

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПОГОДЖЕНО

**Декан факультету Інформаційних
технологій**

_____ Ігор БОЛБОТ
(підпис)
« ____ » _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри Комп'ютерних
систем, мереж та кібербезпеки**

_____ Дмитро КАСАТКІН
(підпис)
« ____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

На тему: «Розробка мікроконтролерної системи моніторингу роботи сонячної
панелі з Bluetooth інтерфейсом

»

Спеціальність F7 «Комп'ютерна інженерія

»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія

»

Гарант освітньої програми канд. фіз.-мат. наук, доцент	_____ (підпис)	<u>Євгеній НІКІТЕНКО</u>
Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи канд. техн. наук, доцент	_____ (підпис)Я	<u>Віктор СМОЛІЙ</u>
Виконав	_____ (підпис)	<u>Владислав ЛАЗАРЕВ</u>

КИЇВ-2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
канд. пед. наук, доцент _____ Дмитро КАСАТКІН
« _____ » _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ

Лазареву Владиславу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи
«Розробка мікроконтролерної системи моніторингу роботи сонячної панелі з Bluetooth інтерфейсом»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «10» 12 2025 р. № 3072 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «25» 05 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи
Мікроконтролер ESP-32, контроль параметрів струму та напруги сонячної панелі,
Температури окремих ділянок панелі

Перелік питань, що підлягають дослідженню:
аналіз сонячної панелі як об'єкта моніторингу; вибір апаратних компонентів системи;
проєктування мікроконтролерного вузла на базі ESP32; Реалізація Bluetooth інтерфейсу і
передавання даних; розробка програмного забезпечення для зчитування та аналізу
температури; тестування працездатності розробленої системи;

Перелік графічного матеріалу (за необхідності).
Структурна схема системи моніторингу, схема температурних зон, алгоритм робот.

Дата видачі завдання “ 10 ” 12 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи канд. техн. наук, доцент	 (підпис)	<u>Віктор СМОЛІЙ</u>
Завдання взяв до виконання	 (підпис)	<u>Владислав ЛАЗАРЕВ</u>

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/ п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз предметної області	04.02.2026 р.	Виконано
2	Проектування програмного продукту	15.03.2026 р.	Виконано
3	Розробка системи	10.04.2026 р.	Виконано
4	Тестування системи	01.05.2026 р.	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	25.05.2026 р.	Виконано
6	Оформлення графічного матеріалу	25.05.2026 р.	Виконано

Студент

_____ **В.В. Лазарев**
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник проекту (роботи)

_____ **В.В. Смолій**
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83 сторінок, 20 рисунків, 9 таблиць, 20 джерел.

СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА, ESP32, DS18B20, BLUETOOTH, WI-FI, МОНІТОРИНГ, ТЕМПЕРАТУРА, ПЕРЕГРІВ

Об'єкт аналізу, розробки та дослідження — мікроконтролерна система моніторингу роботи сонячної панелі.

Метою роботи є розробка мікроконтролерної системи моніторингу роботи сонячної панелі з Bluetooth інтерфейсом для зчитування температурних параметрів, виявлення локального перегріву та передавання даних користувачу. Дипломний проєкт складається з трьох розділів. У першому розділі розглянуто предметну область, особливості роботи сонячних панелей, вплив температури на їх ефективність та доцільність багатоточкового температурного моніторингу. У другому розділі наведено проєктування мікроконтролерної системи, вибір апаратних компонентів, структуру мікроконтролерного вузла, організацію температурних зон, алгоритм роботи системи та основні фрагменти програмної реалізації. У третьому розділі проведено тестування працездатності системи, зокрема перевірку температурного моніторингу, BLE-інтерфейсу локального доступу, Wi-Fi-підключення, передавання даних на API та відображення інформації у web-інтерфейсі.

У результаті виконання дипломної роботи проведено аналіз предметної області, спроектовано мікроконтролерну систему моніторингу сонячної панелі та розроблено програмний прототип на базі ESP32

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лазарев В.В.						
Перевір.		Смолій В.В.						
Н. Контр.		Смолій В.В.						
Зав. Каф.		Касатки Д.Ю.						
						Літ.	Арк.	Аркушів
							4	83
						KI-22012Б		

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ3

ВСТУП6

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ9

- 1.1 Особливості сонячних панелей як об'єкта моніторингу9
- 1.2 Вплив температури на ефективність і деградацію панелі13
- 1.3 Аналіз задачі моніторингу та вимог до системи15
- 1.4 Вибір апаратної платформи та середовища розробки18

2 ПРОЄКТУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ23

- 2.1 Загальна структура системи моніторингу23
- 2.2 Обґрунтування вибору апаратної платформи25
- 2.3 Організація температурних зон сонячної панелі27
- 2.4 Алгоритм роботи системи моніторингу30
- 2.5 Розробка програмного забезпечення мікроконтролерного вузла32
 - 2.5.1 Ініціалізація та зчитування даних із температурних датчиків35
 - 2.5.2 Реалізація алгоритму аналізу температурного стану панелі37
 - 2.5.3 Реалізація BLE-інтерфейсу локального доступу39
 - 2.5.4 Реалізація Wi-Fi-підключення та передавання даних на API42

3 ТЕСТУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ48

- 3.1 Умови та методика тестування системи48
- 3.2 Тестування температурного моніторингу та алгоритму аналізу53
- 3.3 Тестування BLE-інтерфейсу локального доступу60
- 3.4 Тестування Wi-Fi, API та web-відображення66
- 3.5 Аналіз результатів тестування та висновки щодо працездатності74

ВИСНОВКИ79

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ81

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						5
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В умовах війни в Україні питання енергетичної незалежності та стійкості локальної інфраструктури набуло особливої актуальності. Внаслідок пошкодження енергетичних об'єктів, аварійних відключень та нестабільності централізованого електропостачання все більше значення набувають автономні і резервні джерела енергії. Одним з найбільш доступних напрямів є використання сонячних панелей у складі локальних енергетичних рішень для приватних домогосподарств, невеликих об'єктів та розподілених систем живлення.

Однак разом із розширенням використання сонячних панелей зростає потреба в простих і недорогих засобах контролю їхнього стану. На практиці важливо не лише отримувати електроенергію від панелі, а й своєчасно визначати, чи працює вона у нормальному режимі, чи не виникають локальні перегріву. Особливо важливим є виявлення локальних теплових аномалій (hot spot), коли одна частина панелі нагрівається значно сильніше за інші, що може свідчити про пошкодження або ненормальний режим роботи.

В зв'язку з цим актуальною є розробка простого мікроконтролерного вузла моніторингу, який можна встановити на окрему сонячну панель і використовувати як автономний елемент контролю. Такий підхід дає змогу побудувати недороге рішення на базі доступної платформи ESP32, забезпечити зчитування температурних параметрів у кількох зонах панелі та передавати інформацію користувачу через бездротові інтерфейси.

Однак особливістю даної роботи є орієнтація на один вузол моніторингу для однієї сонячної панелі. Такий модуль може використовуватися як самостійний пристрій або надалі бути інтегрованим до складу більшої системи, у

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

якій кілька подібних вузлів передають дані на верхній рівень збору та обробки інформації. Таким чином, обраний підхід поєднує простоту реалізації, низьку вартість компонентів та можливість подальшого розширення системи.

Метою дипломної роботи є розробка мікроконтролерної системи моніторингу роботи сонячної панелі з Bluetooth-інтерфейсом, яка забезпечує зчитування температурних параметрів, виявлення локального перегріву та передавання інформації користувачу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати особливості сонячної панелі як об'єкта моніторингу;
- розглянути вплив температурного режиму на ефективність роботи панелі;
- обґрунтувати доцільність зонального температурного контролю;
- вибрати апаратну платформу та сенсори для реалізації системи;
- розробити структуру мікроконтролерного модуля моніторингу;
- реалізувати програмне забезпечення для зчитування, обробки та аналізу температурних даних;
- реалізувати логіку виявлення локального перегріву і формування статусу стану панелі;
- реалізувати бездротову взаємодію з користувачем та передавання даних;
- провести моделювання та тестування системи.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є процес моніторингу технічного стану сонячної панелі, а предметом - сама мікроконтролерна система збору, обробки та передавання даних про температурний стан сонячної панелі.

