприклад, рівень шуму або температуру в кімнаті, що впливають на якість сну.

Цю систему у 2018 році запустила компанія SleepScore Labs, спільне підприємство відомого виробника систем контролю сну ResMed, Pegasus Capital Advisers та доктора Мехмета Оза. Цей безконтактний пристрій просто встановлюється на столі біля ліжка і стежить за користувачем, записуючи всі нічні події і реєструючи, в яких стадіях сну він знаходиться в час ночі. За твердженнями компанії, вони проводили тестування своєї системи, порівнюючи її із системою полісомнографії, що зазвичай використовується для аналізу сну, і вона показала себе досить ефективною [6].

Пристрій працює спільно з програмою на смартфоні, в якому можна переглядати всі нічні записи, включаючи характеристику якості сну SleepScore, а також отримувати поради про те, як покращити свій сон. Крім цього, під час аналізу даних сну використовуються дані великої бази даних контролю сну, накопичених компанією ResMed, а також велика кількість наукових публікацій у цій сфері. Система порад програми Sleep Guide, що використовується в додатку, кожні чотири роки оновлюється за рахунок аналізу даних 2.7 млн записів про сон різних людей.

									Арк.
									4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ				

Користувачі можуть також встановлювати собі визначені цільові параметри сну, відстежувати свій прогрес протягом тижня, отримувати докладні звіти про свій сон, які потім відсилати лікарю. Як і всі інші системи цього типу, SleepScore Max може обережно будити користувача у відповідний з точки зору фізіології час, щоб людина відчувала себе відпочившою після сну. Пристрій працює за рахунок контролю стану сплячої людини за допомогою звукових хвиль, що випускаються 16 разів на секунду і дозволяють фіксувати будь-який рух людини. Програмне забезпечення потім обробляє ці дані та отримує з них інформацію про дихання та рухи людини в ліжку.



Рисунок 1.1 – Система моніторингу SleepScore Max [5]

Переваги системи SleepScore Max полягають у її безконтактному характері, що дозволяє уникнути дискомфорту, пов'язаного з носінням пристроїв під час сну, та забезпечує максимальний комфорт для користувача. Завдяки використанню штучного інтелекту вона здатна аналізувати динаміку фаз сну з великою точністю, враховуючи дрібні зміни у ритмі дихання та серцевому ритмі. Це дає змогу

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

генерувати персоналізовані рекомендації, які допомагають оптимізувати режим відпочинку. Однак пристрій має деякі недоліки: він чутливий до зовнішніх факторів, таких як шум, що може впливати на точність даних, і через свою орієнтованість на стаціонарне використання його складно застосовувати в умовах подорожей, також одним із недоліків є вартість даної системи, оскільки технологія, що базується на високотехнологічних сенсорах і алгоритмах AI, часто виходить дорогою, що може стати перешкодою для широкого комерційного впровадження у домашніх умовах. SleepScore Max найчастіше використовується в готелях для створення комфортного середовища для гостей та у розумних будинках, де він може автоматично регулювати температурний режим та освітлення, оптимізуючи умови для сну. Оскільки SleepScore Max здатен детально аналізувати якість сну, його дані також використовують для вивчення впливу сну на загальний стан здоров'я, розробки нових протоколів лікування безсоння або інших розладів сну.

2) Withings Sleep Analyzer – це система (Рисунок 1.2), що поєднує простоту встановлення з високою ефективністю моніторингу. Пристрій розміщується під матрацом або на ліжку і використовує технологію реєстрації рухів тіла людини для збору даних про серцевий ритм та дихання. Розташування безпосередньо під матрацом дозволяє пристрою фіксувати навіть найменші коливання, що свідчать про різні стадії сну та можливі незвичайні епізоди, наприклад, апное [7]. Завдяки зручному мобільному застосунку, користувач може в будь-який момент аналізувати результати та отримувати персоналізовані поради. Ця найновіша модель безконтактного трекера сну була розроблена та випущена у квітні 2020 року французькою компанією Withings у співпраці з лікарями-сомнологами з лікарні Беклер у Парижі та ретельно протестований на основі даних, отриманих за допомогою полісомнографії.

Withings Sleep Analyzer не вимагає кріплення на тілі користувача, завдяки чому не викликає дискомфорту і не має жодного впливу на якість сну. Пристрій являє собою тонкий текстильний чохол з вбудованою електронікою та повітряними каналами, який встановлюється під матрац ліжка. WSA проводить аналіз циклів

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

сну (глибокий сон, легкий та швидкий сон або REM), відстеження серцевого ритму та виявлення хропіння. Просте одноразове налаштування та автоматична синхронізація з додатком Health Mate через Wi-Fi дозволяє отримувати інформацію про основні параметри сну у вигляді простих та легкочитаних графіків у додатку. Також є інтеграція з IFTTT (If This Then That – платформа цифрової автоматизації) для таких сценаріїв, як приглушення світла, коли людина лягає спати, або включення термостата, коли вона встає.

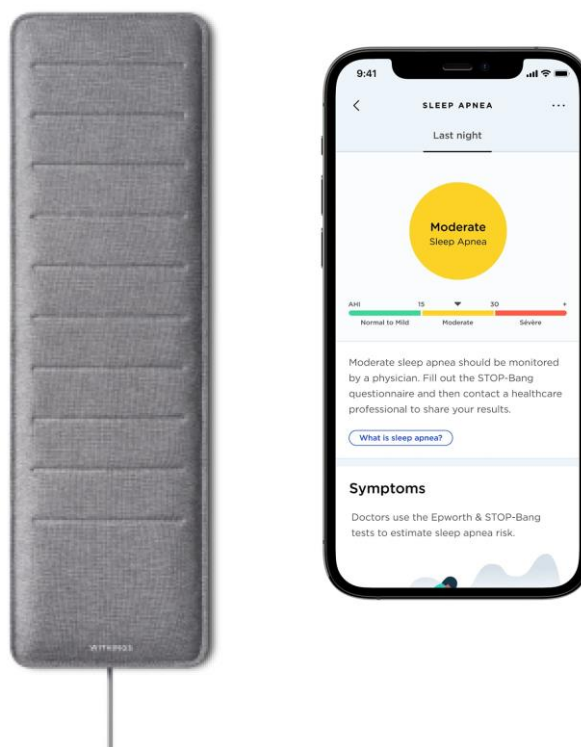


Рисунок 1.2 – Система моніторингу Withings Sleep Analyzer [7]

Withings Sleep Analyzer вирізняється зручністю використання, оскільки його легко інтегрувати у звичну спальну обстановку без необхідності змінювати конструкцію ліжка або умови спальні [8]. Крім того, технологія баллістокардіографії дозволяє детально аналізувати фізіологічні параметри, такі як серцевий ритм і дихання, забезпечуючи користувачів точними даними про якість

										Арк.
										7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

їх сну. Ця система особливо зручна для людей, які мають хронічні захворювання або хочуть оптимізувати свій режим відпочинку. Водночас точність пристрою може знижуватись через специфіку матраца чи зміну його положення. Withings Sleep Analyzer часто використовується в домашніх умовах для щоденного моніторингу сну, а також у клінічних дослідженнях, де необхідний високоточний збір даних.

3) EarlySense Live є сучасною системою моніторингу сну (Рисунок 1.3), яка вирізняється своєю безконтактною технологією з використанням сенсорів, що розташовуються під матрацом або поруч із ліжком. Завдяки надзвичайно чутливим пристроям, система здатна фіксувати навіть мінімальні вібрації, викликані серцевими скороченнями та дихальними рухами. Таке безконтактне рішення дозволяє збирати детальні дані про фізіологічний стан користувача протягом ночі, не створюючи дискомфорту, що особливо важливо для людей, яким не підходять носимі пристрої або які мають подразнюючу шкіру. Алгоритми, вбудовані в EarlySense Live, у режимі реального часу аналізують отриману інформацію та розподіляють сон на різні стадії, зокрема легкий, глибокий та REM-сон [9]. Завдяки цьому користувач отримує усі необхідні деталі щодо сну, що дозволяє виявляти навіть невеликі відхилення від норми. Розробники системи надали їй функцію «розумного будильника», яка враховує цикли сну та вибирає оптимальні моменти для пробудження, що мінімізує відчуття розбитості та сприяє більш плавному переходу від сну до активного стану. Крім того, дані, що збираються системою, можуть бути використані не тільки для індивідуального аналізу якості сну, але й для клінічних досліджень, що забезпечують раннє виявлення порушень сну, таких як апное або інші респіраторні розлади. У сукупності, EarlySense Live дозволяє змінити підхід до моніторингу сну, пропонуючи високоточний, неінвазивний збір даних, що є надзвичайно корисним як для користувачів, так і для професіоналів охорони здоров'я.

Пристрій EarlySense Live був випущений компанією на початку 2017 року і забезпечує користувачів точною інформацією про частоту серцебиття, цикли

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

дихання, стресу та параметри сну. Ця безконтактна система продемонструвала у дослідженні 90%–точність порівняно із "золотим стандартом".

Ці дані підтверджують результати, отримані при дослідженні для підтвердження патенту, отриманого EarlySense на систему моніторингу, яка ідентифікує та прогнозує епізоди апное, що дозволяє вжити негайних заходів. А також результати дослідження, що підтвердило точність визначення обструктивного апное сну у дорослих людей, які були опубліковані 2017 року в ATS Journal. Дані проведених тестувань свідчать, що сенсор може використовуватися для домашнього скринінгу дітей для виявлення порушення дихання уві сні протягом кількох послідовних ночей у комфортних домашніх умовах.



Рисунок 1.3 – Система моніторингу EarlySense Live [9]

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Особливістю рішення є інтеграція з мобільним додатком – зазвичай його позначають як Live+ або просто мобільна платформа від EarlySense. Додаток надає користувачам зрозумілий та інтуїтивно зручний інтерфейс, завдяки якому дані про сон, частоту серцевих скорочень, дихання та інші ключові показники відображаються у вигляді графіків та звітів. Це дозволяє не тільки аналізувати свій режим сну протягом декількох ночей, а й встановлювати порогові значення для сповіщень. Функція «розумного будильника» допомагає вибирати оптимальний момент для пробудження, враховуючи цикли сну, що зменшує відчуття розбитості при прокиданні та сприяє більш плавному переходу від сну до активного стану.

Крім того, EarlySense Live виступає як інструмент для профілактики та раннього виявлення захворювань. Регулярний моніторинг параметрів сну і життєво важливих показників дозволяє лікарям та пацієнтам своєчасно помічати тенденції до зниження фізіологічного стану, що може бути першими ознаками розвитку серцево-судинних захворювань або інших патологій. Такий підхід відкриває нові перспективи для персоналізованої медицини, коли на основі зібраних даних можуть бути розроблені індивідуальні рекомендації з режиму відпочинку, зміни способу життя або корекції лікування.

Загалом, EarlySense Live являє собою комплексне рішення для безконтактного моніторингу якості сну та здоров'я, яке поєднує у собі високоточні апаратні засоби, перевірені клінічними випробуваннями, та інноваційні програмні алгоритми для аналізу даних. Це дозволяє не лише спостерігати за структурою та ефективністю сну, а й отримувати детальну інформацію, що сприяє своєчасному виявленню потенційних медичних проблем, забезпечуючи користувачам і їхнім родинам вищий рівень безпеки та контролю над власним здоров'ям.

ResMed+ – це безконтактна система моніторингу якості сну (Рисунок 1.4), розроблена компанією ResMed, яка давно асоціюється з інноваціями у сфері лікування розладів сну. Це рішення створене з урахуванням потреб тих, хто хоче отримати детальну, високоточну картину нічного відпочинку, при цьому

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

зберігаючи максимальний комфорт, оскільки користувач не потребує носити жодних пристроїв під час сну.

Основною перевагою ResMed+ є використання передових технологій сенсорики для безконтактного моніторингу. Система застосовує комбінацію інфрачервоних та радіолокаційних датчиків, які розташовуються поруч із ліжком або навіть інтегровані в матрац. Ці сенсори здатні фіксувати мікроскопічні зміни, пов'язані з ритмічними рухами тіла, змінами дихання та серцевими скороченнями. Навіть незначні коливання, що можуть вказувати на перехід між різними станами сну або виникнення апное, реєструються з високою точністю [10]. Саме така технологічна база дозволяє системі не лише визначати загальну тривалість сну, але й аналізувати структуру нічного відпочинку – розподіл на легкий сон, глибокий син та фазу REM.

Розумні алгоритми аналізу даних, які використовуються в ResMed+, базуються на методах машинного навчання та обробки сигналів. Зібрані дані негайно обробляються для розпізнавання типових патернів сну і виявлення можливих аномалій. Наприклад, система автоматично фіксує незалежно від зміни положення тіла дрібні відхилення, що можуть свідчити про порушення дихання або зниження ефективності відновлювальних процесів. Завдяки цьому ResMed+ дозволяє не лише отримувати зведену інформацію за одну ніч, а й аналізувати тенденції в якості сну протягом тривалого періоду, що є надзвичайно корисним для профілактики та ранньої діагностики патологій.

Особливе місце у системі займає її інтеграція з цифровими платформами. Через спеціалізований мобільний застосунок (часто інтегрований в екосистему myAir або інші рішення ResMed) користувач отримує доступ до докладних графіків, звітів і рекомендацій. Інтерфейс додатку розроблено так, щоб навіть люди без спеціальних технічних знань могли легко зрозуміти, що відбувається із їхнім сном, і отримати поради щодо покращення режиму відпочинку. Крім того, дані з ResMed+ можуть бути передані лікарям або спеціалістам зі сну. Завдяки можливості віддаленого моніторингу, медичний персонал може оперативно

									Арк.
									11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ				

реагувати на будь-які відхилення в параметрах сну, що особливо важливо для пацієнтів з хронічними розладами.

Завдяки постійним оновленням алгоритмів і вдосконаленню апаратних засобів, компанія ResMed активно працює над оптимізацією системи, зробивши її все більш точною і стійкою до зовнішніх впливів. У майбутньому ResMed+ має великий потенціал для подальшої інтеграції з іншими технологіями розумного дому. Поєднання даних з різних сенсорів, аналізу великої кількості параметрів і впровадження штучного інтелекту дозволить створювати комплексні моделі здоров'я, які не тільки моніторять якість сну, але й прогнозують можливі ризики для здоров'я та пропонують індивідуальні рекомендації для оптимізації режимів відпочинку, активності та харчування.

Таким чином, ResMed+ є прикладом передового безконтактного рішення для моніторингу сну, яке поєднує високоточні технології збору даних із інтуїтивно зрозумілими інтерфейсами аналізу, забезпечуючи як користувачам, так і медичним фахівцям можливість отримувати комплексну інформацію про якість сну для подальшого прийняття рішень щодо покращення здоров'я та профілактики серйозних патологій.



Рисунок 1.4 – Система моніторингу ResMed+ [10]

1.2 Аналіз кіберфізичних систем моніторингу якості сну

Нижче приведений порівняльний аналіз систем моніторингу якості сну, розглянутих у питанні 1.1.

1) SleepScore Max

Технологія та сенсори: SleepScore Max використовує принципи безконтактного моніторингу за допомогою високочутливих радарних або акустичних сенсорів [11]. Система випромінює наднизько-енергетичні сигнали (як радіохвилі або звукові хвилі), які відбиваються від тіла користувача. Сенсори приймають відбиті сигнали, дозволяючи вловити незначні коливання, викликані серцевими скороченнями, диханням і навіть мікро-рухами під час сну.

Алгоритмічна обробка: Отримані дані потім обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання, які розподіляють сигнал у часовій області та визначають фазову структуру сну (легкий, глибокий, REM). Важлива особливість полягає в адаптивній калібруванні алгоритмів, що дозволяють персоналізувати аналіз на основі історичних даних конкретного користувача. Це забезпечує високий рівень точності, особливо при аналізі повторюваних циклів сну в стабільних умовах.

Переваги та використання: Відсутність безпосереднього контакту забезпечує комфорт при використанні, а можливість додаткової інтеграції з системами «розумного дому» дозволяє автоматизувати контроль середовища (освітлення, температура). Однак система чутлива до змін зовнішніх умов, що може вимагати точного розташування пристрою та стабільного середовища.

2) Withings Sleep Analyzer

Технологія та сенсори: Цей пристрій використовує методику балістокардіографії, яка полягає у фіксації змін тиску під матрацом [12]. Сенсори, розташовані під матрацом, вимірюють мікроскопічні коливання, спричинені серцевою діяльністю та диханням. Використання подібних технологій дозволяє

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

отримувати інформацію про зміну ваги рухомих частин тіла та інші тонкі параметри.

Алгоритмічна обробка: Алгоритми пристрою застосовують сигнальні фільтри для виділення корисного сигналу з шуму, а потім проводять класифікацію фаз сну. Оскільки дані збираються з фіксованої позиції, алгоритм враховує варіації, що пов'язані з різною жорсткістю матраца або навіть розташуванням самого пристрою. Додатково мобільний додаток аналізує дані за декілька ночей, дозволяючи виявити закономірності та можливі симптоми апное.

Переваги та використання: Система проста у встановленні, при цьому не порушує звичного режиму користувача. Однак зміна конструкції матраца чи розташування може вплинути на точність вимірювань. Такий пристрій добре підходить для домашнього моніторингу та клінічних досліджень, де потрібен постійний збір даних без будь-якого контакту.

3) EarlySense Live

Технологія та сенсори: EarlySense Live використовує високочутливі п'єзоелектричні сенсори, які здатні фіксувати мікровібрації тіла. Ці сенсори встановлюються під матрацом або поруч із ліжком і можуть уловлювати дані про серцевий ритм, дихання та навіть дрібні рухи [13]. Важливим аспектом технології є здатність точного визначення сигналу навіть при наявності мінімальних коливань, що дозволяє досить детально реконструювати фазову архітектуру сну.