Практичне значення роботи полягає в розробці недорогого прототипу вузла моніторингу на базі ESP32, який може застосовуватися для локального контролю стану окремої сонячної панелі, забезпечувати сервісний доступ через Bluetooth та передавати телеметрію через бездротову мережу. Такий прототип може слугувати основою для подальшого розвитку масштабованої системи моніторингу.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Особливості сонячних панелей як об'єкта моніторингу

Сонячна панель є технічним пристроєм, призначеним для перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію. У сучасних умовах фотоелектричні модулі широко застосовуються як у складі великих сонячних електростанцій, так і в автономних або локальних системах енергозабезпечення приватних будинків, невеликих господарств, резервних джерел живлення та окремих інженерних об'єктів. Поширення сонячних панелей пояснюється відносною доступністю технології, можливістю автономної експлуатації, зменшенням залежності від централізованого енергопостачання та перспективами використання відновлюваних джерел енергії в умовах нестабільної енергетичної інфраструктури.

Разом із тим сонячна панель не є пасивним елементом, стан якого можна вважати незмінним у процесі експлуатації. Ефективність її роботи суттєво залежить від зовнішніх умов, режиму навантаження, рівня освітленості, стану поверхні, справності окремих фотоелектричних елементів, а також температурного режиму. Навіть за зовнішньо однакових умов різні ділянки панелі можуть нагріватися нерівномірно, що здатне впливати як на поточну продуктивність модуля, так і на його довговічність. Саме тому сонячну панель доцільно розглядати не лише як джерело електроенергії, а і як об'єкт технічного моніторингу, для якого важливо контролювати ряд робочих параметрів.

До основних параметрів, що характеризують стан сонячної панелі, належать напруга, струм, потужність, температура окремих ділянок поверхні, а також температура навколишнього середовища. Електричні параметри дозволяють

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

оцінити загальний режим роботи модуля та факт вироблення енергії, однак вони не завжди дають можливість своєчасно виявити локальні дефекти або приховані аномалії. Температурні параметри, навпаки, дають змогу краще оцінити тепловий стан панелі, виявити нерівномірність нагрівання та зафіксувати потенційно небезпечні явища ще до появи критичних наслідків. У зв'язку з цим температурний моніторинг є важливою складовою контролю працездатності фотоелектричного модуля.

Особливість сонячної панелі як об'єкта моніторингу полягає в тому, що її робочий стан визначається не одним вимірюваним параметром, а сукупністю взаємопов'язаних величин. Наприклад, збільшення температури поверхні панелі саме по собі не завжди означає наявність несправності, оскільки в умовах високої температури навколишнього середовища та інтенсивного сонячного випромінювання нагрівання є природним явищем. Водночас локальне підвищення температури однієї ділянки відносно інших зон панелі може бути ознакою дефекту, часткового затінення, деградації елемента, збільшення внутрішнього опору або іншого небажаного режиму. Тому для коректної оцінки стану панелі важливим є не лише вимірювання абсолютної температури, а й аналіз просторового розподілу температури по її поверхні.

Ще однією характерною рисою сонячної панелі як об'єкта моніторингу є доцільність локального контролю безпосередньо на рівні окремого модуля. У багатьох практичних випадках користувачу потрібна не складна централізована система високого рівня, а простий і недорогий вузол, який може бути встановлений на конкретну панель та надавати інформацію про її поточний стан. Такий підхід особливо актуальний для невеликих систем, де важливі низька вартість, простота реалізації, можливість автономної роботи та подальшого

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

масштабування шляхом додавання аналогічних вузлів до інших панелей. Саме тому у даній роботі сонячна панель розглядається як окремий об'єкт спостереження, для якого формується індивідуальний мікроконтролерний модуль моніторингу.

Важливо враховувати, що умови експлуатації сонячних панелей часто є змінними та неідеальними. На роботу модуля можуть впливати погодні фактори, коливання температури повітря, пил, забруднення, локальне затінення, нерівномірне охолодження, особливості монтажу та орієнтації відносно сонця. Усе це створює потребу не просто в періодичному ручному контролі, а в автоматизованому спостереженні за станом панелі за допомогою електронного пристрою. Такий пристрій повинен забезпечувати регулярне зчитування параметрів, первинну обробку отриманих даних, визначення небезпечних режимів та передавання результатів користувачу у зручній формі.

Для побудови подібного вузла моніторингу доцільно використовувати сучасні мікроконтролерні платформи, які поєднують достатню обчислювальну потужність, низьку вартість, підтримку цифрових інтерфейсів та можливості бездротового обміну даними. Однією з найбільш практичних платформ для такого класу задач є ESP32, яка дозволяє поєднати функції зчитування сигналів із сенсорів, локальної обробки даних, збереження налаштувань, а також реалізації Bluetooth та Wi-Fi зв'язку. Завдяки цьому з'являється можливість створити компактний вузол, який не лише фіксує параметри панелі, а й забезпечує сервісний локальний доступ та передавання телеметрії в мережевий інтерфейс моніторингу.

Таким чином, сонячна панель у межах даної дипломної роботи розглядається як технічний об'єкт, для якого важливим є контроль температурного стану та

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

супровідних електричних параметрів. Найбільший інтерес становить виявлення небезпечних теплових режимів, насамперед локального перегріву окремих зон. Це обґрунтовує необхідність створення спеціалізованого мікроконтролерного вузла, здатного виконувати локальне зчитування даних, первинний аналіз стану панелі та передавання отриманої інформації користувачу через бездротові канали зв'язку

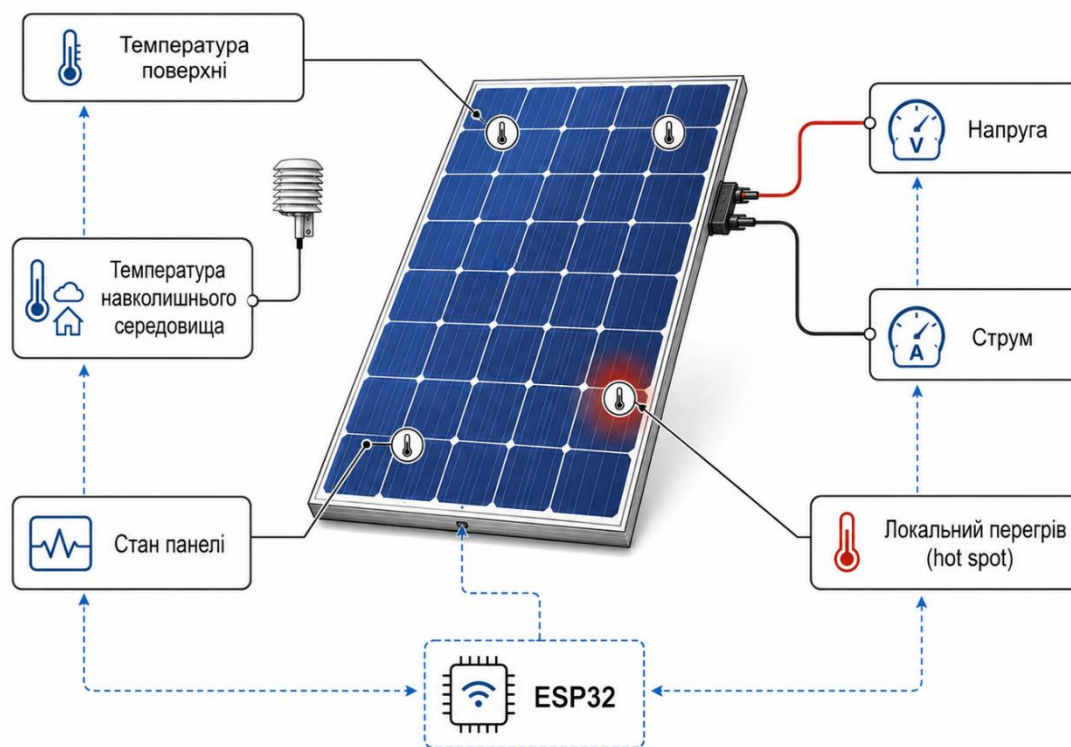


Рисунок 1.1 – Сонячна панель як об’єкт моніторингу та основні контролювані параметри

Отже, розгляд сонячної панелі як об’єкта моніторингу дозволяє сформулювати вимоги до майбутньої системи контролю. Така система повинна забезпечувати збір даних, враховувати особливості температурного режиму, бути технічно

простою, недорогою та придатною до практичного використання як для окремої панелі, так і як базовий елемент більшої системи моніторингу.

1.2 Вплив температури на ефективність і деградацію панелі

Ефективність роботи сонячної панелі залежить не лише від рівня сонячного випромінювання, а й від її температурного стану. У процесі експлуатації фотоелектричний модуль нагрівається під дією зовнішнього середовища та внаслідок власних електричних процесів. За підвищення температури змінюються робочі параметри елементів панелі, що призводить до зниження енергетичної ефективності та може негативно впливати на довговічність модуля.

Однією з характерних особливостей сонячних панелей є те, що їх робоча температура часто суттєво перевищує температуру навколишнього повітря. Це пояснюється постійним поглинанням сонячної енергії, нагріванням поверхні модуля, впливом погодних умов, особливостями встановлення та вентиляції. Якщо панель працює в умовах високої температури, її електричні характеристики погіршуються, а ризик небажаних теплових явищ зростає.

Особливо небезпечним є не просто загальне нагрівання всієї поверхні, а поява локальних температурних аномалій. У реальних умовах окремі ділянки панелі можуть нагріватися сильніше за інші через часткове затінення, забруднення, деградацію елементів, дефекти з'єднань або нерівномірність навантаження. У такому випадку виникають так звані гарячі точки, які створюють локальний перегрів і можуть прискорювати старіння матеріалів, погіршувати стабільність роботи та знижувати загальну ефективність модуля.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

З практичної точки зору небезпека локального перегріву полягає в тому, що він не завжди може бути виявлений за одним усередненим значенням температури. Якщо контролювати лише загальний стан панелі без аналізу окремих зон, можна не помітити ситуацію, коли одна ділянка вже працює в небезпечному режимі, тоді як середня температура всієї поверхні ще не виглядає критичною. Саме тому для задач моніторингу більш доцільним є багатоточковий контроль температури.

Підвищена температура також має значення для експлуатаційної надійності системи. Тривала робота в режимах перегріву може спричиняти прискорене старіння панелі, погіршення контактів, зміну характеристик окремих комірок та зменшення стабільності енергогенерації. Для користувача це означає не лише зниження продуктивності, а й потребу в більш ранньому обслуговуванні або заміні окремих елементів системи.

Отже, температурний режим є одним із ключових факторів, що визначають ефективність та безпечність роботи сонячної панелі. Для практичного моніторингу важливо враховувати не тільки сам факт нагрівання, а й його просторовий розподіл по поверхні модуля, а також співвідношення між температурою панелі та температурою навколишнього середовища. Це створює підстави для розробки мікроконтролерної системи, здатної виконувати зонний контроль температури, виявляти аномалії та своєчасно повідомляти про потенційно небезпечний стан.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						14
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

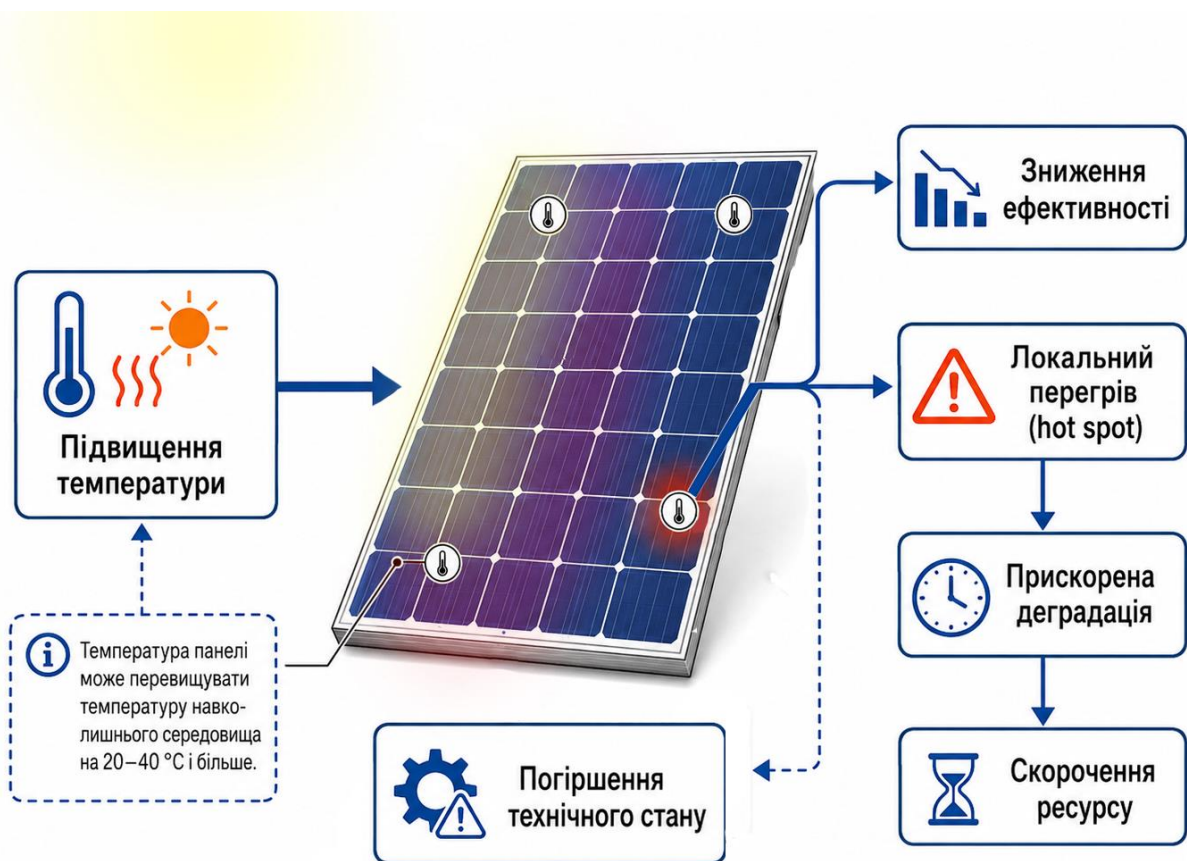


Рисунок 1.2 – Схема впливу температурного режиму на ефективність і технічний стан сонячної панелі

1.3 Аналіз задачі моніторингу та вимог до системи

Для контролю стану сонячної панелі недостатньо орієнтуватися лише на загальне або усереднене значення температури. У реальних умовах поверхня фотоелектричного модуля нагрівається нерівномірно, тому окремі ділянки можуть працювати в різних теплових режимах. Це особливо важливо у випадках часткового затінення, локального забруднення, мікропошкоджень, дефектів елементів або неоднорідності тепловідведення. За таких умов середня

температура панелі не завжди дає можливість виявити небезпечний стан на ранньому етапі.

Зональний температурний контроль передбачає вимірювання температури не в одній точці, а в кількох характерних ділянках панелі. Такий підхід дозволяє порівнювати температури між окремими зонами, визначати найгарячішу ділянку та оцінювати ступінь нерівномірності нагрівання. Саме ця різниця температур часто є більш інформативною, ніж абсолютне середнє значення по всій поверхні.

Практична доцільність зонального контролю полягає в тому, що він дозволяє виявляти локальні теплові аномалії, які можуть бути ознакою небезпечного режиму роботи. Якщо одна зона панелі нагрівається значно сильніше за інші, це може свідчити про формування hot spot. У такій ситуації система моніторингу повинна не просто фіксувати температуру, а й аналізувати її розподіл, щоб своєчасно формувати попередження або аварійний статус.

Ще однією перевагою зонального підходу є можливість врахування температури навколишнього середовища. Висока температура повітря в сонячний день сама по собі не означає наявності несправності, тому важливо порівнювати стан панелі не тільки між зонами, а й відносно ambient-точки. Це дає змогу відрізнити нормальне рівномірне нагрівання від локального перегріву, який дійсно потребує уваги.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Для дипломного проєкту зональний контроль є технічно виправданим також з точки зору реалізації. Використання кількох цифрових температурних датчиків дозволяє побудувати відносно просту, недорогу та масштабовану систему збору даних. При цьому навіть обмежена кількість контрольних точок дає достатньо інформації для первинної оцінки стану панелі та формування логіки NORMAL, WARNING, ALERT, ERROR.