Алгоритмічна обробка: Система здійснює реальний аналіз сигналу з використанням цифрової обробки даних, де застосовуються адаптивні фільтри, статистичний аналіз та методи класифікації на основі патернів сну. Дані порівнюються із базовими еталонами для кожного користувача, що дозволяє швидко виявляти відхилення – наприклад, періоди апное або сильне збудження. Окрім цього, система може генерувати сповіщення для опікунів чи лікарів у випадку критичних змін.

Переваги та використання: Завдяки точності вимірювань і здатності працювати в режимі реального часу, EarlySense Live знаходить застосування як у

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

домашньому моніторингу для літніх людей, так і в клінічних установах. Система здатна реєструвати найменші мікрорухи тіла, дихальні коливання та серцеві скорочення. Це забезпечує високоточне визначення фізіологічних параметрів користувача без перешкод. Інформація з пристрою синхронізується з мобільним додатком, де користувач може переглядати історію, графіки сну, рекомендації та отримувати зворотній зв'язок у зручній візуальній формі. Недоліком може бути підвищена чутливість до умов оточення та необхідність періодичного калібрування для підтримки оптимальної точності.

4) ResMed+

Технологія та сенсори: ResMed+ базується на інтегрованих безконтактних технологіях із використанням інфрачервоних і радіолокаційних сенсорів [14]. Ці датчики генерують та приймають сигнали, що детально фіксують фізіологічні параметри: рухи тіла, дихальні цикли та зміну температури. Система оснащена високоточними цифровими фільтрами, які допомагають зменшити шум та відокремити корисний сигнал від фонового впливу.

Алгоритмічна обробка: Алгоритми ResMed+ використовують методи машинного навчання для швидкої інтерпретації сигналів. Завдяки цьому пристрій може розрізняти різні фази сну з високою точністю і навіть розпізнавати аномалії, наприклад, апное. Важлива функціональність – можливість віддаленого моніторингу, коли дані автоматично передаються лікарям через захищені канали зв'язку. Це дозволяє спеціалістам проводити аналіз і оперативно рекомендувати зміни у терапії.

Переваги та використання: ResMed+ забезпечує високий рівень точності, що робить його конкурентоспроможним у медичній сфері, особливо для лікування розладів сну. Однак система має певну складність у встановленні (залежно від умов кімнати) і вимагає спеціалізованої підтримки, що обумовлює її орієнтацію в першу чергу на клінічне використання ПЗ. У домашніх умовах ResMed+ дозволяє пацієнтам самостійно відслідковувати якість сну. Зібрані дані автоматично надсилаються в мобільний додаток або на сервер лікаря. Пацієнт отримує

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.3 Висновки до першого розділу

У межах першого розділу проведено аналіз вже існуючих систем для моніторингу якості сну, ознайомлення з ними дозволило ґрунтовно проаналізувати сучасний стан цієї галузі та визначити основні технологічні підходи, переваги, недоліки, а також ключові вимоги до подібних пристроїв. На основі цього аналізу були виявлені як сильні сторони сучасних рішень – висока точність, безконтактність, адаптивні алгоритми – так і їхні недоліки, серед яких: висока вартість, складність у налаштуванні, залежність від сталих умов навколишнього середовища та прив'язка до закритих екосистем виробника. Такий аналіз дозволив чітко окреслити вимоги до майбутньої системи, яка має поєднувати практичність, доступність і незалежність від зовнішніх сервісів.

У результаті дослідження сформовано концепцію створення власної системи контролю якості сну, адаптованої під побутові умови. Вона базується на таких ключових засадах: використання недорогих і легко доступних датчиків (температури, вологості, освітленості, положення штор тощо), побудова багаторівневої децентралізованої архітектури з обміном даними між кількома ESP32 через Wi-Fi, локальна обробка інформації без підключення до інтернету та відображення даних у зручному форматі на OLED-дисплеї. Передбачається, що така система буде здатна автономно контролювати параметри середовища спальні та автоматично керувати реле, серво або іншими пристроями на основі зібраної інформації.

Цей розділ визначив основу для створення власної системи контролю якості сну, яка буде орієнтована на простоту, функціональність та енергоефективність, що робить її особливо придатною для використання в побуті.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2 СТРУКТУРНІ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ СНУ

2.1 Визначення оптимальних умов для сну та постановка завдання

Завданням кваліфікаційної роботи було створити таку кіберфізичну систему, яка могла б забезпечити або хоча б наблизити максимально комфортні умови для сну. Але для цього, потрібно визначити, які ж саме умови у сучасній практиці можна рахувати комфортними та як їх забезпечити. Основними параметрами, в літературі визначають показники температури, освітлення та вологості, які є найголовнішими для забезпечення комфорту сну людини. Розглянемо їх детальніше:

1) температура – оптимальний діапазон температури, згідно наукових досліджень, зокрема рекомендацій Національної асоціації сну (National Sleep Foundation) та клінічних досліджень, свідчать, що оптимальна температура в спальні для більшості дорослих знаходиться в межах 15,6–19,4 °С. У численних роботах встановлено, що температура близько 18 °С є найбільш сприятливою для якісного сну, оскільки вона сприяє природному зниженню температури тіла, що є одним із факторів засипання [15].

Фізіологічні міркування: В процесі сонного циклу організм природно знижує температуру тіла (порядку 1–2 °С) для відпочинку та відновлення. Забезпечення оптимального зовнішнього температурного режиму (близько 18 °С) допомагає організму досягти цієї необхідної терморегуляції без надмірного втручання в теплообмін. Якщо температура в кімнаті занадто висока (понад 21–22 °С) або занадто низька (нижче 16 °С), це може порушити цей процес, призводячи до зниження якості сну, частих пробуджень і дискомфорту [16].

2) Вологість – оптимальний рівень вологості, згідно досліджень більшості фахівців з охорони здоров'я та дослідників, має становити приблизно 30–50%. Такий діапазон забезпечує оптимальне зволоження повітря, що важливо для правильної роботи дихальних шляхів, запобігання пересиханню слизової оболонки носа та горла, а також для підтримання комфортного мікроклімату в кімнаті [17].

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Вплив на якість сну: Надмірно висока вологість (понад 60%) може спричиняти відчуття духоти та неприємних відчуттів, сприяти появі цвілі, а замалої – викликати сухість повітря, яка також впливає на дихання. Дослідження показують, що при оптимальній вологості організм відчуває менший термічний стрес, що позитивно впливає як на швидкість засипання, так і на глибину сну [18].

3) Освітлення – світловий мікроклімат також є критично важливим фактором для якісного сну. Наукові дослідження демонструють, що надмірне яскраве освітлення, особливо із великою кількістю синього спектрального відбивання (як у екранах смартфонів, планшетів або комп'ютерів), пригнічує вироблення мелатоніну – гормону, який регулює цикли сну в організмі. Повна темрява сприяє підвищенню продукції мелатоніну, що дозволяє організму легко переходити в глибокі стадії сну. За даними досліджень, у приміщеннях із дуже низьким рівнем освітлення якість сну покращується, а частота пробуджень знижується [19].

Для забезпечення комфортних умов рекомендовано знижувати рівень освітлення за 1–2 години до сну, використовуючи теплі тони (наприклад, лампи з теплим білим світлом) та уникати синього світла [20].

Тому, для досягнення оптимальних умов сну рекомендується дотримуватись наступних умов:

- температурний режим – наближення до 18 °C (приблизно 15,6–19,4 °C), що сприяє природному зниженню температури тіла та виробленню мелатоніну;
- відносну вологість – тримати її в межах 30–50%, що забезпечує оптимальне зволоження повітря та підтримку здоров'я дихальних шляхів;
- оптимальні умови освітлення – забезпечити зниження яскравості та уникання синього світла за 1–2 години до сну, а під час сну створити умови повної темряви (менше 0.1–0.3 люкс).

Інтегрування цих параметрів у кіберфізичну систему контролю якості сну дозволить не лише точно відстежувати параметри сну, але й давати обґрунтовані рекомендації для оптимізації мікроклімату в спальні, що, у свою чергу, сприятиме поліпшенню якості відпочинку та загального стану здоров'я [21].

									Арк.
									19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ				

Виходячи з можливих застосувань системи контролю якості сну, можна виділити ряд вимог до системи, що розробляється [22]. Вимірювальна система повинна бути мобільною, що допоможе полегшити її використання для користувачів і забезпечити більш широку зону покриття. Повинна бути передбачена можливість використання розроблюваної системи як за допомогою дротового з'єднання окремих пристроїв між собою, так і за допомогою бездротового з'єднання із використанням Wi-Fi модуля задля досягнення кращої ергономічності системи. Також важливо забезпечити надійність та стійкість системи до зовнішніх впливів, таких як вологість, запиленість та перепади температур. Це може бути досягнуто за допомогою спеціального захисного корпусу та використання високоякісних компонентів, розрахованих на роботу в складних умовах. Система має бути швидкою, щоб економити час, а також вимірювати декілька різних величин одночасно, що називається мультиканальністю. Цього можна досягти, маючи в складі системи набір датчиків, що працюють паралельно. Виходячи з вимог до системи при вимірюванні параметрів мікроклімату, було сформовано перелік фізичних величин, які буде вимірювати розроблювана система. Найбільш часто вимірюваними параметрами для забезпечення комфортного сну є:

- температура у приміщенні;
- відносна вологість приміщення;
- освітленість.

Вимірювання параметрів, що впливають на мікроклімат приміщення, є необхідним для забезпечення комфортних умов сну. Ці параметри є ключовими та безпосередньо впливають на якість сну.

У створеній системі контролю якості сну реалізовано модульну архітектуру, що базується на взаємодії кількох мікроконтролерів ESP32, кожен з яких виконує окрему функцію в межах спільного проєкту. Центральним елементом є головний керуючий пристрій ESP32 Master, який виступає координатором системи: він отримує дані від підлеглих модулів (ESP32 Slave), обробляє їх, приймає рішення

									Арк.
									20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

щодо активації виконавчих механізмів і виводить результати на OLED–дисплей. Така структура дозволяє оптимізувати систему – зменшити кількість дротових з’єднань, полегшити масштабування, підвищити надійність та спростити технічне обслуговування.

Кожен підлеглий модуль ESP32 Slave виконує окрему спеціалізовану задачу. Один із них підключений до датчика температури та вологості (наприклад, DHT22), знімає показники навколишнього середовища і передає їх до головного контролера за допомогою Wi-Fi через HTTP–запити. Інший Slave–модуль відповідає за вимірювання освітленості, яку у моделі імітує потенціометр. Усі ці підсистеми функціонують автономно, збираючи необхідні дані та надсилаючи їх до Master ESP32, що дозволяє мінімізувати навантаження на центральний контролер і зберегти гнучкість у розвитку проєкту.

Головний ESP32 Master отримує інформацію з підлеглих вузлів і проводить аналіз відповідно до заданих порогових значень, та змінює стан системи відповідно до визначених правил. Якщо, наприклад, температура опускається нижче 20 °C, активується реле обігрівача. У разі падіння вологості нижче 40% вмикається гідратор. Коли освітленість зменшується до рівня, що вказує на настання вечора або нічних умов, запускається серво–мотор, який автоматично закриває штори. Всі ці дії реалізуються за допомогою виконавчих пристроїв, безпосередньо під’єднаних до Master ESP32 – двох реле та серво–мотора.

Для зручності користувача система обладнана OLED–дисплеєм, на якому виводиться актуальна інформація про умови середовища: температура, вологість, рівень освітлення, а також коротке текстове повідомлення, яке характеризує загальний комфорт середовища для сну (наприклад, "Умови комфортні", "Підвищити вологість", "Занадто яскраво" тощо). Це дозволяє користувачеві швидко отримати зворотний зв’язок від системи без потреби у підключенні до зовнішніх пристроїв або інтернету.

Подібна архітектура має ряд важливих переваг. По–перше, вона є масштабованою – до системи легко додати нові модулі для контролю інших

									Арк.
									21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

параметрів (наприклад, рівня шуму або CO₂), просто підключивши ще один ESP32. По-друге, вона мінімізує кількість дротів, оскільки всі пристрої обмінюються даними через бездротову локальну мережу. По-третє, така структура підвищує надійність: відмова одного вузла не впливає на роботу інших. Крім того, система відзначається гнучкістю – логіку роботи можна змінювати без фізичного втручання у підсистеми, а також спрощеним налагодженням, оскільки кожен ESP32 має окремий програмний код і може тестуватись автономно.

Таким чином, запропонована система є ефективним прикладом реалізації принципів розподілених кіберфізичних систем, у яких кілька автономних мікроконтролерів взаємодіють між собою в єдиній локальній екосистемі для забезпечення головної цілі – автоматичного контролю та підтримання комфортних умов для сну.

Для реалізації системи контролю якості сну у межах цього проєкту передбачається виконання низки чітко визначених, послідовних та взаємопов'язаних завдань, які мають забезпечити створення ефективного, доступного та функціонального рішення для побутового використання. Основна мета полягає у побудові автоматизованої мікропроцесорної системи, здатної без участі користувача контролювати параметри навколишнього середовища, визначати їх вплив на якість сну та здійснювати коригування системи з метою досягнення оптимальних умов. Для досягнення цієї мети планується реалізувати архітектуру на базі декількох мікроконтролерів ESP32, організованих за схемою “master–slave”, де кожен модуль матиме чітке функціональне призначення.

Зокрема, завданням є побудова загальної структури, в якій один центральний ESP32 (Master) виступатиме в ролі керуючого елемента, а інші ESP32 (Slave) збиратимуть інформацію з різних сенсорів: температури, вологості та освітленості. Зібрані дані мають передаватись по Wi-Fi за допомогою HTTP-запитів до головного модуля, де буде здійснюватися локальна обробка інформації без залучення зовнішніх хмарних сервісів. На основі отриманих значень передбачається реалізувати логіку реагування системи на зміну мікроклімату в

									Арк.
									22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

приміщенні, тобто – за потреби – активувати відповідні виконавчі пристрої: реле для обігрівача та гідратора, а також сервомеханізм для автоматичного відкриття або закриття штор.

Також, ще одним із завдань є розробка схеми з'єднання всіх апаратних компонентів. Планується використати давач DHT22 для вимірювання температури та вологості, а також аналоговий потенціометр у ролі давача рівня освітленості. OLED-дисплей, що під'єднується до Master ESP32 через інтерфейс I2C, використовуватиметься для виведення поточних параметрів середовища та статусу виконавчих механізмів у реальному часі.

Окремо передбачається створити програмне забезпечення для кожного модуля системи. Slave ESP32 мають реалізовувати зчитування даних з підключених сенсорів та передавати їх у вигляді HTTP-запитів. Головний модуль має отримувати ці запити, розпізнавати їх зміст, зберігати отримані значення та аналізувати їх за наперед встановленими пороговими критеріями. У разі невідповідності поточних параметрів допустимим межах має бути реалізована відповідна реакція системи – вмикання або вимикання реле, активація сервомеханізму, тощо. Усе це повинно відбуватись у повністю автономному режимі без участі людини, з акцентом на простоту конструкції, енергоефективність і масштабованість.

Завершальним етапом у межах поставлених завдань має стати побудова повної симуляційної моделі у середовищі Wokwi. У процесі верифікації планується поетапно перевіряти кожен модуль окремо, а потім інтегрувати їх у єдину систему. Це дозволить упевнитися в коректності архітектурного рішення, логіки керування та обміну даними. У разі потреби будуть проведені оптимізації, що забезпечать максимальну ефективність і надійність роботи системи у реальних умовах використання [23].

У результаті виконання поставлених завдань передбачається створення працездатного прототипу розумної системи контролю якості сну, що може бути

використаний як у побуті, так і як основа для подальшого розвитку в напрямку медичних чи комерційних рішень.

2.3 Проектування компонентів системи, та структура мережевих даних давачів в системі

У розробленій системі моніторингу та керування умовами сну використано модульну розподілену архітектуру, яка складається з кількох мікроконтролерів ESP32, кожен з яких виконує окрему функцію. Основною перевагою такої структури є те, що всі сенсори та виконавчі пристрої підключаються не до одного контролера, а до окремих вузлів, кожен з яких має власну ESP32. Передача даних між компонентами здійснюється по бездротовому протоколу Wi-Fi через внутрішню мережу, створену за допомогою віртуального маршрутизатора у середовищі Wokwi [35].

Кожен ESP32 виконує свою чітко визначену роль у системі. Один із мікроконтролерів виступає у ролі центрального керуючого вузла (мастер-контролер), який відповідає за координацію всієї роботи системи. Решта ESP32 виконують функції сенсорних або виконавчих модулів. Наприклад, один з вузлів відповідає за зчитування температури та вологості повітря за допомогою давача DHT22, інший – за вимірювання рівня освітленості через потенціометр, який імітує роботу цифрового фотодавача, ще один – за керування реле обігрівача та зволожувача повітря, а окремий модуль – за положення штор, які відкриваються або закриваються за допомогою сервоприводу.

Для передачі інформації використовується простий та надійний протокол HTTP [36]. Кожен із сенсорних вузлів запускає власний веб-сервер на порті 80, який обробляє вхідні HTTP-запити від центрального контролера. Коли головний ESP потребує отримати дані, він формує GET-запит на відповідний IP-адрес вузла, наприклад /data, /temperature, /humidity або /light, залежно від типу інформації. У відповідь на цей запит сенсорний модуль надсилає або JSON-об'єкт, що містить

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

числові значення вимірюваних параметрів, або одне значення у вигляді тексту. Якщо значення були зчитані успішно, вони надсилаються у відповідь, інакше повертається повідомлення про помилку.