Таким чином, зональний температурний контроль є доцільним для задачі моніторингу сонячної панелі, оскільки він підвищує інформативність спостереження, дозволяє виявляти локальні аномалії, зменшує ймовірність пропуску небезпечних режимів та створює основу для подальшого аналізу технічного стану модуля. Саме тому в даному проєкті обрано багатоточкову модель вимірювання температури, а не спрощений варіант із одним датчиком.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						17
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

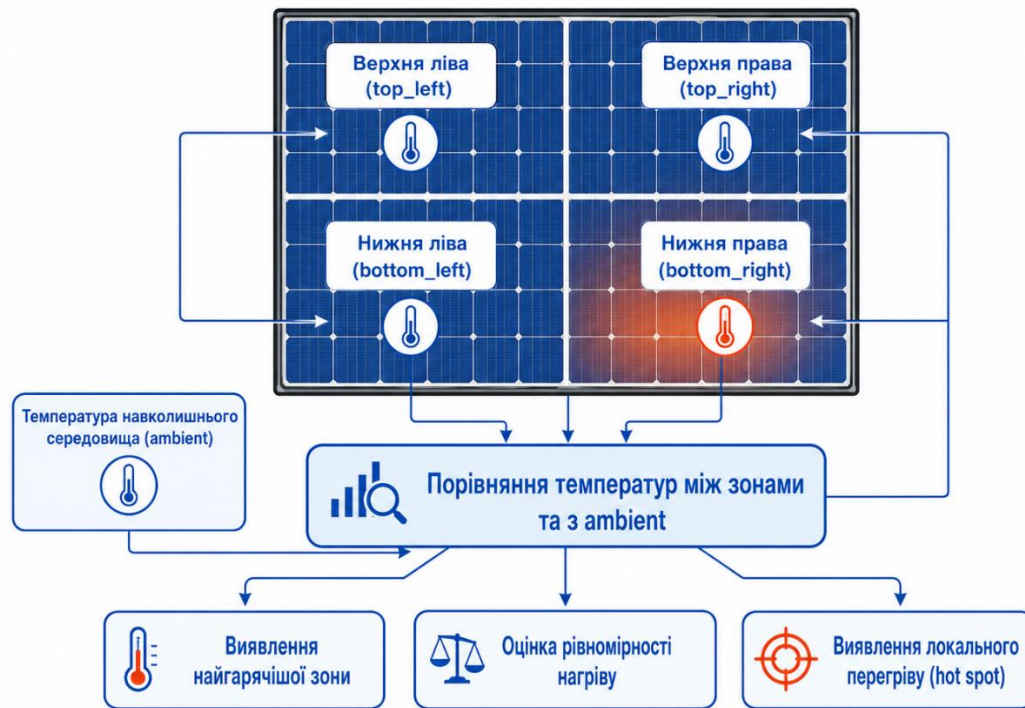


Рисунок 1.3 – Приклад зонального контролю температури сонячної панелі

1.4 Вибір апаратної платформи та середовища розробки

Під час розробки мікроконтролерної системи моніторингу сонячної панелі важливим етапом є вибір апаратної платформи та засобів вимірювання. Від цього залежить не лише функціональність системи, а й її вартість, доступність компонентів, енергоспоживання, зручність програмної реалізації та можливість подальшого розширення.

Для задачі локального моніторингу однієї сонячної панелі контролер повинен забезпечувати підключення зовнішніх датчиків, підтримку бездротового зв'язку, достатній обсяг пам'яті для реалізації службової логіки та простоту інтеграції з програмним середовищем розробки. Оскільки в межах проєкту передбачено

локальний доступ через Bluetooth Low Energy та передавання телеметрії через Wi-Fi, платформа має одночасно підтримувати обидва типи бездротового зв'язку без потреби у зовнішніх комунікаційних модулях.

З огляду на ці вимоги доцільним є використання мікроконтролера сімейства ESP32. Дана платформа поєднує достатню обчислювальну продуктивність, наявність вбудованих Wi-Fi та Bluetooth модулів, широку поширеність, хорошу підтримку в Arduino IDE та доступність бібліотек для роботи з датчиками, пам'яттю налаштувань і мережевими сервісами. Для дипломного прототипу це особливо важливо, оскільки дозволяє реалізувати функції збирання, первинної обробки та передачі даних на одній апаратній основі.

Як основний засіб температурного контролю доцільно використовувати цифрові датчики DS18B20. Їх вибір обумовлений кількома факторами. По-перше, ці датчики є недорогими та широко доступними. По-друге, вони забезпечують цифровий формат передавання даних, що спрощує інтеграцію з мікроконтролером і знижує вплив аналогових завад. По-третє, кілька датчиків можуть працювати на одній шині OneWire, що є зручним для побудови багатоточкової системи температурного контролю. Це робить DS18B20 придатними для зонального моніторингу поверхні сонячної панелі.

Окрім температури, у перспективній структурі системи передбачено контроль електричних параметрів, зокрема напруги та струму. Для вимірювання струму доцільним є застосування датчика ACS758, який дозволяє безконтактно або

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

напівізольовано оцінювати струм у силовому колі та є зручним для мікроконтролерних рішень. Для вимірювання напруги може використовуватись резистивний дільник, доповнений елементами фільтрації. Оскільки точність внутрішнього аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера не завжди є достатньою для стабільного вимірювання кількох аналогових величин, доцільним є використання зовнішнього АЦП, наприклад ADS1115.

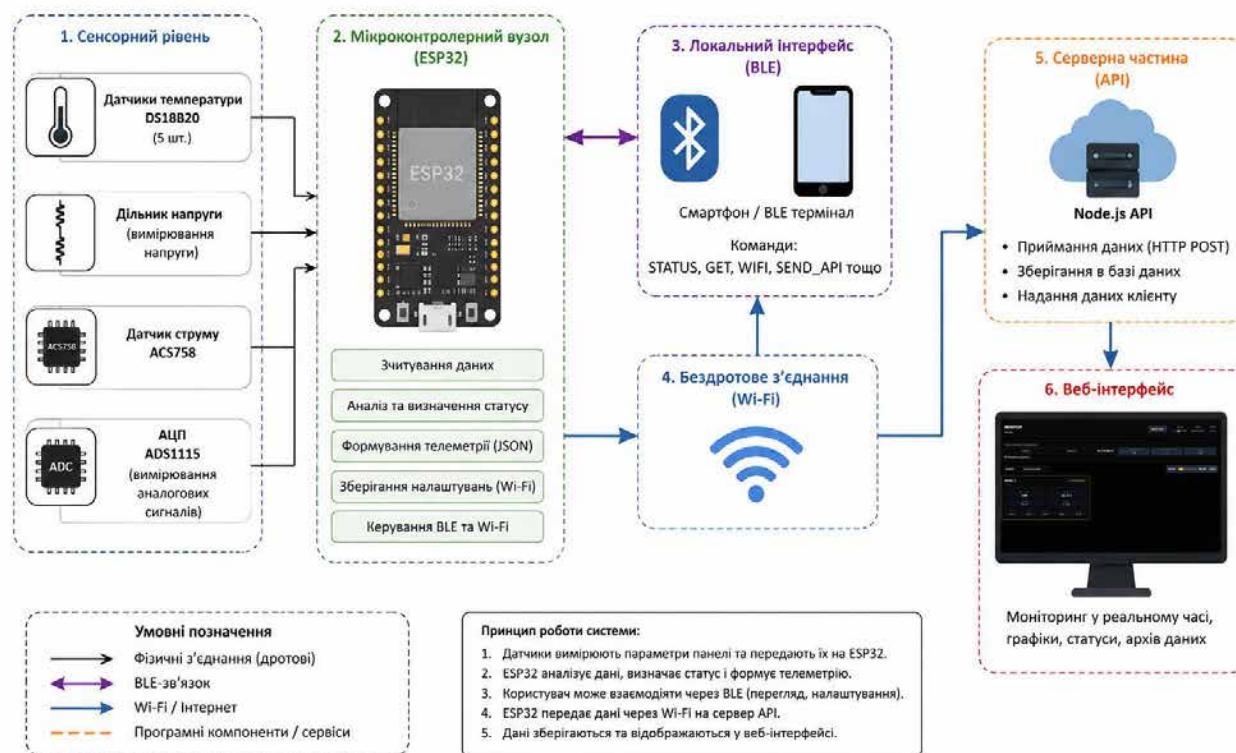
Таким чином, поєднання ESP32, цифрових температурних датчиків DS18B20, датчика струму ACS758 та зовнішнього АЦП ADS1115 формує достатню технічну основу для побудови прототипу системи моніторингу. Така конфігурація дозволяє реалізувати базові функції контролю стану панелі, зберегти відносну простоту схеми та одночасно створити запас для подальшого розширення функціональності.

У межах даної дипломної роботи найбільш повно реалізованою та відпрацьованою є саме температурна підсистема, оскільки вона безпосередньо пов'язана із задачею виявлення локального перегріву панелі. Водночас вибір електричних вимірювальних компонентів також є обґрунтованим, оскільки вони формують завершену архітектурну основу системи та можуть бути інтегровані в подальших етапах розвитку прототипу.

Отже, вибір платформи ESP32 і зазначених сенсорних елементів є технічно та економічно доцільним для реалізації мікроконтролерної системи моніторингу сонячної панелі. Обрана апаратна база забезпечує достатній баланс між

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціональністю, доступністю та можливістю практичної реалізації в умовах дипломного проектування.



Рисунка 1.4 – Структурна схема апаратної бази системи моніторингу

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика вибраних апаратних компонентів системи

№	Компонент	Призначення в системі	Причина вибору
1	ESP32	Центральний мікроконтролерний вузол для зчитування, обробки та передавання даних	Має вбудовані Wi-Fi та Bluetooth Low Energy, достатню продуктивність і підтримується в Arduino IDE

2	DS18B20	Вимірювання температури в окремих зонах панелі та температури навколишнього середовища	Цифровий датчик, підтримує роботу кількох сенсорів на одній шині OneWire, простий у підключенні
3	BLE	Локальний сервісний доступ до вузла моніторингу	Дозволяє виконувати базове налаштування та перевірку стану зі смартфона без дротового підключення
4	Wi-Fi	Передавання телеметрії на API та web-інтерфейс	Забезпечує мережеву інтеграцію системи та зручне відображення даних у web-частині
5	ACS758	Перспективне вимірювання струму сонячної панелі	Дає змогу розширити систему до контролю електричних параметрів
6	ADS1115	Зовнішній аналого-цифровий перетворювач для роботи з аналоговими сигналами	Забезпечує точніше вимірювання аналогових параметрів, ніж вбудований АЦП ESP32
7	Резистивний дільник напруги	Масштабування напруги панелі до рівня, придатного для вимірювання	Просте схемне рішення для підготовки сигналу напруги до подальшого вимірювання

2 ПРОЄКТУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

2.1 Загальна структура системи моніторингу

Розроблена система призначена для контролю стану однієї сонячної панелі за допомогою окремого мікроконтролерного вузла. Основою системи є плата ESP32, до якої підключаються датчики та засоби бездротового зв'язку. Такий підхід є зручним для локального моніторингу й дозволяє в подальшому масштабувати рішення шляхом встановлення окремого вузла на кожную панель.

У поточній реалізації основна увага приділена температурному моніторингу. Для цього використовуються кілька датчиків DS18B20, розміщених у різних точках панелі, а також окремий датчик для вимірювання температури навколишнього середовища. Це дає змогу оцінювати не тільки загальний нагрів панелі, а й виявляти локальні перегріви окремих зон.

Центральним елементом системи є ESP32, яка виконує опитування датчиків, обробку отриманих значень і формування поточного стану системи. На основі зчитаних температур мікроконтролер визначає, чи працює панель у нормальному режимі, чи є попередження, перегрів або підозра на локальну гарячу точку.

Для локальної взаємодії з вузлом використовується інтерфейс BLE. Через нього можна переглядати основні дані, перевіряти стан пристрою та виконувати сервісні команди. Такий варіант зручний для первинного налаштування та швидкого доступу зі смартфона без дротового підключення.

Окремо в системі реалізовано підключення до Wi-Fi. Воно потрібне для передавання даних у зовнішній API та подальшого відображення у web-

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтерфейсі. Тобто BLE у проєкті використовується як локальний канал доступу, а Wi-Fi — як основний канал передавання телеметрії назовні.

Таким чином, загальна структура системи включає датчики температури, мікроконтролер ESP32, BLE-інтерфейс для локального доступу та Wi-Fi-модуль для передавання даних у мережу. Така побудова відповідає задачі дипломного проєкту та дозволяє поєднати локальний контроль із віддаленим моніторингом.

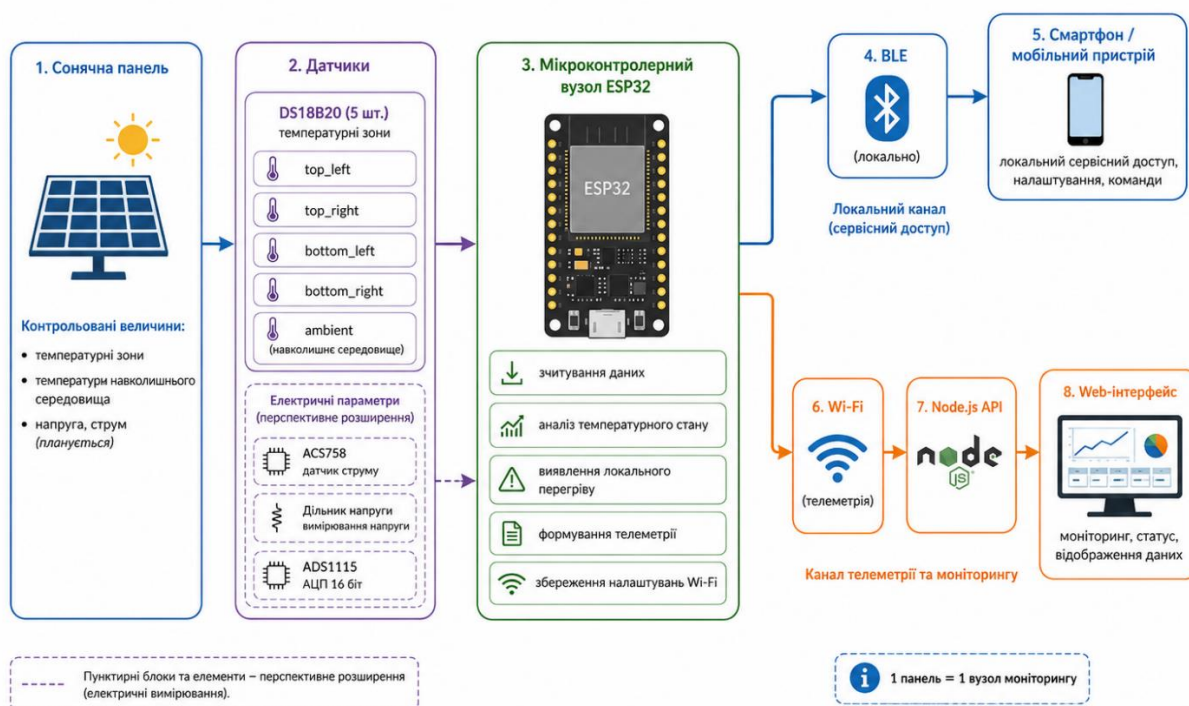


Рисунок 2.1 – Загальна структура системи моніторингу сонячної панелі

2.2 Обґрунтування вибору апаратної платформи

Для побудови мікроконтролерної системи моніторингу було обрано такі основні компоненти: мікроконтролер ESP32, цифрові датчики температури DS18B20, бездротові інтерфейси BLE та Wi-Fi, а також вузли для подальшого контролю електричних параметрів панелі.

Як центральний елемент системи обрано ESP32. Такий вибір пов'язаний з тим, що дана платформа поєднує достатню обчислювальну потужність, наявність вбудованих модулів Wi-Fi і Bluetooth Low Energy, а також зручність розробки в середовищі Arduino IDE. Для дипломного проєкту це є практичним рішенням, оскільки одна плата дозволяє реалізувати і локальний бездротовий доступ, і передавання даних у мережу без використання додаткових зовнішніх модулів. Також ESP32 має достатню кількість інтерфейсів введення-виведення для підключення датчиків і допоміжних вузлів.

Для контролю температурного стану панелі були обрані датчики DS18B20. Їх перевагою є цифровий формат передавання даних, достатня точність для задач моніторингу та можливість роботи кількох датчиків на одній шині OneWire. Це спрощує підключення і зменшує кількість провідників у схемі. Крім того, такі датчики є поширеними, недорогими та зручними для експериментальної і навчальної розробки. У межах проєкту кілька DS18B20 використовуються для контролю різних зон поверхні панелі, а окремий датчик — для вимірювання температури навколишнього середовища.

Для локального доступу до вузла був обраний BLE-інтерфейс. Причина такого вибору полягає в тому, що BLE добре підходить для короткодистанційного зв'язку зі смартфоном, не потребує складної інфраструктури й забезпечує

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зручний сервісний доступ до пристрою. Через BLE користувач може отримувати поточний стан системи, переглядати службову інформацію та виконувати команди налаштування. Для даного проєкту BLE розглядається саме як локальний інтерфейс, а не як основний канал постійного моніторингу.

Для передавання телеметрії на зовнішній рівень використовується Wi-Fi. У порівнянні з BLE цей канал краще підходить для інтеграції з API та web-інтерфейсом. Саме через Wi-Fi вузол може надсилати зібрані дані на серверну частину системи для подальшого збереження і візуалізації. Таким чином, у проєкті BLE і Wi-Fi не дублюють одне одного, а виконують різні задачі.