Отримавши дані, центральний ESP32 виконує обробку значень і аналізує, чи відповідають вони комфортним умовам для сну. Якщо температура повітря нижча за допустимий поріг, наприклад 20 °С, система активує реле обігрівача. Якщо вологість нижча за 40%, активується гідратор. Якщо рівень освітлення у кімнаті перевищує певний поріг (наприклад, 200 люксів), штори автоматично закриваються за допомогою сервомотора. Для реалізації керування виконавчими механізмами центральний контролер надсилає HTTP-запити вже до відповідних ESP32, що відповідають за фізичне керування пристроями. Ці вузли також запускають веб-сервери, які обробляють запити на кшталт /relay/on, /humidifier/off, /curtain/open тощо. Після отримання запиту мікроконтролер змінює стан реле або серво відповідно до вказаної команди.

Передача та обробка даних відбувається циклічно кожні 10 секунд. Такий інтервал дозволяє підтримувати актуальність вимірювань, водночас не створюючи перевантаження на Wi-Fi-канал. У випадку, якщо одна з ESP32 не відповідає або надсилає некоректні значення (наприклад, NaN або -1), головний модуль виводить повідомлення про помилку у серійний монітор, але продовжує роботу з тими модулями, що залишаються доступними. Це дозволяє забезпечити базову стійкість системи до збоїв.

Завдяки такій архітектурі досягається висока гнучкість та масштабованість. У майбутньому можна без зусиль додати нові вузли, наприклад, сенсор вуглекислого газу чи давач руху, просто призначивши їм нову ESP32 з власним IP та веб-сервером. Система також легко адаптується до використання в реальних умовах із реальним роутером замість віртуального, а протокол HTTP дозволяє інтегрувати її з іншими системами, зокрема хмарними сервісами або мобільними додатками. Для зручності користувача та оперативного інформування центральний модуль оснащено OLED-дисплеєм. На ньому виводяться основні параметри:

					КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

температура, вологість, рівень освітленості, а також узагальнений висновок про те, чи є умови комфортними для сну. Таким чином, користувач у будь-який момент може візуально оцінити поточний стан середовища без підключення до комп'ютера або іншого пристрою.

Отже, структура передачі даних у даній системі забезпечує надійний обмін інформацією між усіма компонентами, гнучке масштабування та ефективну координацію дій, спрямованих на підтримку комфортного мікроклімату для сну [37].

У запропонованій системі кожен датчик або виконавчий пристрій підключається до власного мікроконтролера ESP32, що виконує роль локального вузла збору або керування. Центральний контролер – **ESP32 (Master)** – здійснює збір даних по Wi-Fi від сенсорних вузлів і, на основі цих даних, надсилає команди до відповідних виконавчих механізмів: сервомоторів, реле тощо. Нижче розглянуто схеми підключення та розпіновку основних модулів.

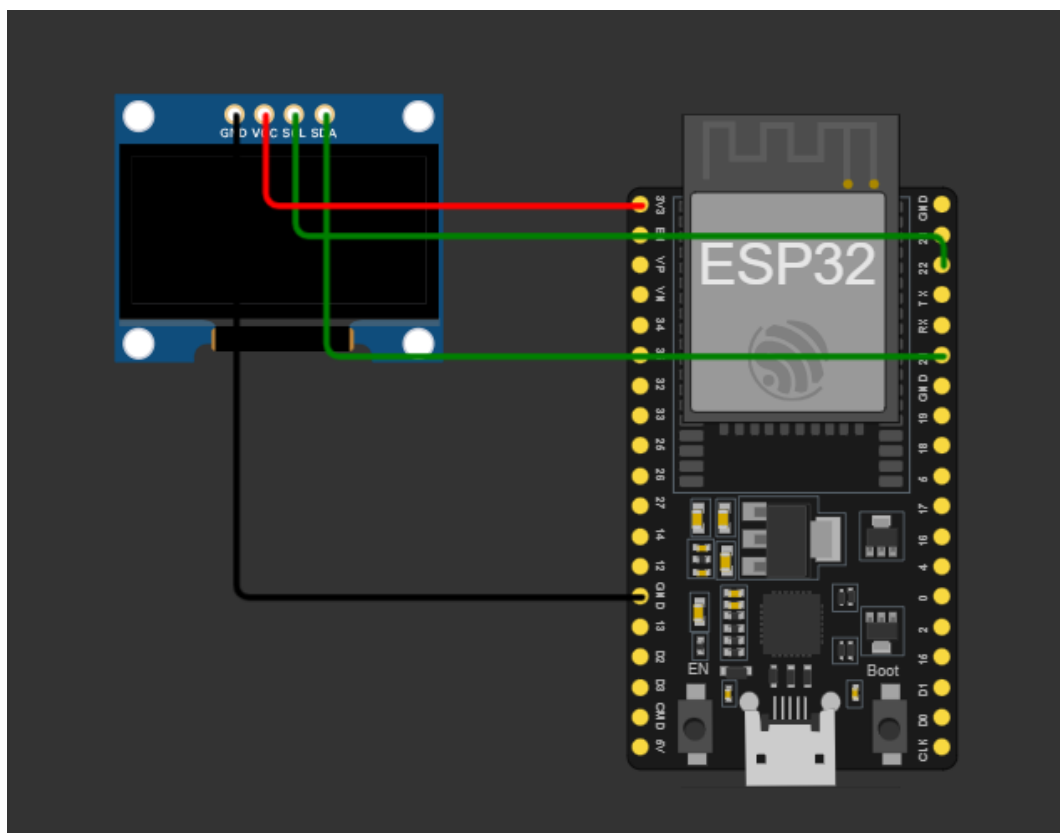


Рисунок 2.6 – Підключення OLED-дисплея до ESP32 (Master)

Цей мікроконтролер виконує роль головного вузла (Master ESP32) у системі. До нього підключено OLED-дисплей (Рисунок 2.6), на якому виводяться значення температури, вологості, рівня освітленості, а також стан виконавчих пристроїв (ввімкнено/вимкнено).

Для виведення інформації використовується дисплей типу SSD1306 із діагоналлю 0.96" та інтерфейсом I2C. Це дозволяє використовувати лише два сигнальні дроти, що спрощує монтаж та зменшує кількість з'єднань.

Схема підключення:

- VCC дисплея → 3.3V ESP32 (живлення);
- GND дисплея → GND ESP32 (загальна "земля");
- SCL дисплея → GPIO22 ESP32 (тактова лінія I2C);
- SDA дисплея → GPIO21 ESP32 (лінія даних I2C).

Таким чином, головний ESP32 отримує дані по Wi-Fi від інших ESP32-модулів, обробляє їх та виводить результати у зручному для користувача форматі на OLED-дисплей.

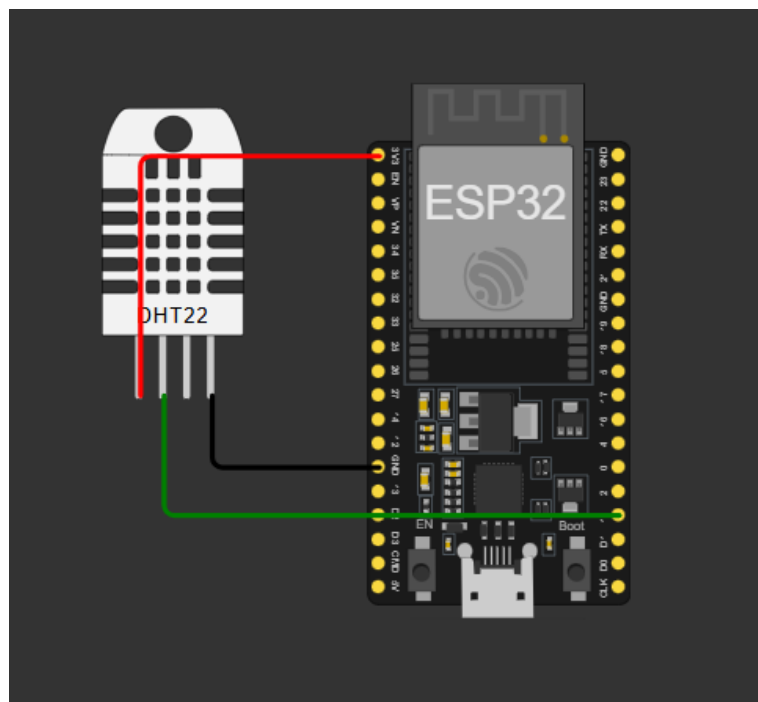


Рисунок 2.7 – Підключення датчика температури і вологості DHT22 до ESP32

Для збору інформації про мікроклімат у приміщенні використовується датчик DHT22, який вимірює температуру та вологість повітря. Цей сенсор підключений до окремого ESP32 (Рисунок 2.7), який періодично зчитує показники та передає їх через Wi-Fi головному модулю (Master ESP32).

Схема підключення:

- VCC датчика → 3.3V ESP32 (живлення);
- GND датчика → GND ESP32;
- Data (середній пін) → GPIO15 ESP32 (один цифровий пін

використовується для отримання обох параметрів).

DHT22 має хорошу точність та є надійним рішенням для побутових систем моніторингу клімату. Його інтеграція дозволяє системі виявляти відхилення від оптимальних значень температури та вологості.

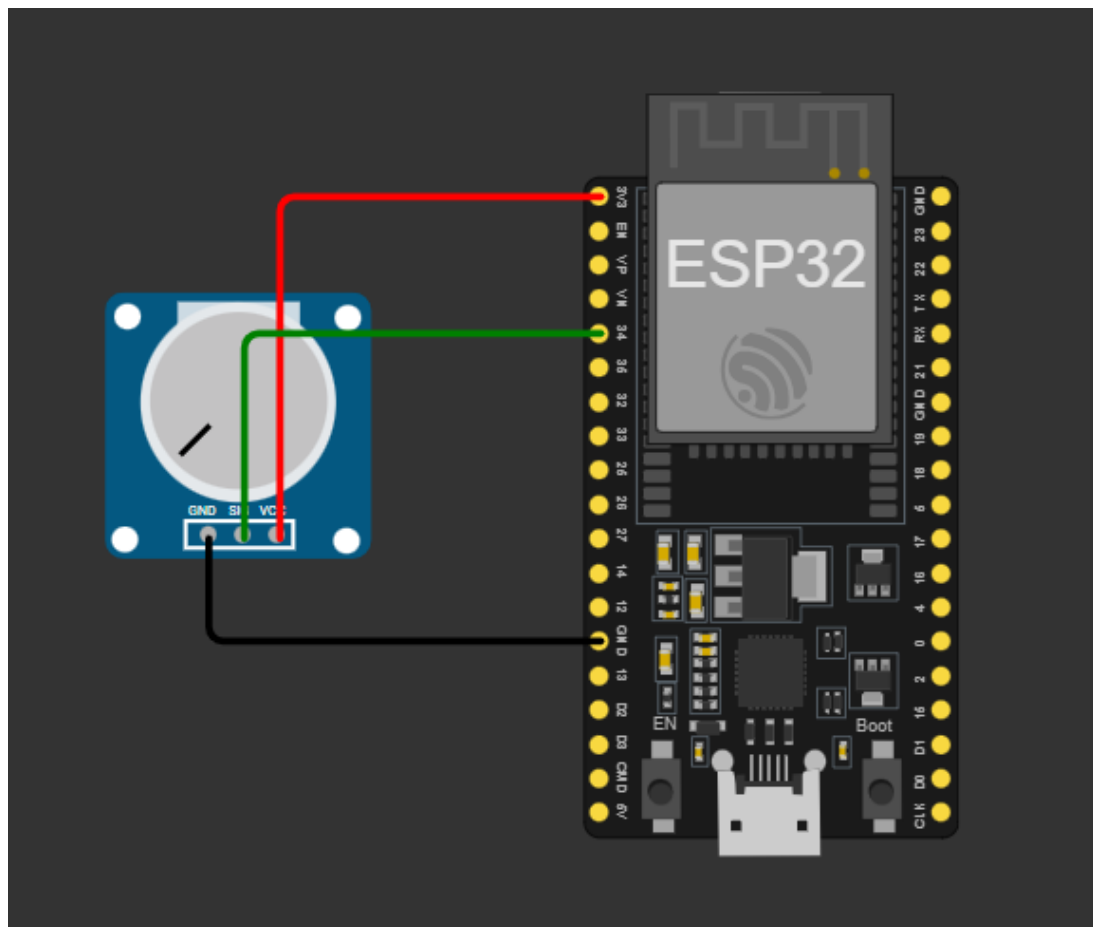


Рисунок 2.8 – Підключення потенціометра до ESP32

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Ще один компонент виконує вимірювання рівня освітленості в кімнаті за допомогою потенціометра (Рисунок 2.8), що є аналоговим сенсором. Показники освітленості дозволяють адаптувати відкритість штор або регулювати штучне освітлення для створення умов, сприятливих до сну.

Схема підключення:

- VCC потенціометра → 3.3V ESP32;
- GND потенціометра → GND ESP32;
- Аналоговий вихід → GPIO32 ESP32 (ADC).

Отримане аналогове значення передається через Wi-Fi до головного модуля, що дозволяє оперативно реагувати на зміну умов освітлення у приміщенні.

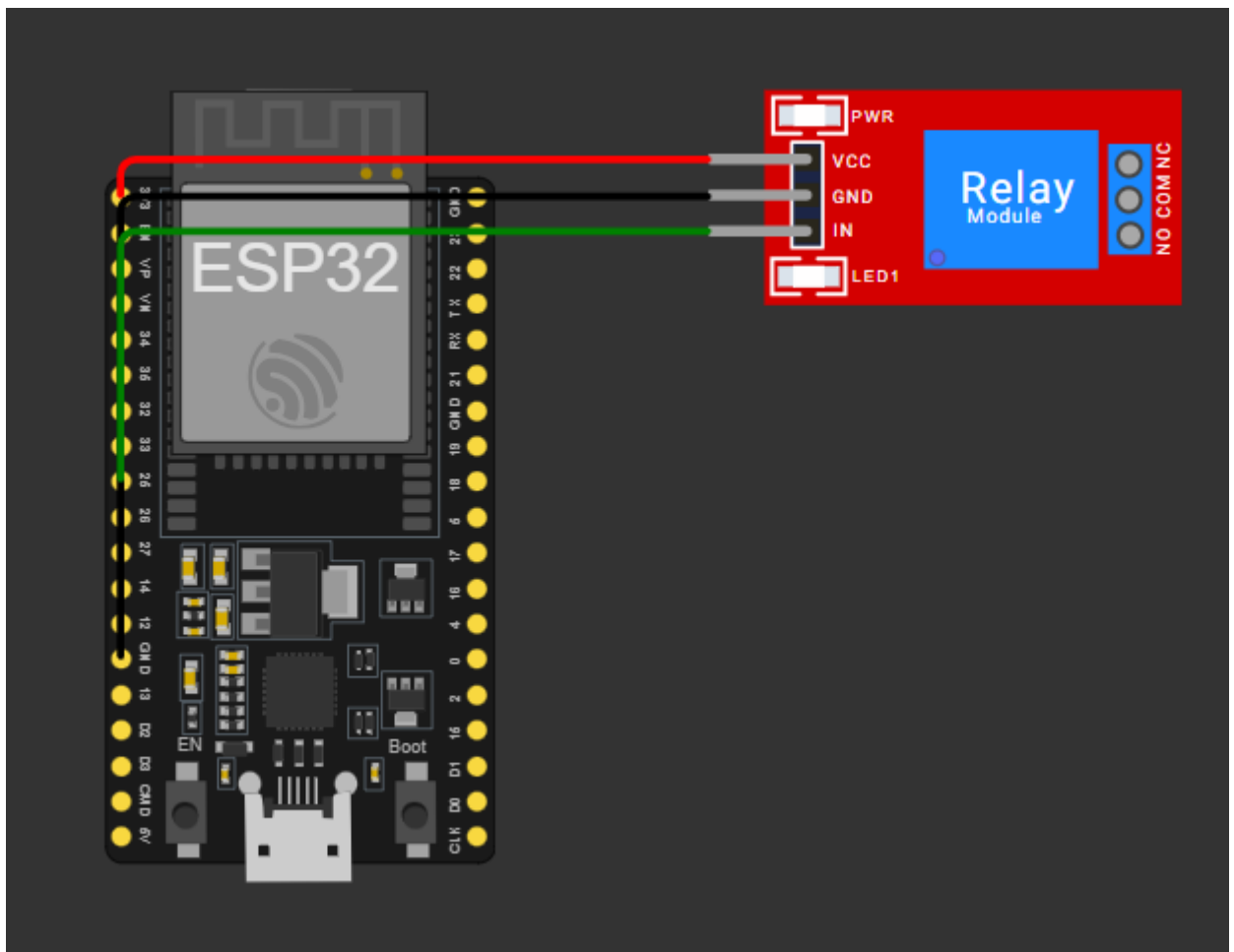


Рисунок 2.9 – Підключення реле до ESP32 для керування зволожувачем

Для забезпечення визначеного рівня вологості в кімнаті застосовується зволожувач повітря, керування яким реалізовано за допомогою модуля реле (Рисунок 2.9). Оскільки зволожувач працює від високої напруги (наприклад, 220 В), він не може бути підключений безпосередньо до ESP32.

Схема підключення реле:

- VCC модуля реле → 3.3V ESP32;
- GND реле → GND ESP32;
- IN реле → GPIO26 ESP32.

Модуль реле активується сигналом з ESP32, дозволяючи вмикати або вимикати зволожувач в автоматичному режимі на основі показників вологості.

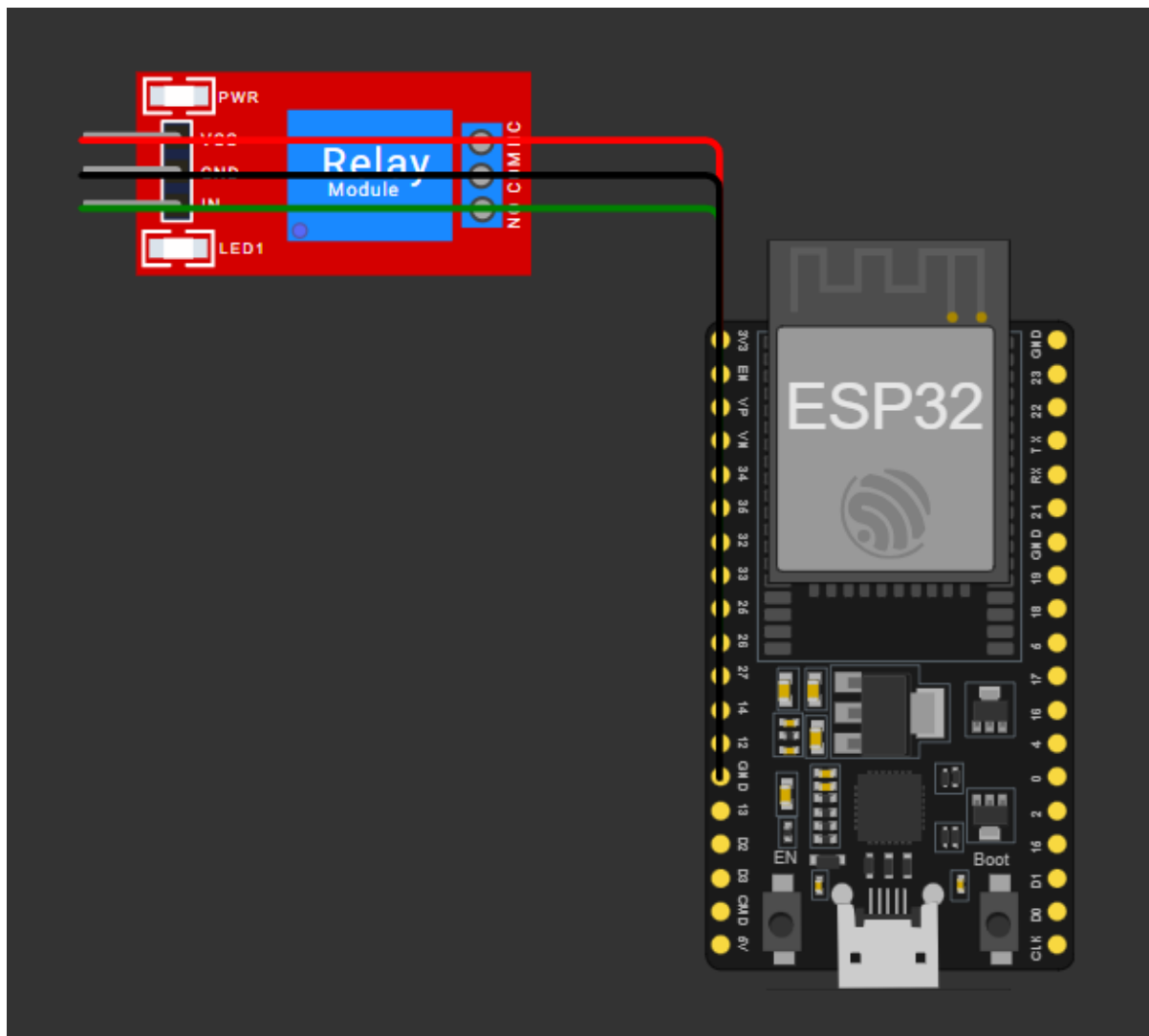


Рисунок 2.10 – Підключення реле до ESP32 для керування обігрівачем

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Для автоматичного відкривання та закривання штор використовується серводвигун типу SG90 (Рисунок 2.11), керований за допомогою сигналу широтно-імпульсної модуляції (PWM). Такий підхід дозволяє точно контролювати кут відкриття штор, створюючи необхідну темряву або природне освітлення в кімнаті.

Схема підключення:

- VCC серво → 3.3V ESP32 (або окреме живлення, якщо потрібно більше струму);
- GND серво → GND ESP32;
- Signal серво → GPIO27 ESP32.

Сервомотор змінює положення штор залежно від рівня освітленості, отриманого з фотодавача, реагуючи на зміну дня й ночі або зовнішні освітлювальні джерела.

Загальна архітектура системи побудована за модульним принципом, що дозволяє гнучко змінювати конфігурацію або додавати нові сенсори чи виконавчі пристрої. Такий підхід забезпечує масштабованість, простоту налагодження та ефективно розподілення завдань між вузлами, що вкрай важливо для надійної роботи кіберфізичної системи контролю якості сну.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи було проведено ґрунтовне опрацювання теоретичних і практичних аспектів створення системи контролю якості сну, що стало важливим кроком у формуванні архітектури майбутньої системи. Основною метою цього розділу було визначення оптимальних параметрів і умов, які впливають на якість сну, а також розробка технічних завдань для системи, що дозволить її реалізувати у вигляді ефективного, доступного та функціонального рішення.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Перш за все, було визначено ключові параметри навколишнього середовища, які необхідно контролювати для підтримки комфортних умов сну. До них належать температура, вологість, рівень освітленості. Вивчення оптимальних значень цих параметрів базувалося на сучасних наукових дослідженнях, що дозволило встановити цільові межі для подальшого програмного контролю та автоматизації.

Далі було сформовано детальний перелік завдань системи, які включають вимірювання та аналіз показників, автоматичне регулювання зовнішніх пристроїв (обігрівачів, зволожувачів, штор), а також відображення отриманих даних у зручному для користувача вигляді на OLED-дисплеї.

Важливим етапом роботи стало детальний опис давачів, які планується використовувати у системі. Було проаналізовано технічні характеристики сенсорів температури, вологості, освітленості та положення штор, визначено їх принципи роботи, а також переваги та обмеження кожного з них. Цей підхід дозволив сформуванню оптимальний набір давачів, що забезпечить комплексний моніторинг середовища спальні з достатньою точністю для ефективного контролю якості сну.

Особливу увагу приділено розробці розпіновки підключення сенсорів і виконавчих пристроїв до мікроконтролерів ESP32, що є апаратною основою системи. Використання багаторівневої децентралізованої архітектури із взаємодією по Wi-Fi між кількома ESP32 забезпечить гнучкість, надійність і масштабованість системи. Чітке оформлення схеми підключень дозволить уникнути помилок при монтажі, полегшить подальше тестування і модернізацію проєкту.

Таким чином, другий розділ став фундаментом для практичної реалізації проєкту, заклавши надійну теоретично-технічну базу. Визначення оптимальних умов сну, формулювання завдань системи, ретельний аналіз вибору та характеристик давачів, а також оформлення розпіновки – усе це створює передумови для успішної розробки системи, здатної забезпечити ефективний, автономний і комфортний моніторинг якості сну в побутових умовах.

					КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2.1 – Основні параметри датчика DHT22

Вид датчика	Параметри				
	DHT22	Температура	Точність виміру температури	Вологість	Точність виміру вологості
	від -40 °C до +80 °C	±0,5 °C	0-100% RH	±2-5% RH	Однопровідний (одно-розрядна або "one-wire")

2. Датчик освітлення (Потенціометр В10К)

Потенціометр – це аналоговий регульований резистор (Рисунок 2.2), який виконує роль імпровізованого датчика освітлення [26]. Його значення змінюється вручну, імітуючи зміну рівня зовнішнього освітлення, що дозволяє перевірити реакцію системи на відповідні зміни умов середовища.

Діапазон вимірювання залежить від поданої напруги – зазвичай від 0 до 3.3 В при використанні з ESP32. Завдяки вбудованому 12-бітному АЦП контролера потенціометр дозволяє отримувати значення в діапазоні від 0 до 4095, що відповідає плавному переходу від повної темряви до умов максимальної яскравості.

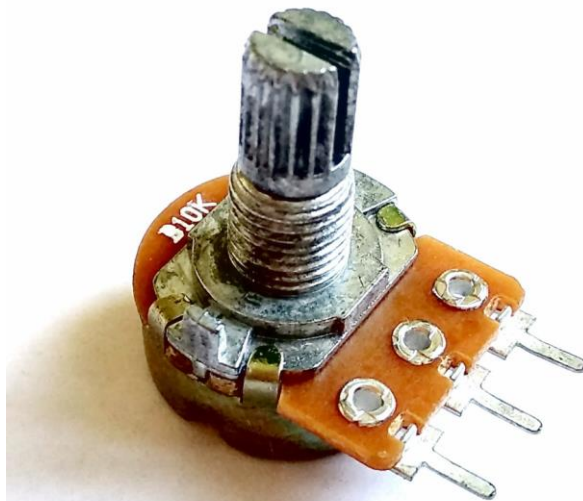


Рисунок 2.2 – Зображення потенціометра [26]

Хоча потенціометр не є спеціалізованим сенсором освітлення, він забезпечує достатню точність для емулявання змін освітленості, особливо в симуляціях або для початкового тестування реакції системи на зміну вхідних параметрів.

У системі моніторингу якості сну потенціометр виконує роль як альтернативу фотосенсора, дозволяючи вручну моделювати різні рівні освітленості в кімнаті.

3. Мікроконтролер ESP32

Для зчитування даних із датчика (через аналоговий або I2C інтерфейс) він підключається до мікроконтролера (наприклад, Arduino, ESP32). Мікроконтролер відповідає за інтерпретацію значення освітленості, порівняння його з прописаними порогами та прийняття рішення щодо дії.

ESP32 – це потужна та універсальна платформа (Рисунок 2.3) для розробки IoT та вбудованих систем, яка поєднує високу продуктивність, широкі комунікаційні можливості, багатофункціональну периферію та розвинуті засоби

захисту [27]. За рахунок підтримки різних середовищ розробки та мов програмування, платформа відкриває великі можливості, розроблено компанією Espressif Systems. Він представляє собою серію мікроконтролерів із вбудованою підтримкою Wi-Fi і Bluetooth (включно з Bluetooth Low Energy). Завдяки своїй двоядерній (або в окремих варіантах – одноядерній) архітектурі та високій тактовій частоті (до 240 МГц) ESP32 може виконувати як завдання реального часу, так і обчислювально інтенсивні операції [28].

ESP32 є одним із найбільш потужних та розширених мікроконтролерів, які доступні на ринку сьогодні. Цей мікроконтролер здатний задовольнити потреби проєктів високої складності завдяки своїм унікальним особливостям та характеристикам. Однією з ключових переваг ESP32 є його двоядерний процесор Tensilica LX6, який дозволяє виконувати більше завдань одночасно та забезпечує високу продуктивність. Це особливо корисно для проєктів, які потребують швидкої обробки даних чи багатозадачності. Додатково, ESP32 має значну кількість GPIO контактів, що дозволяє підключати до нього різноманітні сенсори, пристрої введення–виведення та інші компоненти [29]. Це робить його універсальним рішенням для багатьох типів проєктів, від датчиків температури до систем автоматизації будинку.

ESP32 часто оснащується двома ядрами на базі Tensilica Xtensa LX6, здатними працювати на частотах до 240 МГц. Це дозволяє паралельно виконувати різні завдання, що є критичним для систем, де йдеться про мультифункціональність (наприклад, збирання даних та управління периферією одночасно). Пристрій має вбудовану SRAM, а також може працювати із зовнішньою флеш–пам'яттю, що дозволяє завантажувати об'ємні прошивки і зберігати великі обсяги даних. Така комбінація робить його придатним як для складних операцій, так і для зберігання критично важливої інформації. Однією з головних переваг ESP32 є вбудована підтримка стандартів Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) та Bluetooth (BLE і класичний Bluetooth, із підтримкою стандарту до Bluetooth 5.0 у деяких моделях) [30]. Це

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

забезпечує можливість бездротової передачі даних, підключення до локальних мереж і інтеграції з мобільними пристроями.

У мікроконтролері також доступно велике число інтерфейсів:

– UART, SPI, I2C – для зв'язку з іншими мікроконтролерами, давачами, модулями пам'яті.

– ADC та DAC – для роботи з аналоговими сигналами.

– PWM – для керування моторчиками або регулювання інтенсивності світла.

Інші специфічні інтерфейси, включаючи можливості роботи з сенсорними, емульованими або спеціальними пристроями, дозволяють інтегрувати ESP32 у численні системи управління [31].

Мікроконтролер оснащений апаратними засобами для забезпечення безпечного завантаження (secure boot), шифрування флеш-пам'яті та реалізації криптографічних протоколів. Це робить ESP32 надійним варіантом для систем, де критично важлива захищеність даних та комунікацій. Завдяки підтримці декількох режимів зниження енергоспоживання (light sleep, deep sleep) пристрій може ефективно працювати у батарейних або портативних системах, значно продовжуючи час автономної роботи.

У розумній системі контролю якості сну цільова задача – моніторинг умов, що впливають на нього (температура, вологість, освітленість тощо), тому ESP32 стане доречним мікроконтролером для збирання цих даних, та їх обробки. Основним кроком є підключення сенсорів, наприклад DHT22 для вимірювання температури та вологості, потенціометр для вимірювання рівня освітлення.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

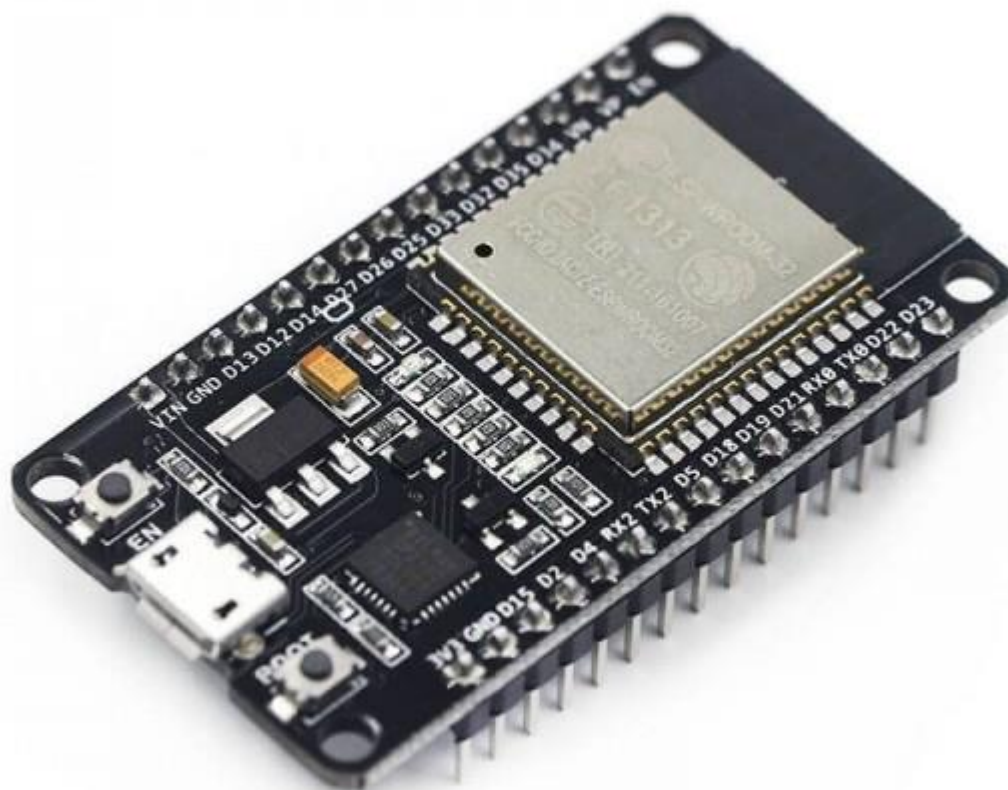


Рисунок 2.3 – Зображення мікроконтролера ESP32 [27]

Завдяки наявності апаратних інтерфейсів (UART, SPI, I2C, ADC/DAC) ESP32 дозволяє легко інтегрувати різноманітні датчики. Це дозволяє отримати точні дані про параметри кімнати, що важливо для визначення оптимальних умов для сну.

ESP32 має достатньо обчислювальної потужності для того, щоб реалізувати попередній аналіз даних прямо на платі. Це можуть бути:

- Фільтрація та агрегування. Обчислення середніх значень за певний проміжок часу або виявлення раптових змін, що можуть свідчити про небажані умови для сну.

– Порівняння з оптимальними показниками. Реалізація алгоритмів для визначення, наскільки поточні умови відповідають рекомендованим для комфортного сну. Якщо виміряні параметри відхиляються – система може сигналізувати про необхідність корекції.

– Локальне прийняття рішень. На основі зібраних даних можна реалізувати логіку, яка активує виконавчі пристрої, наприклад, для регулювання освітлення або температурного режиму.

Таким чином, інтеграція ESP32 дає можливість створити надійну систему, що об'єднує апаратну, програмну та комунікаційну частини в єдине ціле. Особливо для реалізації дипломного проєкту, де важлива точність, реальний час обробки даних і можливість подальшого масштабування.

4. Актуатор (Серводвигун)

Для фізичного переміщення штор використовується актуатор (Рисунок 2.4), це пристрій, який перетворює електричний сигнал у механічну дію [32]. Найчастіше застосовують серводвигун, оскільки він дозволяє точно позиціонувати механізм відкриття та закриття. Наприклад, можна задати кут в 0 для повністю закритих штор та 90 (або інший оптимальний кут) для повністю відкритих штор.