Оскільки система моніторингу повинна оцінювати не тільки температурний стан, а і електричні параметри сонячної панелі, у структурі проєкту передбачено використання окремих компонентів для вимірювання струму та напруги. Для контролю струму доцільним є використання датчика ACS758, а для вимірювання напруги — резистивного дільника та зовнішнього аналого-цифрового перетворювача ADS1115. Такий підхід дозволяє отримувати більш точні значення, ніж при використанні тільки вбудованого АЦП мікроконтролера, і робить систему ближчою до реальної практичної реалізації.

Отже, вибрані компоненти відповідають поставленій задачі та добре поєднуються між собою. ESP32 забезпечує керування всією системою, DS18B20 реалізують температурний контроль, BLE надає локальний доступ, Wi-Fi використовується для мережевого моніторингу, а додаткові вимірювальні вузли дозволяють розширити систему до повноцінного контролю стану сонячної панелі.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

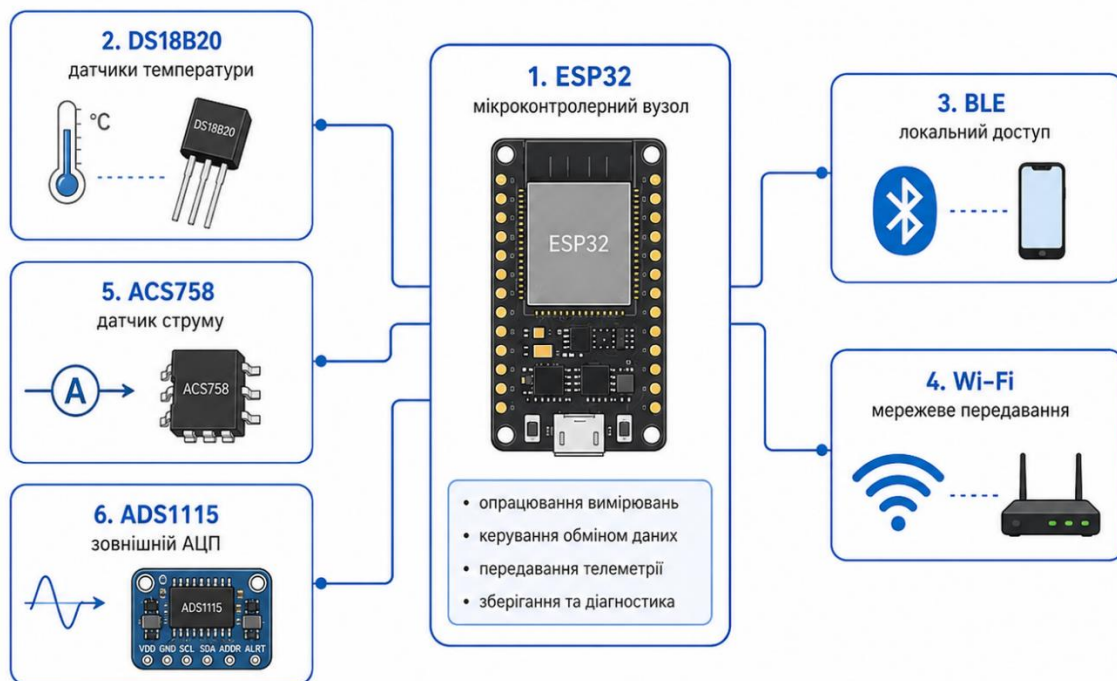


Рисунок 2.2 – Основні компоненти системи моніторингу

2.3 Організація температурних зон сонячної панелі

Для контролю теплового стану сонячної панелі в розроблюваній системі прийнято зонний підхід до вимірювання температури. Його суть полягає в тому, що температура знімається не в одній точці, а в кількох характерних ділянках поверхні панелі. Такий підхід дає можливість отримати більш реальне уявлення про розподіл нагріву та виявляти локальні відхилення, які не можна побачити при використанні лише одного датчика.

У межах даного проєкту для панелі виділено п'ять контрольних точок: чотири точки на поверхні панелі та одну точку для вимірювання температури навколишнього середовища. Зони на поверхні умовно позначені як верхня ліва,

верхня права, нижня ліва та нижня права частини панелі. У програмній реалізації цим зонам відповідають ідентифікатори `top_left`, `top_right`, `bottom_left`, `bottom_right`, а окремий датчик зовнішнього середовища позначається як `ambient`.

Такий варіант розміщення є достатньо простим для практичної реалізації, але водночас дає змогу виконувати базовий аналіз температурного стану панелі. Якщо одна із зон нагрівається сильніше за інші, система може зафіксувати локальний перегрів. Якщо ж усі зони мають підвищену температуру одночасно, це може свідчити про загальний нагрів панелі під дією зовнішніх умов. Отже, поділ на зони дозволяє відрізнити рівномірний нагрів від локальної аномалії.

Окреме вимірювання температури навколишнього середовища потрібне для того, щоб оцінювати стан панелі не ізольовано, а з урахуванням зовнішніх умов. У спекотну погоду підвищення температури всієї панелі є природним явищем, тому саме порівняння температур поверхні з температурою повітря дає більш коректну основу для аналізу. Це дозволяє зменшити кількість хибних спрацювань та підвищує практичну цінність системи моніторингу.

Для реалізації такого підходу використано цифрові датчики температури DS18B20, які підключаються до мікроконтролера ESP32 по шині OneWire. Кожен датчик відповідає одній фізичній точці контролю. У поточному варіанті прототипу призначення датчиків до зон виконується відповідно до прийнятої схеми монтажу та логіки програмної обробки. Надалі, у разі потреби, система може бути вдосконалена шляхом жорсткої прив'язки зон до унікальних адрес датчиків, що підвищить зручність обслуговування та повторюваність монтажу.

Запропонована організація температурних зон не претендує на побудову повної теплової карти поверхні сонячної панелі, однак для задачі бакалаврського проєкту вона є достатньою. Такий підхід забезпечує компроміс між простотою

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						28
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратної реалізації, кількістю датчиків, обсягом обробки даних та інформативністю отриманих результатів. Саме тому обрана схема може розглядатися як практична основа для мікроконтролерної системи моніторингу роботи окремої сонячної панелі.

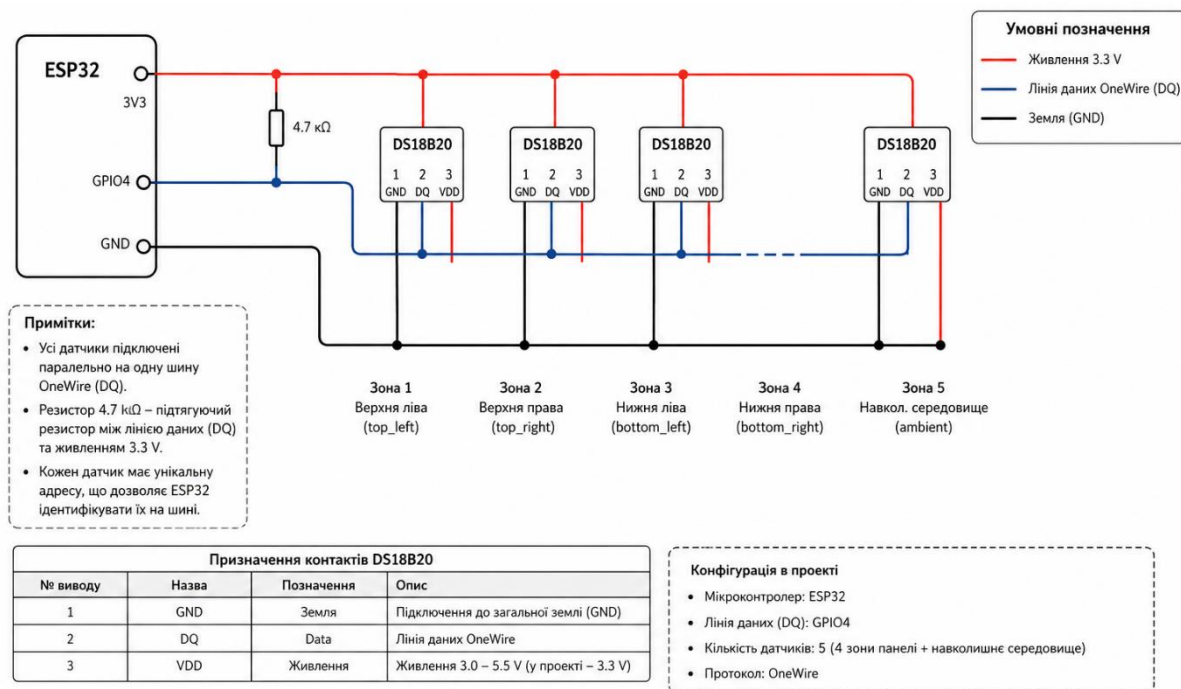


Рисунок 2.3 – Схема розміщення температурних зон на сонячній панелі

Таблиця 2.1 – Відповідність температурних зон та ідентифікаторів датчиків

№	Температурна зона	Ідентифікатор у програмі	Призначення
1	Верхня ліва частина панелі	top_left	Контроль температури верхньої лівої ділянки
2	Верхня права частина панелі	top_right	Контроль температури верхньої правої ділянки

3	Нижня ліва частина панелі	bottom_left	Контроль температури нижньої лівої ділянки
4	Нижня права частина панелі	bottom_right	Контроль температури нижньої правої ділянки
5	Навколишнє середовище	ambient	Порівняння температури панелі з температурою повітря

2.4 Алгоритм роботи системи моніторингу

Алгоритм роботи розробленої системи моніторингу побудований так, щоб вузол міг працювати автономно, забезпечувати локальний доступ через BLE та, за наявності налаштованого підключення, передавати дані через Wi-Fi на зовнішній API. Такий підхід дозволяє розділити локальне керування і мережевий моніторинг: BLE використовується для початкового доступу, перегляду стану та сервісних команд, а Wi-Fi — для передачі телеметрії у web-частину системи.

Після подачі живлення мікроконтролер ESP32 виконує ініціалізацію основних модулів системи. На цьому етапі запускаються інтерфейси обміну даними, ініціалізуються датчики DS18B20, зчитуються збережені параметри Wi-Fi та активується BLE-сервіс. Якщо в пам'яті вже є коректні облікові дані бездротової мережі, вузол намагається автоматично підключитися до неї. Якщо підключення відсутнє або параметри ще не були задані, система продовжує працювати в локальному режимі та залишається доступною через BLE.

Після завершення початкової ініціалізації система переходить до основного циклу роботи. У циклі виконується опитування температурних датчиків,

прив'язаних до відповідних зон сонячної панелі. Отримані значення використовуються для формування поточного температурного профілю панелі. Далі виконується аналіз стану: визначається наявність нормального режиму, попередження, аварійного перегріву або аномалії у вигляді локальної гарячої точки. На основі цього формується підсумковий статус вузла моніторингу.

Окремою частиною алгоритму є обробка команд користувача. Через BLE-інтерфейс можна отримувати поточні показники, переглядати статус з'єднання, передавати параметри Wi-Fi, очищати їх, ініціювати повторне підключення та вручну запускати відправлення даних на сервер. Важливо, що BLE в даній системі не використовується як канал передачі даних до API. Його призначення полягає саме у локальному сервісному доступі зі смартфона або іншого мобільного пристрою.

Якщо модуль має активне Wi-Fi-з'єднання, телеметричні дані можуть бути передані на API серверу у структурованому вигляді. Після цього вони стають доступними для відображення у web-інтерфейсі. Якщо з'єднання з мережею тимчасово відсутнє, це не зупиняє роботу самого вузла: система продовжує виконувати вимірювання, аналіз температур і локальний обмін через BLE. Таким чином забезпечується базова стійкість роботи навіть при нестабільному мережевому середовищі.

З практичної точки зору такий алгоритм є зручним для реального використання. На початковому етапі користувач може підключитися до вузла через BLE, перевірити стан системи та налаштувати параметри мережі. Після цього основний моніторинг виконується вже через Wi-Fi та web-інтерфейс, що краще підходить для постійного спостереження за станом сонячної панелі. Отже, алгоритм роботи системи поєднує простоту локального доступу,

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

автоматизований контроль температурного стану та можливість інтеграції з зовнішнім програмним середовищем. Узагальнений алгоритм роботи системи моніторингу наведено на рис. 2.4.

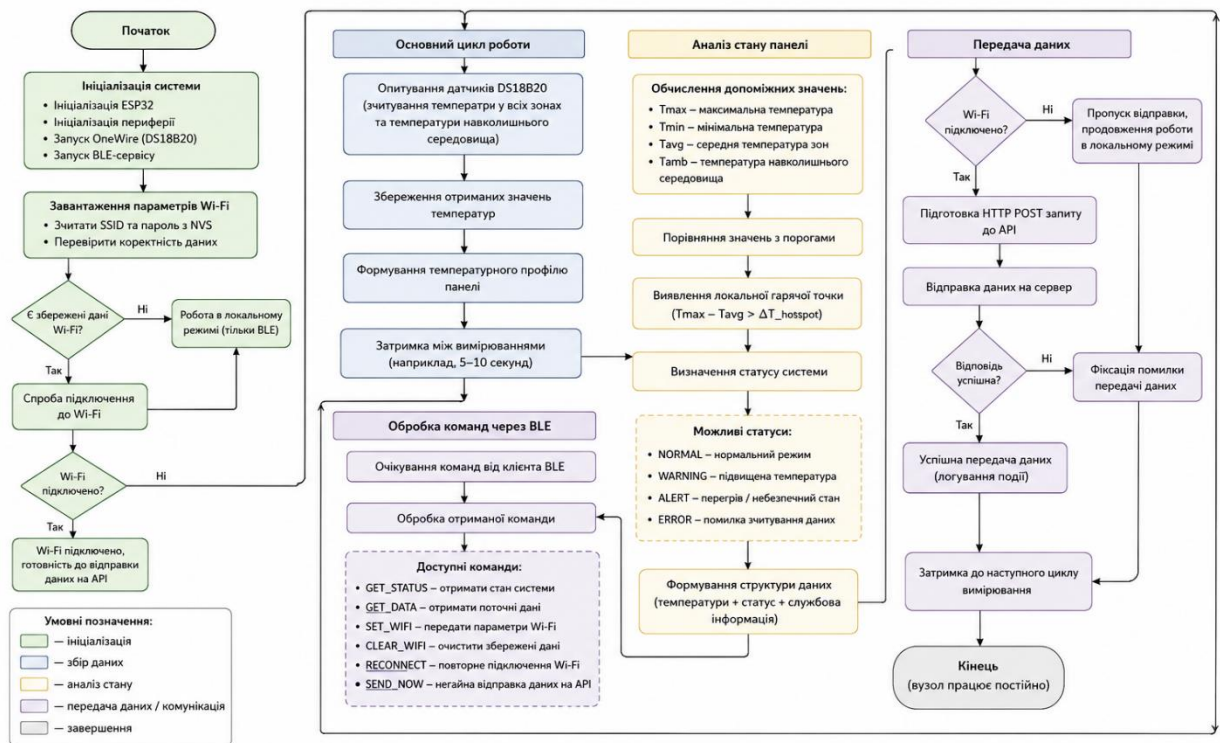


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи системи моніторингу

2.5 Розробка програмного забезпечення мікроконтролерного вузла

Програмне забезпечення мікроконтролерного вузла розроблено для збору, обробки та передавання даних про стан сонячної панелі. Як апаратну основу використано мікроконтролер ESP32, що дозволяє поєднати роботу з датчиками, локальний бездротовий доступ через BLE та передавання даних через Wi-Fi.

Програма вузла побудована за модульним принципом. Окремо реалізовано ініціалізацію системи, зчитування температурних даних з датчиків DS18B20, аналіз температурного стану панелі, BLE-обмін командами, підключення до Wi-Fi та надсилання даних до зовнішнього API.