Актуатори отримують сигнали від контролера (наприклад, ESP32) та перетворюють їх у фізичну дію – рух, відкривання/закривання механізмів, регулювання положення або зміни параметрів (наприклад, позиції жалюзі). Це може включати використання сервомоторів, реле, лінійних актуаторів та інших механізмів, здатних виконувати точні маніпуляції.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Рисунок 2.4 – Зображення актуатора [32]

У контексті системи контролю якості сну, де увага зосереджена на моніторингу якості сну та оптимізації умов для сну, актуатори мають важливу роль у створенні інтерактивної та адаптивної системи, і можуть бути інтегровані наступним чином:

– регулювання освітлення – за даними сенсорів, які вимірюють рівень зовнішнього або приміщного освітлення, актуатор може автоматично змінювати інтенсивність штучного освітлення або відкривати/закривати штори. Наприклад, сервомотор може коригувати положення жалюзі для забезпечення оптимального рівня темряви у спальні;

– контроль температурного режиму – актуатори можуть використовуватися для регулювання вентиляційних систем або кондиціонерів. Якщо сенсори фіксують перевищення рекомендованої температури, система може автоматично активувати вентилятор або змінити положення заслінок повітропроникних пристроїв;

Використання актуаторів дозволяє створити систему з адаптивною логікою, що реагує на зміни умов у реальному часі. Наприклад, якщо система виявляє різке

зростання температури або освітленості, актуатор, керований ESP32, може миттєво скоригувати положення жалюзі або активувати вентилятор для відведення надлишкового тепла. Такий інтегрований підхід дає можливість не лише збирати дані, а й впливати на них, створюючи оптимальне середовище для якісного відпочинку.

Актуатори є невід'ємною складовою таких систем, оскільки вони перетворюють інформацію, яку отримують від сенсорів, у конкретні дії, що забезпечують комфортні умови для сну. Завдяки своїй точності, швидкості реакції та універсальності, вони дозволяють створити адаптивну систему, яка не лише контролює, але й оптимізує фізичне середовище. Інтеграція актуаторів у проєкт забезпечить високий рівень автоматизації, підвищить енергоефективність і дозволить досягати поставлених цілей щодо покращення якості сну.

5. Логіка керування та керуюче ПЗ

Програмне забезпечення мікроконтролера містить логіку, яка базується на встановлених порогових значеннях освітленості. Наприклад, якщо вимірне значення перевищує певний рівень (скажімо, 300 люкс), система відправляє команду на закриття штор. Якщо ж значення падає нижче іншого порогу (скажімо, 100 люкс), штори відкриваються. Важливо реалізувати також певний гістерезис (наприклад, задавати різні пороги відкриття і закриття), щоб уникнути частих перемикань у разі невеликих коливань освітлення.

6. Дисплей

Для візуального відображення інформації у системі контролю якості сну використовується OLED-дисплей SSD1306 (Рисунок 2.5) – це компактний екран, який дозволяє зручно виводити дані про поточні умови у приміщенні [33]. Дисплей забезпечує роздільну здатність 128x64 пікселів і працює за інтерфейсом I2C, що робить його ідеальним для інтеграції з мікроконтролером ESP32.

SSD1306 дозволяє виводити як текстову, так і графічну інформацію, включаючи значення температури, вологості, рівня освітлення або статус системи.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Наприклад, екран може показувати повідомлення «Оптимальні умови для сну», «Температура занадто висока» або індикатор активності обігрівача чи гідратора.

OLED-дисплей отримує дані безпосередньо від керуючого контролера (ESP32), який обробляє вхідну інформацію від підлеглих ESP32-модулів з давачами. Таким чином, дисплей стає кінцевим елементом візуального інтерфейсу користувача, що надає змогу оперативно оцінювати стан мікроклімату у спальні.

У контексті системи контролю якості сну, дисплей виконує такі функції:

- моніторинг в реальному часі – надає користувачеві зворотний зв'язок про умови сну в реальному часі.

- Попередження – у випадку перевищення порогових значень (наприклад, надто яскрава освітленість або недостатня вологість), на екрані виводиться відповідне повідомлення.

- Налаштування і діагностика – під час запуску системи або в режимі обслуговування на екрані можуть з'являтися статусні повідомлення або поточні параметри системи.

Завдяки своїй низькій енергоспоживанню, компактності та високій контрастності, SSD1306 ідеально підходить для автономних пристроїв, що працюють у нічному середовищі. Його інтеграція у систему дозволяє реалізувати простий і ефективний спосіб взаємодії користувача з пристроєм, не потребуючи підключення до зовнішніх екранів або смартфонів [34].

Таким чином, OLED-дисплей виступає не лише індикатором параметрів, а й інтерфейсом взаємодії між користувачем і системою, що підвищує зручність, інформативність та функціональність розумної системи для контролю якості сну.

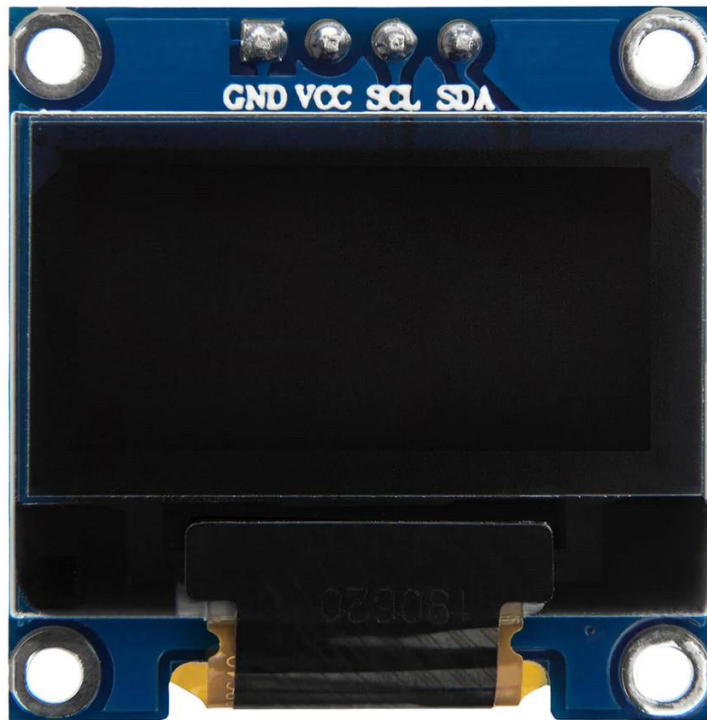


Рисунок 2.5 – Зображення OLED–дисплею SSD1306 [33]

За допомогою датчика освітлення та відповідного актуатора (серводвигуна) емулятор дозволяє створити умовний механізм, який автоматично відкриває або закриває штори залежно від рівня освітлення. Це дозволить забезпечити оптимальний мікроклімат для сну (наприклад, забезпечити темряву протягом ночі для покращення вироблення мелатоніну або захист від надмірного сонячного світла вдень). Реалізація такої системи робить її перспективним напрямком у розробці "розумного" середовища для контролю якості сну.

На основі таких компонентів можна реалізувати систему, що буде відповідати за дотримання комфортних умов освітлення, досягнення комфортних температурних умов та відповідного рівня вологості у приміщенні, для покращення якості сну користувача. Основною ідеєю було те, що система періодично зчитуватиме температуру та вологість із датчика DHT22 і рівень освітлення з потенціометра та порівнюватиме виміряні значення з попередньо визначеними визначеними порогоми. Нижче у таблиці наведені основні компоненти системи моніторингу якості сну:

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Таблиця 2.2 – Основні компоненти системи моніторингу

Мікроконтролер	ESP32 (master)
Зчитує дані з датчиків та реалізує алгоритм керування.	
Датчик температури та вологості	DHT22 (slave)
Забезпечує цифрове зчитування температури і відносної вологості. Дані приймаються у вигляді числових значень, які легко порівнювати із заданими порогоми.	
Датчик освітлення	B10K (slave)
Вимірює інтенсивність зовнішнього освітлення в люксах через інтерфейс I2C	
Актуатор	SG90 (slave)
Цифровий вихід, який, наприклад, керує світлодіодами або реле для демонстрації роботи системи.	
Дисплей	SSD1306 (slave)
Монохромний дисплей, що виводить основні умови сну для користувача у зручній та доступній формі.	

Реалізація системи для забезпечення комфортних умов температури та вологості у симуляторі Wokwi базується на використанні датчика DHT22 та потенціометра для зчитування температури, вологості та освітлення, а також на розробці простого, але ефективного алгоритму керування. Керуючи цифровими виходами для актуаторів (симуляція нагрівача, охолоджувача, зволожувача та зневоложувача) на основі порогових значень, можна створити інтегроване рішення для моніторингу та регулювання мікроклімату в кімнаті.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СНУ

3.1 Програмні особливості функціонування системи та її компонентів

1) Опис роботи головного модуля Master (ESP32 + OLED дисплей)

Головний модуль (Master) є центральним елементом усієї системи, який здійснює збір інформації від трьох підлеглих модулів (Slave) через Wi-Fi (або протокол MQTT, HTTP тощо), опрацьовує отримані дані та приймає рішення щодо керування виконавчими пристроями (реле для обігрівача та зволожувача, сервомотор для штор). Крім того, модуль виводить поточну інформацію про параметри середовища (температура, вологість, освітленість) на OLED-дисплей.

На рисунку 3.1 зображено алгоритм роботи Master компоненту.

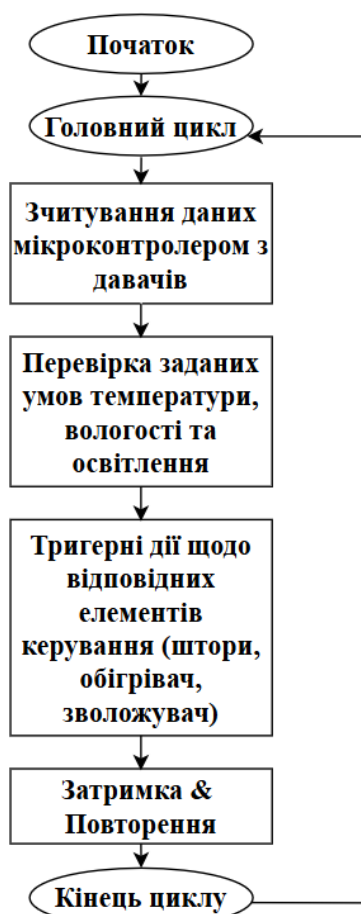


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи системи моніторингу

Основні функції модуля Master:

- ініціалізація Wi-Fi з'єднання;
- прийом даних від підлеглих ESP32;
- аналіз отриманих значень на відповідність комфортним межах;
- передача сигналів на виконавчі пристрої (через GPIO);
- виведення зведених даних на дисплей (I2C).

Для повноцінної роботи основного Master модулю використовується кілька ключових методів:

– метод **setupWiFi** здійснює підключення ESP32 до мережі Wi-Fi, встановлює режим станції, задає параметри мережі та очікує на успішне підключення.

– Метод **setupDisplay** відповідає за ініціалізацію OLED-дисплею, встановлення розміру шрифтів, очищення екрана та підготовку до виводу даних.

– Метод **receiveSensorData** здійснює отримання інформації від усіх Slave-модулів через мережу, розпізнає джерело кожного пакета, зчитує значення температури, вологості та освітлення та зберігає їх для подальшого аналізу.

– Метод **processAndDisplayData** обробляє отримані значення, аналізує, чи відповідають вони комфортним параметрам, і виводить результат на дисплей.

У разі виявлення відхилення передається команда на відповідний Slave-модуль для активного керування приладом.

2) Slave 1 – модуль вимірювання температури (ESP32 + DHT22)

Slave 1 відповідає виключно за зчитування температурних показників за допомогою цифрового датчика DHT22. Модуль періодично зчитує значення та надсилає їх до головного модуля Master через Wi-Fi.

На рисунку 3.2 зображено алгоритм роботи компоненту Slave 1.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму функціонування давача температури

Функції модуля Slave 1:

- ініціалізація сенсора температури;
- циклічне зчитування температури;
- надсилання даних на Master ESP32.

Для повноцінної роботи цього модулю використовуються такі методи:

- метод **setupTemperatureSensor** виконує ініціалізацію температурного датчика, задає пін підключення та перевіряє справність сенсора.
- Метод **readTemperature** зчитує значення температури в градусах Цельсія, перевіряє його на коректність і повертає результат типу float.
- Метод **sendTemperatureToMaster** формує пакет даних із вимірним значенням і надсилає його головному модулю через мережу.

– Метод **controlHeater** порівнює отримане значення температури з порогом, і якщо воно нижче за норму, активує відповідне реле, до якого підключено обігрівач.

3) Slave 2 – модуль освітлення (ESP32 + потенціометр)

Slave 2 здійснює вимірювання рівня освітленості в приміщенні за допомогою потенціометра. Аналоговий сигнал зчитується з аналогового піну і передається на головний модуль.

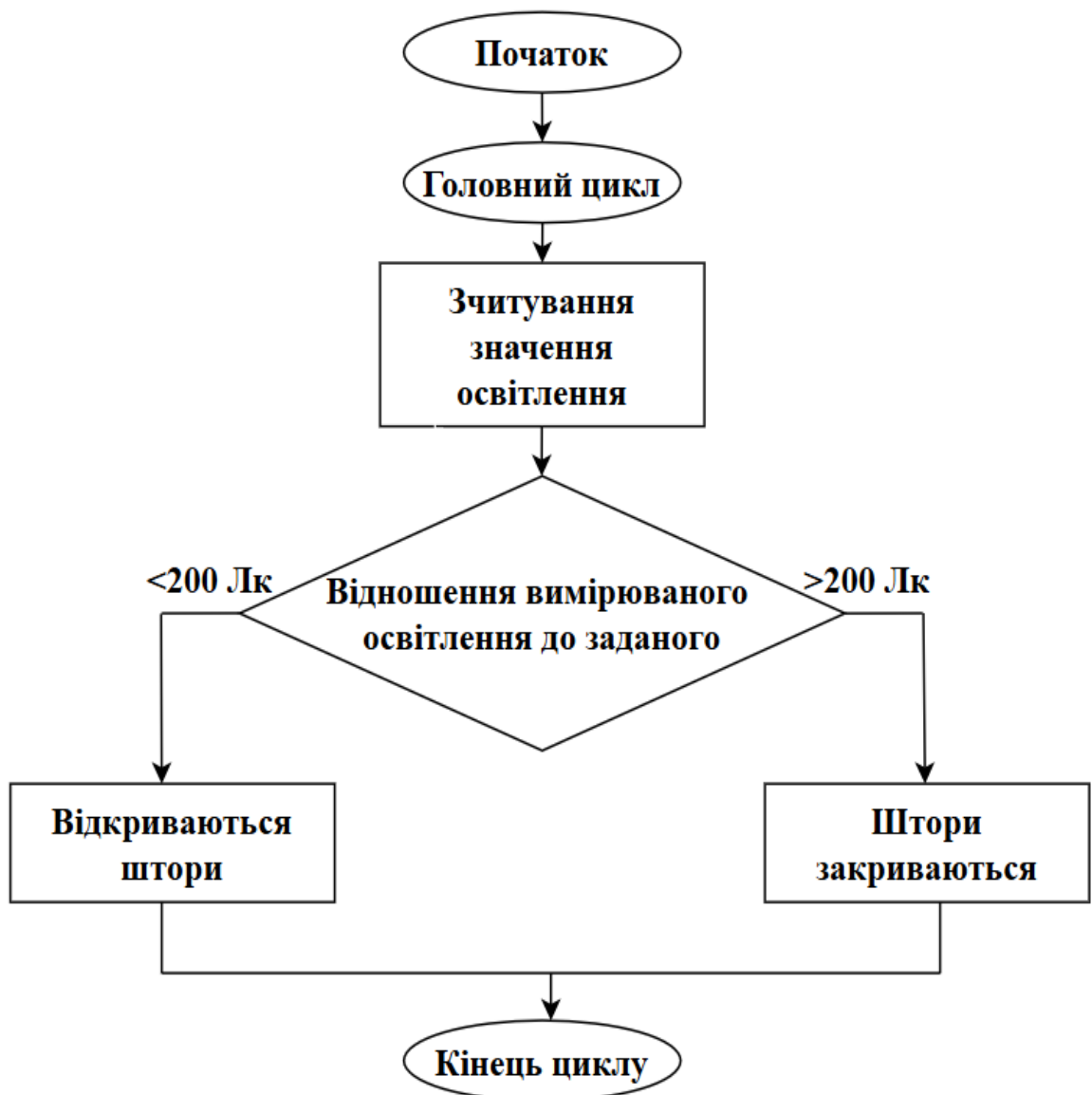


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму функціонування датчика освітлення

На рисунку 3.3 зображено алгоритм роботи компоненту Slave 2.

Функції модуля Slave 2:

- зчитування аналогового значення освітленості;
- формування пакету даних;
- передача результату на Master ESP32.

Основні методи Slave 2:

- Метод **setupLightSensor** ініціалізує сенсор освітлення BH1750, встановлює I2C-з'єднання та задає параметри чутливості.
- Метод **readLightLevel** повертає значення освітленості в люксах типу `uint16_t`.
- Метод **controlCurtains** аналізує рівень освітлення та, залежно від його значення, керує положенням штор за допомогою PWM-сигналу на серво. Якщо рівень світла перевищує допустимий, штори закриваються, в іншому випадку – відкриваються.
- Метод **sendLightLevelToMaster** виконує передачу значення освітлення на головний ESP32 у структурованому форматі.

4) Slave 3 – модуль вологості (ESP32 + DHT22)

Slave 3 технічно ідентичний до Slave 1, але замість температури використовується показник вологості, який також надається сенсором DHT22. Він зчитується, передається на Master, який у свою чергу керує увімкненням або вимкненням зволожувача повітря.

Функції модуля Slave 3:

- ініціалізація сенсора DHT22;
- зчитування вологості;
- надсилання показника на головний модуль.

На рисунку 3.4 зображено алгоритм роботи компоненту Slave 3.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

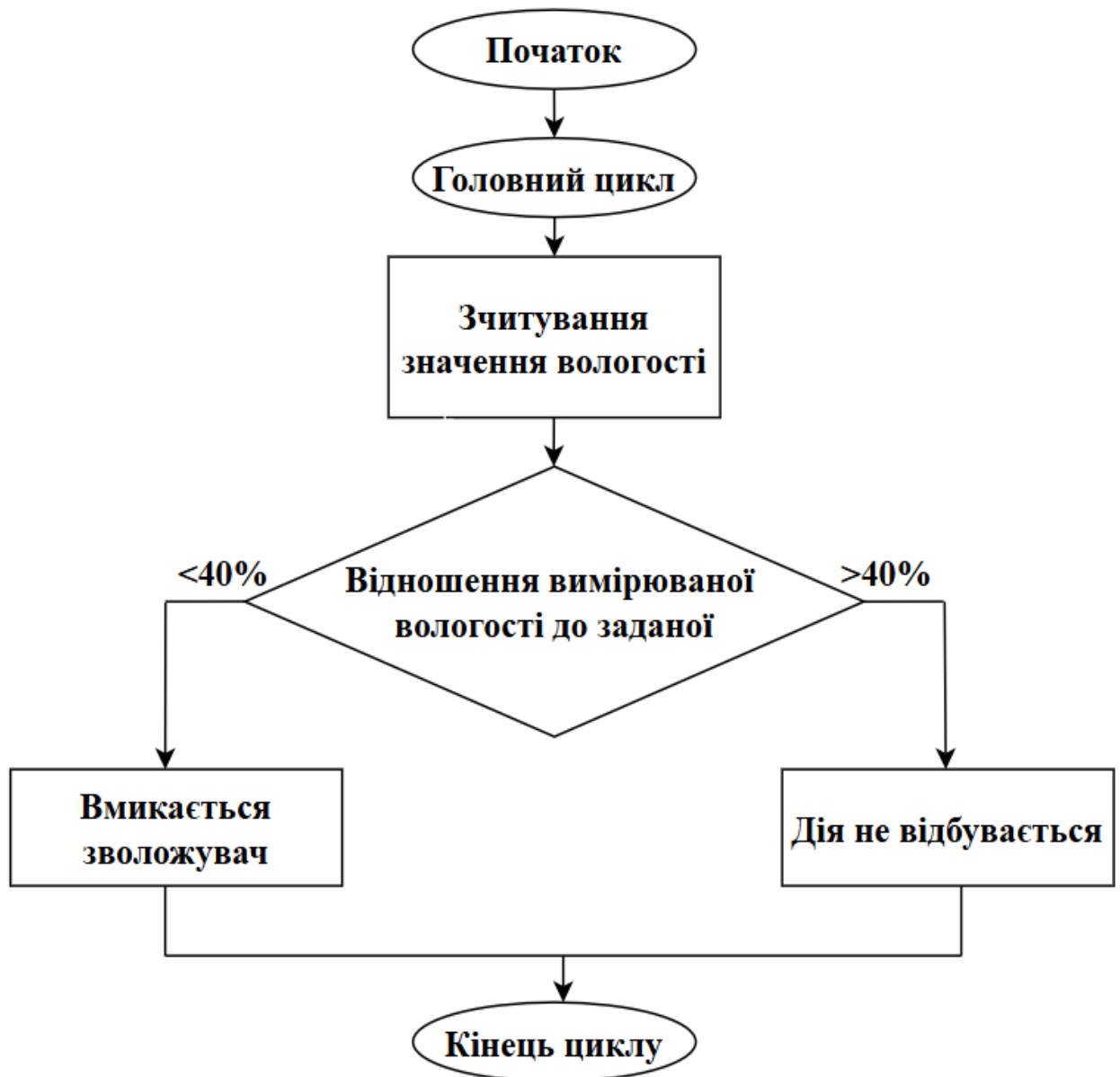


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму функціонування датчика вологості

Основні методи Slave 3:

- метод **setupHumiditySensor** виконує ініціалізацію датчика вологості, задає відповідний пін і перевіряє готовність пристрою до роботи.
- Метод **readHumidity** зчитує поточне значення вологості в повітрі та повертає результат типу float.
- Метод **sendHumidityToMaster** надсилає отримане значення головному ESP32 для аналізу.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

– Метод **controlHumidifier** порівнює рівень вологості з наперед заданим порогом.

У разі, якщо значення нижче допустимого, вмикається реле зволожувача, забезпечуючи підтримку комфортних умов для сну.

3.2 Реалізовані функції та опис підключених бібліотек

Для програмування мікроконтролера ESP32 використовується мова програмування C/C++ в середовищі розробки Wokwi. Програма для мікроконтролера складається з двох основних функцій: `setup()` та `loop()`. Основні функції, що забезпечують роботу системи:

– `setup()`: функція ініціалізації, яка виконується один раз при запуску програми. Вона встановлює режими пінів (вхід/вихід), ініціалізує сервоприводи, та серійний зв'язок. Ця функція необхідна для коректної роботи всієї системи;

– `loop()`: головний цикл програми, який виконується безперервно. Вона зчитує дані з датчиків, перевіряє умови та виконує відповідні дії: керування обігрівачем, зволожувачем, рух штор.

У межах реалізації системи контролю якості сну з використанням кількох мікроконтролерів ESP32 було застосовано велику кількість функцій, які виконують завдання ініціалізації, збору та обробки даних, а також реалізації логіки керування виконавчими механізмами. Ці функції охоплюють як базову мікроконтролерну функціональність, так і роботу з підключеними периферійними пристроями. Нижче наведено докладний опис основних функцій, які відіграють ключову роль у роботі системи:

– `serial.begin(115200)` – ця функція використовується для запуску серійного порту на ESP32 зі швидкістю передачі даних 115200 біт/с. Вона дозволяє виводити інформацію на монітор порту в режимі реального часу, що є надзвичайно важливим для діагностики та відлагодження роботи системи. У нашій системі через неї виводяться значення температури, вологості, освітленості, а також повідомлення

									Арк.
									52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

про успішне з'єднання з мережею Wi-Fi чи помилки при зчитуванні даних з сенсорів.

– `dht.begin()` – функція, яка ініціалізує роботу датчика температури та вологості DHT22. Вона викликається один раз під час запуску пристрою у функції `setup` і готує сенсор до зчитування показників. Без виклику цієї функції інші команди взаємодії з DHT22 не працювали б, тому її роль у стартовій конфігурації є критичною.

– `dht.readTemperature()` – функція, що зчитує значення температури з датчика DHT22 та повертає його у вигляді числа з плаваючою комою. Це значення далі використовується для логічного аналізу, зокрема визначення, чи є температура комфортною для сну, а також для прийняття рішення щодо активації обігрівача через реле.

– `dht.readHumidity()` – аналогічна до попередньої функція, яка відповідає за зчитування поточної вологості повітря. Значення, яке вона повертає, використовується для порівняння з заданим порогом і визначення необхідності вмикання або вимикання гідратора. Обидві ці функції працюють асинхронно, тому важливо перевіряти їх результати перед використанням у логіці.

– `isnan()` – це стандартна функція мови C++, яка перевіряє, чи значення є числовим. У нашому випадку вона використовується для перевірки результатів функцій зчитування з DHT22. Якщо замість числа повертається спеціальне значення NaN (Not a Number), програма ігнорує ці дані й переходить до наступного циклу, тим самим уникаючи аварійних ситуацій або помилок у логіці.

– `analogRead(LIGHT_PIN)` – ця функція застосовується для зчитування аналогового значення з піну, до якого підключено потенціометр, який виступає в ролі сенсора освітлення. Вона повертає значення від 0 до 4095, що відповідає рівню напруги на вході. Це значення використовується як відповідний рівень освітленості приміщення.

– `map(lightRaw, 0, 4095, 0, 1000)` – функція, яка лінійно масштабує вхідне значення з одного діапазону в інший. У нашому проекті вона перетворює цифровий

									Арк.
									53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

вихід з `analogRead` у значення в умовних люксах, що дозволяє інтерпретувати дані потенціометра як освітлення від 0 до 1000 люкс. Цей підхід дозволяє зручно будувати логіку обробки освітленості без використання справжнього фотодатчика.

– `pinMode(pin, OUTPUT)` – стандартна функція Arduino для конфігурування піна як вихідного. У нашому випадку вона використовується для реле обігрівача, реле гідратора та керування серво–приводом. Без виклику цієї функції пін залишався б у стані входу і не міг би змінювати сигнал на виході.

– `digitalWrite(pin, HIGH/LOW)` – функція, яка встановлює логічний рівень на піні: HIGH відповідає 3.3В, LOW – 0В. Для керування реле ми використовуємо логіку інверсії, тобто HIGH вимикає реле, а LOW активує його. Ця особливість дозволяє забезпечити безпечний старт системи, коли всі виконавчі пристрої вимкнені.

– `curtainServo.attach(SERVO_PIN)` – ця функція підключає сервопривід до вказаного піну мікроконтролера. Вона потрібна для ініціалізації PWM–сигналу, який керує кутом обертання серво. Без цього виклику серво не реагувало б на жодні команди.

– `curtainServo.write(angle)` – функція, яка подає відповідний сигнал керування на сервопривід. Значення кута задається в градусах, наприклад, 0 для повного закриття штор або 90 для відкриття. Цей механізм дозволяє системі автоматично керувати рівнем природного світла в кімнаті.

– `delay(ms)` – стандартна функція затримки, яка зупиняє виконання програми на задану кількість мілісекунд. Вона використовується у нашому проєкті для надання часу на стабілізацію значень, уникнення шумів та забезпечення рівномірного циклу роботи.

– `WiFi.begin(ssid, password)` – функція, що ініціює підключення ESP32 до Wi-Fi–мережі. Вона передає дані про ім'я мережі й пароль (у Wokwi використовується мережа Wokwi–GUEST без паролю), після чого ESP намагається встановити з'єднання.

										Арк.
										54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ					

– `display.print()` – виводить конкретне текстове або числове значення на екран у заданій позиції. У нашій системі через цю функцію виводяться параметри середовища та повідомлення про комфортність умов для сну.

– `display.display()` – фінальна функція, яка передає буфер з текстом на фізичний OLED–дисплей. Без її виклику жоден вивід не з'явився б на екрані.

Використання бібліотек для забезпечення функціональності пристрою є важливою складовою розробки програмно–технічного асистента на базі ESP32. Бібліотеки надають зручний і швидкий спосіб доступу до необхідних функцій та можливостей мікроконтролеру. У розробці асистента на базі ESP32 вибір правильних бібліотек відіграє важливу роль. Бібліотеки – це набори функцій та методів, які допомагають спростити розробку програмного забезпечення, швидко втілити функціональність та зменшити кількість коду, що потрібно написати вручну.

У реалізації проєкту кіберфізичної системи контролю якості сну з використанням мікроконтролера ESP32 було задіяно низку спеціалізованих бібліотек, кожна з яких виконує конкретну функціональність, безпосередньо пов'язану з роботою сенсорів, виконавчих механізмів, дисплеїв та мережевої комунікації. Вибір бібліотек був зумовлений необхідністю забезпечення стабільної роботи компонентів, простоти розробки та сумісності з Arduino–середовищем і емулятором Wokwi. Розглянемо докладно кожен з використаних бібліотек.

– Бібліотека `<DHT.h>` є офіційною бібліотекою для роботи з цифровими сенсорами температури та вологості серії DHT, включаючи моделі DHT11, DHT21 та DHT22. У нашій системі використовується саме DHT22, оскільки цей датчик забезпечує вищу точність та ширший діапазон вимірювання у порівнянні з іншими моделями. Бібліотека містить усі необхідні низькорівневі алгоритми для ініціалізації датчика, зчитування значень температури та вологості, обробки затримок між запитами та контролю цілісності даних. Без цієї бібліотеки робота з датчиком була б суттєво ускладнена, адже вона виконує всі низькорівневі операції зчитування з одного піну даних. Вона також забезпечує обробку помилок,

наприклад, у випадках невдалої передачі даних або в разі відсутності відповіді від сенсора.

– Бібліотека <ESP32Servo.h> слугує для керування серводвигунами за допомогою ESP32. На відміну від стандартної бібліотеки Servo.h, яка призначена для Arduino UNO і не повністю сумісна з ESP32, ESP32Servo спеціально адаптована для використання апаратних PWM-каналів мікроконтролера ESP32. Завдяки цій бібліотеці стало можливим реалізувати плавне та точне керування кутом серво-привода, який у нашому проєкті відповідає за відкриття та закриття штор відповідно до рівня освітленості. Бібліотека надає функції attach для підключення до конкретного піну, write для задання кута повороту та detach для вимкнення приводу. Вона дозволяє працювати з декількома серво одночасно, що є перевагою у масштабованих проєктах.

– Бібліотека <WiFi.h> є стандартною бібліотекою для реалізації мережевої взаємодії на ESP32. Вона дозволяє підключати мікроконтролер до бездротових Wi-Fi мереж, перевіряти стан з'єднання, отримувати IP-адресу та виконувати всі базові операції з керування мережею. У нашому проєкті ця бібліотека забезпечує комунікацію між окремими ESP32-пристроями, що утворюють єдину розподілену систему. Завдяки їй один пристрій може виступати у ролі клієнта, а інші – у ролі серверів, які передають сенсорні дані. Це створює гнучку архітектуру, де окремі вузли відповідають за певну частину задачі, але вся система координується централізовано.

– Бібліотека <ESPAsyncWebServer.h> призначена для створення асинхронного веб-сервера на ESP32. Це одна з найважливіших бібліотек у контексті реалізації міжпристроєвої комунікації. Вона дозволяє обробляти HTTP-запити без блокування основного циклу програми, що критично важливо для систем реального часу. Завдяки їй можна одночасно обслуговувати кілька клієнтів, не затримуючи виконання інших завдань (наприклад, зчитування даних із сенсорів чи оновлення OLED-дисплея). Бібліотека дозволяє легко створювати обробники запитів GET і POST, передавати дані у форматі JSON і підтримує роботу

										Арк.
										57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

з маршрутизованими шляхами. Саме через неї організовано передачу даних з кожного сенсорного ESP32 до головного вузла, який приймає рішення про керування виконавчими механізмами.

– Бібліотека <ArduinoJson.h> використовується для створення та розбору JSON-об'єктів. Вона забезпечує ефективну генерацію структури JSON у пам'яті ESP32, яка потім передається як відповідь на HTTP-запити. JSON (JavaScript Object Notation) є універсальним форматом передачі даних, зручним як для людини, так і для машинної обробки. У нашому проєкті JSON-формат використовується для обміну інформацією про температуру, вологість та освітленість між різними пристроями. Кожен сенсорний вузол формує об'єкт типу JSON, який містить ключі temperature, humidity, light та відповідні значення. Це дозволяє головному вузлу швидко й ефективно перетворювати отриману інформацію та приймати рішення про активацію обігрівача, гідратора або серво-приводу.

– Бібліотека <Adafruit_GFX.h> є графічною бібліотекою загального призначення, розробленою компанією Adafruit. Вона слугує базовою основою для багатьох дисплейних бібліотек, зокрема тих, які працюють з OLED та LCD-дисплеями. У нашій системі вона використовується спільно з бібліотекою для OLED-дисплея SSD1306. Вона забезпечує базову функціональність для виводу тексту, побудови ліній, прямокутників, кола та інших графічних елементів. Вона дозволяє формувати текст, змінювати розмір шрифтів, розміщення елементів, що робить інтерфейс на екрані більш інформативним і читабельним. Без цієї бібліотеки OLED-дисплей не зміг би працювати, навіть за наявності спеціалізованої драйверної бібліотеки.

– Бібліотека <Adafruit_SSD1306.h> є спеціалізованим драйвером для дисплея SSD1306, що працює через I2C-протокол. У нашому проєкті вона керує OLED-дисплеєм, розміщеним на головному ESP32, який відповідає за відображення всієї зібраної інформації про параметри середовища. Вона базується на графічній бібліотеці Adafruit_GFX і дозволяє легко виводити текстові повідомлення на дисплей, очищувати його, оновлювати екран, змінювати розмір і

									Арк.
									58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

положення тексту. Завдяки їй ми можемо виводити повідомлення на кшталт «Температура комфортна», «Освітленість надто висока» або «Вологість низька», які допомагають користувачеві оцінити якість сну на основі автоматичних вимірювань.

3.3 Робота системи моніторингу якості сну в емуляторі

Перед початком роботи із розумною системою моніторингу якості сну необхідно виконати деякі підготовчі кроки:

- підключити дисплей SSD1306 до відповідних виводів GPIO ESP32 для виведення показників з датчиків.
- Переконайтесь, що ESP32 підключений до мережі Wi-Fi та має доступ до Інтернету для взаємодії з Slave модулями.
- Підключити живлення до ESP32 для забезпечення функціонування всіх компонентів пристрою.

Після виконання цих підготовчих кроків система контролю якості сну буде готова до роботи.

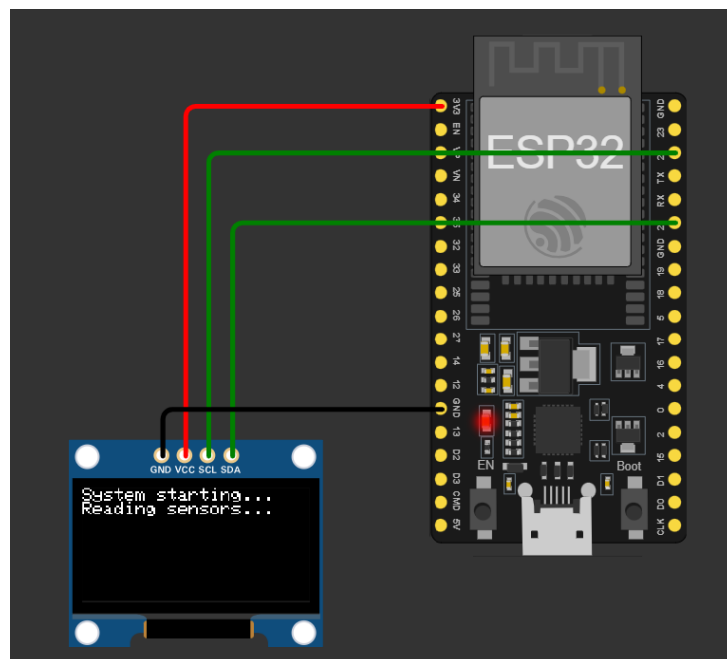
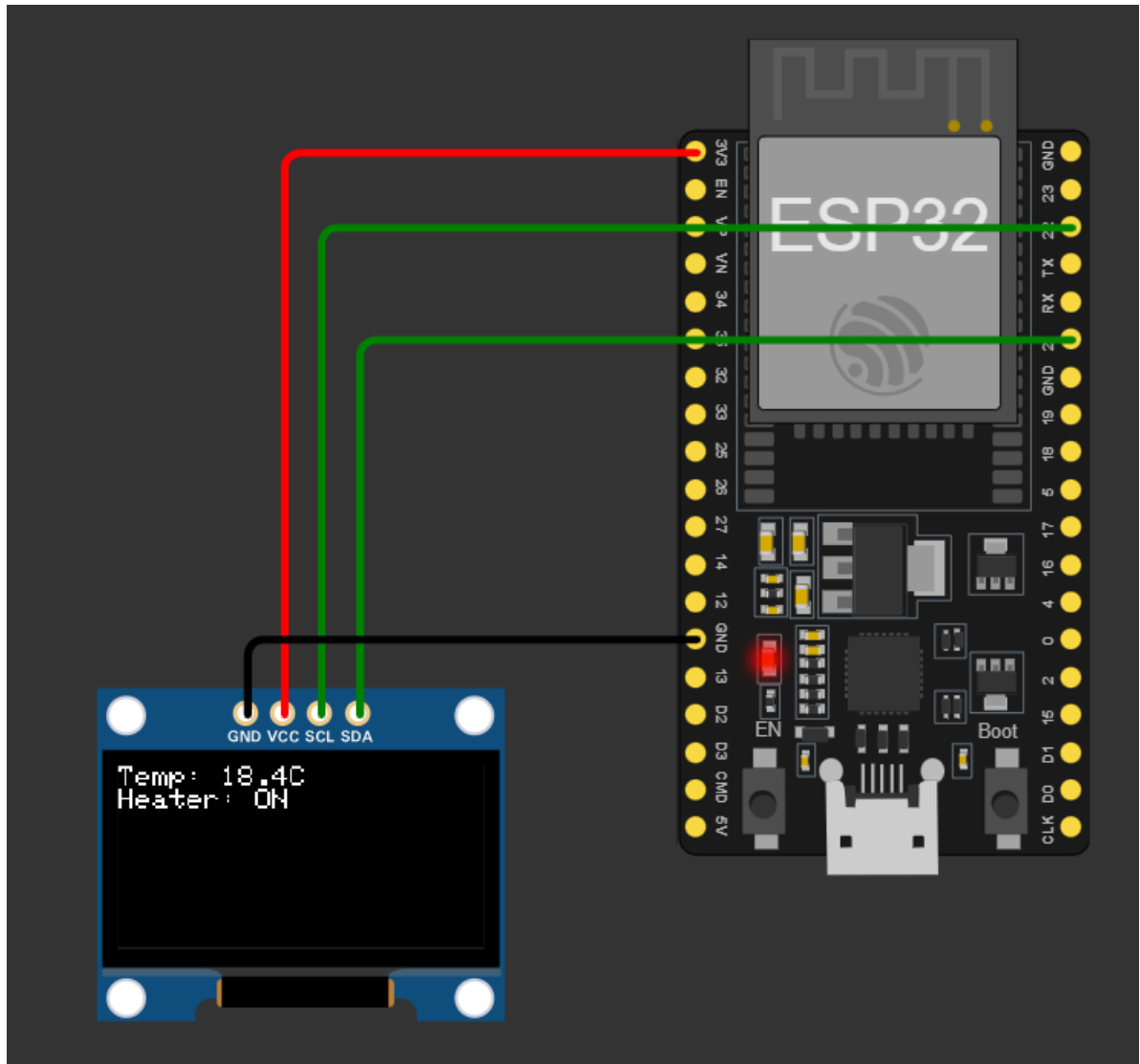


Рисунок 3.5 – Початок роботи системи моніторингу

При подачі живлення на мікроконтролер ESP32 відбувається перший запит Master модуля до підлеглих йому Slave та зчитування даних з датчиків. Цей етап супроводжується відображенням відповідної інформації на OLED дисплеї (Рисунок 3.5).



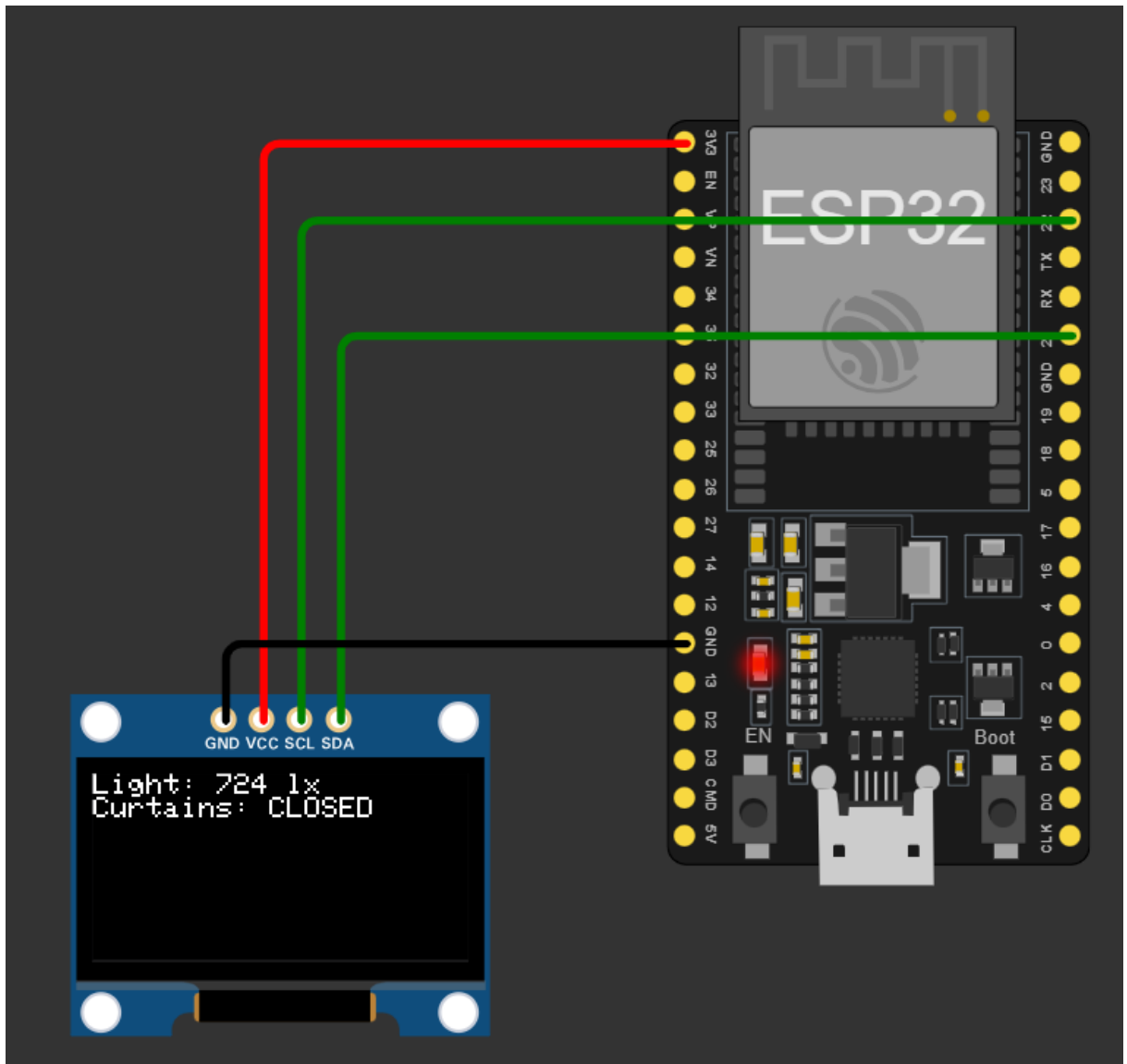


Рисунок 3.7 – Результат закриття штор

Наступний сценарій – Slave модуль із потенціометром передає інформацію до Master, що освітлення у кімнаті користувача складає 724 Лк, що перевищує заданий поріг у 200 Лк. Після цього головний модуль надсилає запит на серво про необхідність закриття штор, а нам це виводиться на дисплеї (Рисунок 3.7).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

середовища: активацією обігрівача при зниженні температури, увімкненням зволожувача при недостатній вологості, а також автоматичним керуванням шторами залежно від рівня освітленості. Для візуалізації роботи системи було умовно реалізовано OLED-дисплей, на якому відображалась актуальна інформація про стан датчиків та виконавчих пристроїв у вигляді попередньо підготовлених сценаріїв.

Зокрема, були змодельовані ситуації запуску системи, відкриття штор, увімкнення обігрівача та зволожувача, а також виведення повідомлення про те, що всі умови є комфортними для сну. Незважаючи на обмеження емулятора Wokwi у частині мережевої взаємодії, ці сценарії дозволили наочно продемонструвати логіку роботи системи та її реакцію на зміни вхідних параметрів.

Результати симуляції підтвердили коректність роботи програмного забезпечення, надійність взаємодії між модулями, а також ефективність обраних технічних рішень. Система своєчасно виявляє відхилення параметрів від заданих меж, оперативно реагує шляхом керування виконавчими пристроями, а також інформує користувача про свій стан через дисплей. Проведена серія експериментів у симуляторі демонструє працездатність розробленої кіберфізичної системи контролю якості сну та її готовність до подальшого фізичного впровадження.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі «Кіберфізична система моніторингу якості сну» було розроблено апаратно–програмну кіберфізичну систему, призначену для автоматичного моніторингу параметрів навколишнього середовища та керування відповідними пристроями з метою забезпечення оптимальних умов для сну.

У теоретичній частині роботи було розглянуто актуальність проблеми контролю якості сну, обґрунтовано важливість створення таких систем у сучасному світі, зокрема через вплив температури, вологості та освітленості на стан здоров'я людини. Було проаналізовано існуючі рішення, визначено їхні сильні та слабкі сторони, що дало змогу сформулювати вимоги до власної системи. На основі цього аналізу було вирішено використовувати мікроконтролер ESP32 як основну платформу, враховуючи його функціональні можливості, наявність вбудованого Wi-Fi–модуля та широке програмне забезпечення.

Постановка задачі передбачала створення модульної системи, здатної зчитувати дані з датчиків температури, вологості та освітлення, передавати їх по бездротовій мережі до головного вузла, аналізувати та реагувати відповідно до заданих порогових значень. Головний компонент також виконує функцію інтерфейсу з користувачем, виводячи на OLED–дисплей поточну інформацію про стан середовища та активність системи.

У практичній частині було реалізовано повноцінну архітектуру системи, яка включає чотири окремі мікроконтролери ESP32 – три периферійні (Slave) та один головний (Master). Slave–модулі здійснюють збір даних із відповідних датчиків, а Master–модуль приймає ці дані через Wi-Fi, приймає рішення та керує виконавчими пристроями: обігрівачем, зволожувачем повітря та сервоприводом для автоматичного регулювання штор. Особливу увагу було приділено розробці алгоритмів обміну даними та блок–схем, що відображають логіку роботи кожного елемента системи.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Для візуального підтвердження роботи системи було використано емулятор Wokwi, у якому проведено симуляції різних сценаріїв: запуск мікросхеми, зміна температури, вологості та освітленості.

У результаті роботи було зроблено висновок, що розроблена система успішно виконує свої функції та може бути адаптована для реального використання в побутових умовах.

Використання такої системи може значно покращити якість сну користувача, автоматизувати побутові процеси та стати частиною «розумного дому». Розроблена система є перспективним, інноваційним рішенням, що відповідає сучасним вимогам до комфорту, ергономіки та автономності.

					КвРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Граф М. С., et al. Аналіз можливостей інформаційної системи покращення якості сну на основі аналізу біометричних даних. *Технічна інженерія*. 2024. № 2(94). С. 113–120.
2. Кострубіцький Д. О. Автоматизована система моніторингу та аналізу параметрів сну. 2022. 324 с.
3. Петрик С. Використання цифрових технологій для моніторингу та покращення якості сну та їх вплив на психічне здоров'я. *Матеріали конференцій МНЛ*. 3 травня 2024 р., м. Суми. 2024. С. 163–164.
4. Fabbri M., et al. Measuring subjective sleep quality: a review. *International journal of environmental research and public health*. 2021. 1082 p.
5. Doshi A. SleepScore Max: Are Big Data the New Digital Doctors? P. 98-110
6. Chinoy E. D., et al. Performance of seven consumer sleep. *Tracking devices compared with polysomnography Sleep*. 2021. 291 p.
7. Edouard P., et al. Validation of the Withings Sleep Analyzer, an under-the-mattress device for the detection of moderate–severe sleep apnea syndrome. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2021. P. 1217–1227.
8. Manners J., et al. Performance evaluation of an under–mattress sleep sensor versus polysomnography in >400 nights with healthy and unhealthy sleep. *Journal of Sleep Research*. 2024. P. 241-247.
9. Lee S.–J., et al. Sleep Monitoring for Individuals with Spinal Cord Injury using Contact–Free Bed Sensors. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*. 2022. 185 p.
10. Mayer P., et al. Simultaneous laboratory–based comparison of ResMed Autoset with polysomnography in the diagnosis of sleep apnoea/hypopnoea syndrome. *European Respiratory Journal*. 2021. P. 770-775.
11. Schütz N., et al. Contactless sleep monitoring for early detection of health deteriorations in community–dwelling older adults: exploratory study. *JMIR mHealth and uHealth*. P. 262-285.

					КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

12. Mack D. C., et al. Development and preliminary validation of heart rate and breathing rate detection using a passive, ballistocardiography-based sleep monitoring system. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2009. P. 111-120.

13. Ju M., et al. Piezoelectric materials and sensors for structural health monitoring: fundamental aspects, current status, and future perspectives. *Sensors*. 2023. 543 p.

14. He C., et al. A noncontact fall detection method for bedside application with a MEMS infrared sensor and a radar sensor. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023. P. 12577-12589.

15. Xu X., Lian Z. Optimizing bedroom thermal environment: A review of human body temperature, sleeping thermal comfort and sleep quality. *Energy and Built Environment*. 2024. P. 829-839.

16. Cao T., et al. Parametric study on the sleep thermal environment. *Building Simulation*. Tsinghua University Press. 2022. 562 p.

17. Cao T., et al. Thermal comfort and sleep quality under temperature, relative humidity and illuminance in sleep environment. *Journal of Building Engineering*. 2021. 102575 p.

18. Yan Y., et al. How humidity and CO₂ affect the sleep of older adults? Insights for improving sleep quality through environmental control. *Building and Environment*. 2025. 822 p.

19. Shishegar N., et al. Tuning environmental lighting improves objective and subjective sleep quality in older adults. *Building and Environment*. 2021. P. 262-267.

20. Brown T. M., et al. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biology*. 2022. 347 p.

21. Kohyama J. Which is more important for health: sleep quantity or sleep quality? *Children*. 2021. 542 p.

22. De Fazio R., et al. Methodologies and wearable devices to monitor biophysical parameters related to sleep dysfunctions: an overview. *Micromachines*. 2022. 1335 p.

					КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

23. Salvade C., et al. Improving sleep quality through an Arduino-based environment sleep monitoring system. *IEEE EUROCON 2023–20th International Conference on Smart Technologies. IEEE*, 2023. P. 72-89.

24. Ahmad Y. A., et al. On the evaluation of DHT22 temperature sensor for IoT application. *2021 8th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE). IEEE*, 2021. 115 p.

25. Nasution T. I., Sinaga S. H. Design of monitoring system temperature and humidity using DHT22 sensor and NRF24L01 based on Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023. P. 249-286.

26. Kumar G. V. N., et al. Smart Home Light Intensity Control using Potentiometer method for Energy Conservation. *2021 International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT). IEEE*, 2021. 275 p.

27. Cameron N. Esp32 microcontroller. *ESP32 Formats and Communication: Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller. Berkeley, CA: Apress*, 2023. P. 1-54.

28. Vales V. B., et al. Fine time measurement for the Internet of Things: A practical approach using ESP32. *IEEE Internet of Things Journal*. 2022. P. 18305-18318.

29. Yao L., Poblenz A., Dagunturi D., Covington B., Bernard D., & Lyman K. Transforming Text via Machine Learning. *Proceedings of the 2019 conference of the north american chapter of the association for computational linguistics*. 2019. P. 275-290.

30. Oner V. O. Developing IoT Projects with ESP32: Automate your home or business with inexpensive Wi-Fi devices. *Packt Publishing Ltd*, 2021. P. 1-42.

31. Hercog D., et al. Design and implementation of ESP32-based IoT devices. *Sensors*. 2023. 6739 p.

32. Sakama S., Tanaka Y., Kamimura A. Characteristics of hydraulic and electric servo motors. *Actuators*. 2022. P. 117-149.

33. Subero A. Display Interfacing. *Programming Microcontrollers with Python: Experience the Power of Embedded Python. Berkeley, CA: Apress*, 2021. P. 209-230.

					КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

34. Chakraborty D. IoT switch based on Augmented Reality: Diss. University of Technology, 2023. 257 p.

35. Asparuhova K., et al. Using WOKWI Simulator to Support Engineering Student Learning in Microcontrollers and Sensors. *2024 XXXIII International Scientific Conference Electronics (ET). IEEE*, 2024. P. 10-18.

36. Shah R., Correia S. Encryption of data over HTTP (hypertext transfer protocol)/HTTPS (hypertext transfer protocol secure) requests for secure data transfers over the internet. *2021 International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT). IEEE*, 2021. P.93-142.

37. Iqbal M., Gulzar M. M. Master-slave design for frequency regulation in hybrid power system under complex environment. *IET Renewable Power Generation*. 2022. P. 3041-3057.

38. Яремчук В.В., Борисов В.В., Сенько В.І. Мікроконтролери в системах автоматизації та телемеханіки. Київ: Видавництво КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 255 с.

39. Романов В.О., Козьмініх С.В., Сліпченко Д.В. Створення вбудованих систем керування на базі мікроконтролерів. Київ: Видавництво НАУ, 2022. С. 110-138с.

40. Ковальчук А.М., Войтюк В.А., Гумен Т.Ф. Мікроконтролери в системах автоматизації технологічних процесів. Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2020. 244 с.

41. Горбійчук М.І., Осадчий В.В., Клименко І.А. Проектування систем на мікроконтролерах: від ідеї до реалізації. Одеса: Видавництво ОНУ імені І.І.Мечникова, 2021. 256 с.

42. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A modern approach. *New Jersey: Pearson*, 2020, 1127 p.

43. Silva F., Torres R., Oliveira L. Implementing AI on embedded systems. *Journal of embedded systems*. 2019. P. 51-68.

					КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

44. Smith S., Jones, D., Brown M. Designing interfaces for interacting with language models on mobile devices: Proceedings of the mobile computing and communications conference. 2017. P. 89-104.

45. Huang T., Lin J., Li K. Optimizing language model performance on resourceconstrained devices. *Journal of artificial intelligence*. 2020. P. 321-342.

46. Wang, Zihan, et al. "Thermal sensation and sleep quality in different combinations of indoor air temperature and bedding system conditions." *Building and Environment*. 2023. 281 p.

47. Yi, Hyeryeon, Kyungrim Shin, and Chol Shin. "Development of the sleep quality scale." *Journal of sleep research* 15.3. 2006. P. 309-316.

48. Socci, Valentina, et al. "Sleep quality and emotional reactivity in patients with borderline personality disorder." *Frontiers in Sleep*. 2024. 562 p.

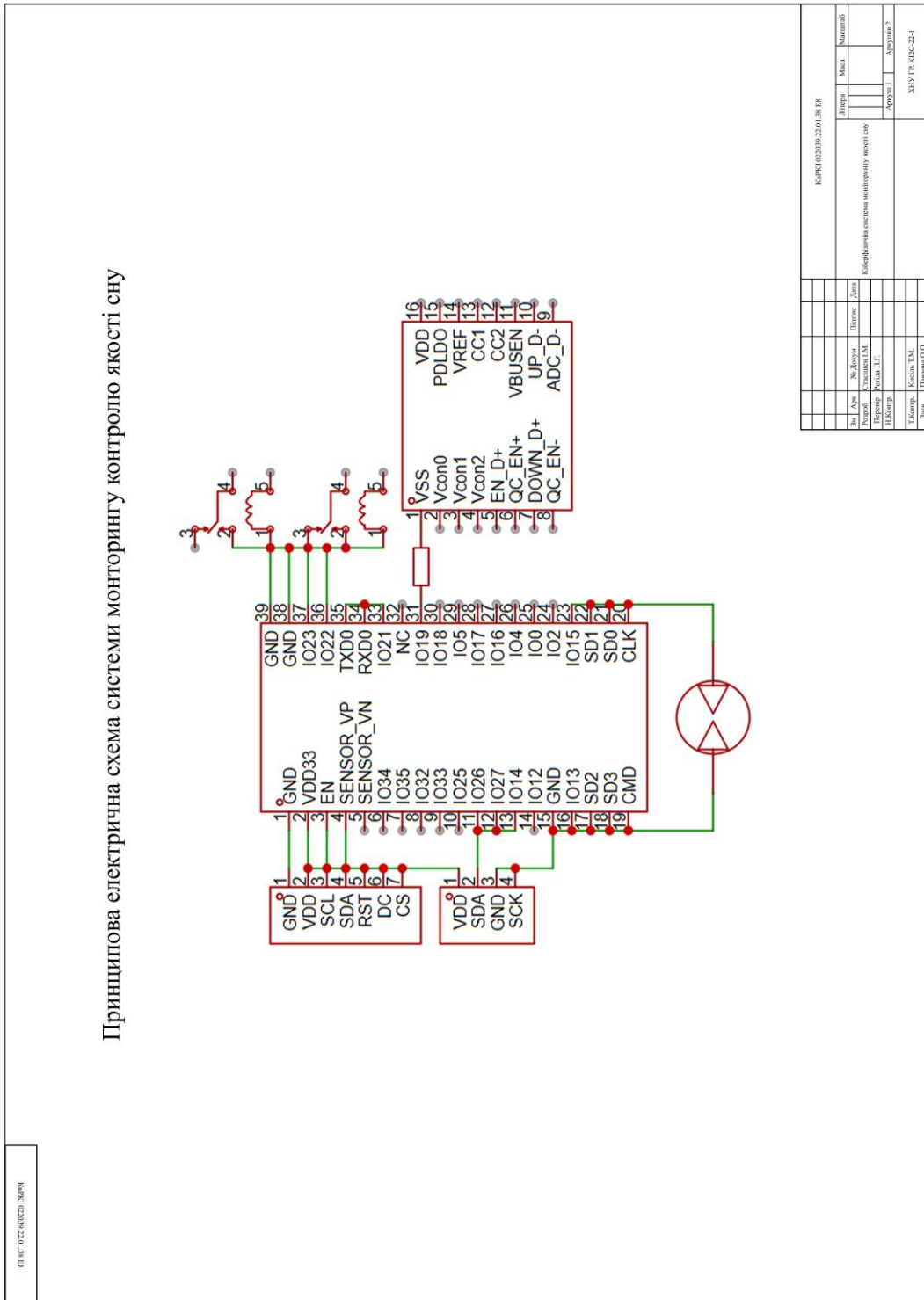
49. Wheeler, Benjamin J., et al. "Improved technology satisfaction and sleep quality with Medtronic MiniMed® Advanced Hybrid Closed-Loop delivery compared to predictive low glucose suspend in people with Type 1 Diabetes in a randomized crossover trial." *Acta diabetologica* 59.1. 2022. P. 31-37.

50. Kwon, Shinjae, et al. "At-home wireless sleep monitoring patches for the clinical assessment of sleep quality and sleep apnea." *Science Advances* 9.21. 2023. P. 110-118.

					КВРКІ 022039.22.01.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Додаток В (обов'язковий)

Копія креслення «Принципова електрична схема системи моніторингу якості сну»



Додаток Г (обов'язковий)

ВИХІДНИЙ КОД

Вихідний програмний код, що використаний у розробці кіберфізичної системи моніторингу якості сну у середовищі Wokwi:

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// Дані Wi-Fi
const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";

// IP-адреси підлеглих ESP
const char* esp2_ip = "http://192.168.1.101"; // DHT22
const char* esp3_ip = "http://192.168.1.102"; // Потенціонометр
const char* esp5_ip = "http://192.168.1.104"; // Реле
const char* esp6_ip = "http://192.168.1.105"; // Серво

// OLED дисплей SSD1306 128x64 I2C
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

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

  // Ініціалізація дисплея
  if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for(;;);
  }
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  display.setCursor(0,0);
  display.println("Запуск системи...");
  display.display();

  // Підключення до Wi-Fi
  WiFi.begin(ssid, password);
```

```

Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nWi-Fi підключено!");
Serial.print("IP ESP MAIN: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

display.clearDisplay();
display.setCursor(0,0);
display.println("Wi-Fi підключено");
display.println(WiFi.localIP().toString());
display.display();
delay(2000);
}

void loop() {
    // Отримання даних
    float temperature = getSensorValue(esp2_ip, "/temperature");
    float humidity = getSensorValue(esp2_ip, "/humidity");
    float lightLevel = getSensorValue(esp3_ip, "/light");

    Serial.println("Температура: " + String(temperature));
    Serial.println("Вологість: " + String(humidity));
    Serial.println("Освітленість: " + String(lightLevel));

    // Керування реле
    if (temperature >= 0) { // Перевірка чи дані валідні
        if (temperature < 20.0) {
            sendCommand(esp5_ip, "/relay/on"); // Включити обігрівач
        } else {
            sendCommand(esp5_ip, "/relay/off"); // Вимкнути обігрівач
        }
    }
    if (humidity >= 0) {
        if (humidity < 40.0) {
            sendCommand(esp5_ip, "/humidifier/on"); // Увімкнути зволожувач
        } else {
            sendCommand(esp5_ip, "/humidifier/off"); // Вимкнути зволожувач
        }
    }
    if (lightLevel >= 0) {
        if (lightLevel > 200.0) {
            sendCommand(esp6_ip, "/curtain/close"); // Закрити штори
        } else {
            sendCommand(esp6_ip, "/curtain/open"); // Відкрити штори
        }
    }
}

```

```

    updateDisplay(temperature, humidity, lightLevel);

    delay(10000);
}

float getSensorValue(const char* esp_ip, const char* endpoint) {
    HTTPClient http;
    String url = String(esp_ip) + String(endpoint);
    http.begin(url);
    int httpCode = http.GET();

    if (httpCode == 200) {
        String payload = http.getString();
        http.end();
        return payload.toFloat();
    } else {
        Serial.print("Помилка запиту: ");
        Serial.println(url);
        http.end();
        return -1;
    }
}

void sendCommand(const char* esp_ip, const char* endpoint) {
    HTTPClient http;
    String url = String(esp_ip) + String(endpoint);
    http.begin(url);
    int httpCode = http.GET();

    if (httpCode > 0) {
        Serial.print("Команда виконана: ");
        Serial.println(url);
    } else {
        Serial.print("Помилка команди: ");
        Serial.println(url);
    }
    http.end();
}

void updateDisplay(float temperature, float humidity, float light) {
    display.clearDisplay();

    display.setCursor(0,0);
    display.print("Темп: ");
    if (temperature >= 0) display.print(temperature);
    else display.print("Err");
    display.println(" C");

    display.print("Волог: ");
    if (humidity >= 0) display.print(humidity);
}

```

```

else display.print("Err");
display.println(" %");

display.print("Світло: ");
if (light >= 0) display.print(light);
else display.print("Err");
display.println(" lx");

display.setCursor(0, 50);
if (temperature >= 18 && temperature <= 24 &&
    humidity >= 40 && humidity <= 60 &&
    light <= 100) {
    display.println("Умови комфортні");
} else {
    display.println("НЕ комфортні умови");
}

display.display();
}

#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 15
#define DHTTYPE DHT22

const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
WebServer server(80);

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

    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nПідключено до Wi-Fi");
    Serial.print("IP ESP1: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    // Старий ендпоінт
    server.on("/data", []() {
        float t = dht.readTemperature();

```

```

    float h = dht.readHumidity();
    if (isnan(t) || isnan(h)) {
        server.send(500, "text/plain", "Sensor error");
        return;
    }
    String response = "{\"temperature\": " + String(t) + ", \"humidity\": " +
String(h) + "}";
    server.send(200, "application/json", response);
});

// Нові прості ендпоінти для температури і вологості
server.on("/temperature", []() {
    float t = dht.readTemperature();
    if (isnan(t)) {
        server.send(500, "text/plain", "Sensor error");
        return;
    }
    server.send(200, "text/plain", String(t));
});

server.on("/humidity", []() {
    float h = dht.readHumidity();
    if (isnan(h)) {
        server.send(500, "text/plain", "Sensor error");
        return;
    }
    server.send(200, "text/plain", String(h));
});

server.begin();
Serial.println("HTTP-сервер запущено");
}

void loop() {
    server.handleClient();
}

#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>

const int lightSensorPin = 34; // Пін потенціометра

const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";

WebServer server(80);

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    WiFi.begin(ssid, password);

```

```

Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nПідключено до Wi-Fi");
Serial.println(WiFi.localIP());

server.on("/light", []() {
    int rawValue = analogRead(lightSensorPin);
    float brightness = map(rawValue, 0, 4095, 0, 100); // у відсотках
    String response = "{\"brightness\": " + String(brightness) + "}";
    server.send(200, "application/json", response);
});

server.begin();
Serial.println("HTTP-сервер запущено");
}

void loop() {
    server.handleClient();
}

#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>

const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";

WebServer server(80);

const int relayPin = 25;
bool heaterState = false;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(relayPin, OUTPUT);
    digitalWrite(relayPin, LOW); // Вимкнено спочатку

    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nПідключено до Wi-Fi");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    server.on("/heater/on", []() {
        heaterState = true;

```

```

    digitalWrite(relayPin, HIGH);
    server.send(200, "text/plain", "Heater ON");
});

server.on("/heater/off", []() {
    heaterState = false;
    digitalWrite(relayPin, LOW);
    server.send(200, "text/plain", "Heater OFF");
});

server.on("/heater/status", []() {
    server.send(200, "text/plain", heaterState ? "ON" : "OFF");
});

server.begin();
Serial.println("HTTP сервер запущено");
}

void loop() {
    server.handleClient();
}

#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>

const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";

WebServer server(80);

const int relayPin = 26;
bool humidifierState = false;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(relayPin, OUTPUT);
    digitalWrite(relayPin, LOW); // Вимкнено спочатку

    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nПідключено до Wi-Fi");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    server.on("/humidifier/on", []() {
        humidifierState = true;
        digitalWrite(relayPin, HIGH);
    });
}

```

```

    server.send(200, "text/plain", "Humidifier ON");
  });

  server.on("/humidifier/off", []() {
    humidifierState = false;
    digitalWrite(relayPin, LOW);
    server.send(200, "text/plain", "Humidifier OFF");
  });

  server.on("/humidifier/status", []() {
    server.send(200, "text/plain", humidifierState ? "ON" : "OFF");
  });

  server.begin();
  Serial.println("HTTP сервер запущено");
}

void loop() {
  server.handleClient();
}

#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <Servo.h>

const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";

WebServer server(80);

const int servoPin = 27;
Servo curtainServo;
int currentAngle = 0;

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

  curtainServo.attach(servoPin);
  curtainServo.write(currentAngle);

  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("\nПідключено до Wi-Fi");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  server.on("/curtains/open", []() {

```

```
    currentAngle = 90;
    curtainServo.write(currentAngle);
    server.send(200, "text/plain", "Curtains OPENED");
});

server.on("/curtains/close", []() {
    currentAngle = 0;
    curtainServo.write(currentAngle);
    server.send(200, "text/plain", "Curtains CLOSED");
});

server.on("/curtains/status", []() {
    server.send(200, "text/plain", (currentAngle == 90) ? "OPEN" : "CLOSED");
});

server.begin();
Serial.println("HTTP сервер запущено");
}

void loop() {
    server.handleClient();
}
```

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: Іван СТАСІШЕН

Співавтор:

Назва: Стасішен_Кіберфізична система моніторингу якості сну

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:4.5%

Коефіцієнт подібності 2:0.9%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Блі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-08 20:40:07.0

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 процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-08

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 17.0%

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

ID: 244118 Title: БКР Кіберфізична система моніторингу якості сну Added in a DB: 2025-06-08 Authors: Іван СТАСШЕН Heads: Павло РЕГІДА Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	92486	683	18323 (20%)	130 (19%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes
240835	Title: Звіт з ПДП Кіберфізична система контролю якості сну Added in a DB: 2025-05-05 Authors: Стасішен І.М. Heads: Регіда П.Г. Consultants: Opponents:	15291 (17.0%)	98 (14.0%)

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Стасішен Іван Михайлович

Тема: Кіберфізична система моніторингу якості сну

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 66

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є створення системи для моніторингу якості сну.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз існуючих систем для моніторингу якості сну. На основі цього аналізу виявлені як сильні сторони сучасних рішень, так і їхні недоліки. У результаті аналізу сформовано концепцію створення системи моніторингу якості сну, адаптованої під побутові умови. Цей розділ визначив основу для створення системи моніторингу якості сну, яка повинна бути орієнтована на простоту, функціональність та енергоефективність.

У другому розділі роботи розроблено архітектуру та апаратну частину кіберфізичної системи моніторингу якості сну. Були визначені оптимальні умови для сну і сформовано завдання для створення такої системи. Також, були детально розглянуті усі апаратні компоненти, використані у системі, наведені їх характеристики. Проведено проектування компонентів системи та описано структуру передачі даних між ними.

У третьому розділі здійснено реалізацію системи моніторингу якості сну у симуляторі та проведено її тестування. Описано особливості її функціонування, сформовано блок-схеми алгоритмів роботи окремих компонентів. Проведено експериментальні дослідження, у ході яких змодельовані різні сценарії та перевірено

алгоритми роботи всіх компонентів системи, включно з логікою реагування на зміну параметрів середовища. Висновки підкріплено прикладами результатів роботи системи, що демонструє високий ступінь практичної реалізації теоретичних рішень.

4. Позитивні сторони роботи: Робота відзначається високим рівнем практичної реалізації та використанням сучасних технологій. Успішно реалізовано систему, що забезпечує моніторинг якості сну користувача.

5. Негативні сторони роботи: Недоліком розробленої системи є залежність від стабільного живлення та Wi-Fi-з'єднання, що може впливати на надійність передачі даних між модулями. Також система не враховує деякі індивідуальні особливості користувача, що обмежує точність оцінки якості сну.

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: добре (В) 4,25

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

к.т.н., доцент, доц. кафедри автоматизації і систем "комерційно-інтелектуальне управління машинами" Федора М.В.

"09" червня 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ
Іван СТАСШЕН
ПІБ 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.

9 червня 2025 року



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 моніторингу якості сну

Автор: Іван СТАСІШЕН

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Павло РЕГІДА

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 укриття 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, наприклад: «на рисунку зображено», «схема підключення системи», «висновки до розділу» тощо.
- 4) Всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту мають відношення до комбінування латинських та україномовних символів, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 4.45% і адресується до 41 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 17%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



Павло РЕГІДА

Сергій ЛИСЕНКО

Ольга ПАВЛОВА