Основні програмні модулі реалізовано з використанням бібліотек для роботи з Wi-Fi, енергонезалежною пам'яттю, температурними датчиками DS18B20, BLE та HTTP-запитами. Загальний фрагмент підключення бібліотек і оголошення основних структур наведено нижче.

```
#include <WiFi.h>
#include <Preferences.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <NimBLEDevice.h>
#include <HTTPClient.h>
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 4
#define MAX_TEMP_POINTS 8
#define PANEL_ID 1
```

```
struct TempPoint {
    DeviceAddress address;
    String label;
    float value;
    bool present;
```

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						33
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
};
```

```
struct AnalysisResult {  
    bool ambientPresent;  
    bool ambientValid;  
    bool sensorError;  
    int validPanelCount;  
    float ambientTemp;  
    float panelAvg;  
    float panelMin;  
    float panelMax;  
    String hottestLabel;  
    float hottestTemp;  
    String status;  
};
```

Наведений фрагмент показує, що програмне забезпечення побудоване навколо двох основних структур даних. Структура TempPoint використовується для збереження інформації про окрему температурну точку, а AnalysisResult — для результатів аналізу температурного стану панелі. Такий підхід дозволяє відокремити зчитування показників від їх подальшої обробки.

Такий підхід спрощує налагодження системи та подальше розширення її функцій.

Після запуску мікроконтролер виконує ініціалізацію периферії та завантажує збережені параметри мережі. Далі система періодично опитує температурні

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчики, формує поточні значення по зонах панелі та визначає її стан за заданими критеріями. Для локального доступу використовується BLE-інтерфейс, через який можна отримати службову інформацію та виконати базове налаштування. Основне передавання телеметрії у системі реалізовано через Wi-Fi і API.

Таким чином, програмне забезпечення забезпечує виконання основних функцій розробленої системи моніторингу: зчитування температурних параметрів, аналіз стану панелі, локальний сервісний доступ та передавання даних до web-інтерфейсу.

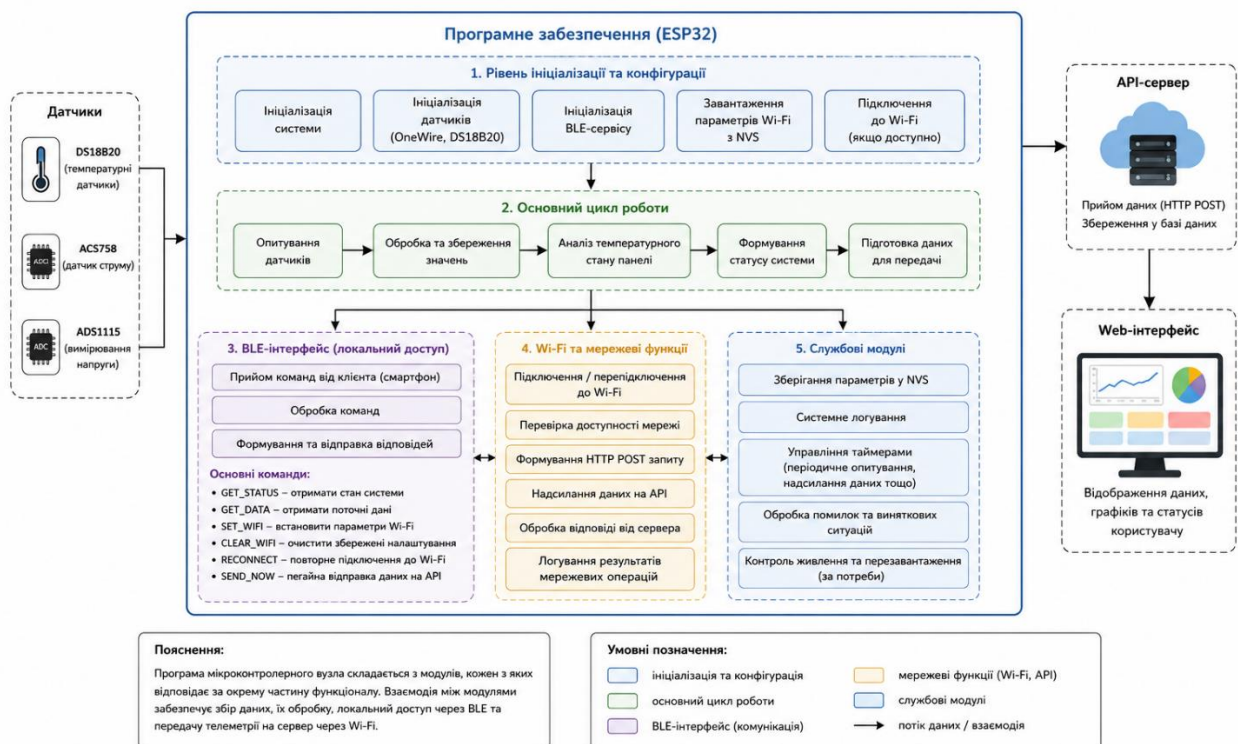


Рисунок 2.5 – Структура програмного забезпечення мікроконтролерного вузла

2.5.1 Ініціалізація та зчитування даних із температурних датчиків

У розробленій системі для контролю температурного стану сонячної панелі використано цифрові датчики DS18B20. Їх вибір обумовлений простотою підключення, достатньою точністю вимірювання та можливістю роботи кількох датчиків на одній шині OneWire. Це дозволяє організувати багатоточковий температурний контроль без значного ускладнення апаратної частини мікроконтролерного вузла.

Після запуску мікроконтролера ESP32 виконується ініціалізація шини OneWire та бібліотеки для роботи з датчиками температури. На цьому етапі система визначає наявність підключених датчиків і готує їх до подальшого опитування. У межах реалізованого прототипу використовується кілька логічних точок вимірювання: верхня ліва частина панелі, верхня права, нижня ліва, нижня права та температура навколишнього середовища. Такий підхід дає змогу не тільки отримати окремі значення температур, а й у подальшому виконувати аналіз розподілу тепла по поверхні панелі.

Зчитування температурних даних організовано циклічно. Мікроконтролер надсилає команду на вимірювання, після чого отримує значення з кожного доступного датчика. Результати зчитування зберігаються у змінних, які надалі використовуються іншими частинами програми: для формування текстового виводу, створення JSON-подібної відповіді, обчислення статусу системи та передавання даних через BLE або Wi-Fi.

Важливою частиною реалізації є перевірка коректності отриманих значень. Якщо датчик не відповідає або повертає некоректне значення, система повинна враховувати таку ситуацію як помилкову. Це потрібно для того, щоб уникнути хибної оцінки стану панелі. У такому випадку програма або пропускає некоректне значення, або фіксує помилку для подальшого відображення в статусі

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

системи. Такий підхід підвищує надійність роботи мікроконтролерного вузла в реальних умовах експлуатації.

Окремо слід зазначити, що на програмному рівні датчики пов'язані з конкретними зонами моніторингу. Це дозволяє після зчитування відразу формувати структуровані дані для аналізу. Завдяки цьому система може надалі визначати, яка саме частина панелі нагрівається сильніше, та виявляти локальні перегріву.

У результаті реалізований механізм ініціалізації та опитування температурних датчиків формує базу для всієї системи моніторингу. Саме на цьому етапі створюється первинний набір даних, який далі використовується в алгоритмах оцінки стану сонячної панелі та у засобах передавання інформації користувачу.

2.5.2 Реалізація алгоритму аналізу температурного стану панелі

Після зчитування значень з усіх температурних датчиків у програмі виконується аналіз теплового стану сонячної панелі. Основне призначення цього алгоритму полягає не лише у виведенні окремих температур, а й у визначенні загального стану панелі та виявленні можливих ознак локального перегріву.

У реалізованому варіанті аналіз базується на порівнянні температур між окремими зонами панелі, а також на зіставленні температури поверхні з температурою навколишнього середовища. Такий підхід дозволяє врахувати, що в сонячну погоду панель може бути загалом нагрітою, але це не завжди означає наявність аварійної ситуації. Більш важливою ознакою несправності є поява локальної ділянки, температура якої суттєво відрізняється від інших зон.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						37
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У програмі передбачено кілька порогових значень для оцінювання стану. Якщо температури перебувають у допустимих межах і не спостерігається значного локального відхилення, система формує статус NORMAL. Якщо одна або кілька температур наближаються до небезпечної межі, або панель демонструє підвищений нагрів відносно навколишнього середовища, система переходить у стан WARNING. У випадку значного перегріву чи вираженої гарячої точки формується статус ALERT. Якщо ж частина даних відсутня або зчитування виконується некоректно, може бути встановлений стан ERROR.

Окремо в алгоритмі реалізовано виявлення гарячої точки. Для цього визначається найгарячіша зона панелі та обчислюється різниця між її температурою і середнім або типовим значенням інших зон. Якщо ця різниця перевищує заданий поріг, програма робить висновок про наявність локального перегріву. Саме така ситуація є найбільш важливою для моніторингу, оскільки вона може свідчити про дефект окремої ділянки панелі, нерівномірне навантаження або інші небажані процеси.

Результатом роботи алгоритму є не тільки текстовий статус, а й підготовлені дані для подальшого передавання через BLE або Wi-Fi. Завдяки цьому користувач може бачити не просто набір температур, а вже готову оцінку поточного стану панелі. Це спрощує сприйняття інформації та робить систему зручнішою для практичного використання.

Таким чином, реалізований алгоритм аналізу температурного стану дозволяє перейти від простого збору даних до інтелектуальнішого контролю роботи сонячної панелі. Саме він забезпечує виявлення небезпечних режимів роботи та формує основу для подальшого інформування користувача про стан контрольованого об'єкта.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

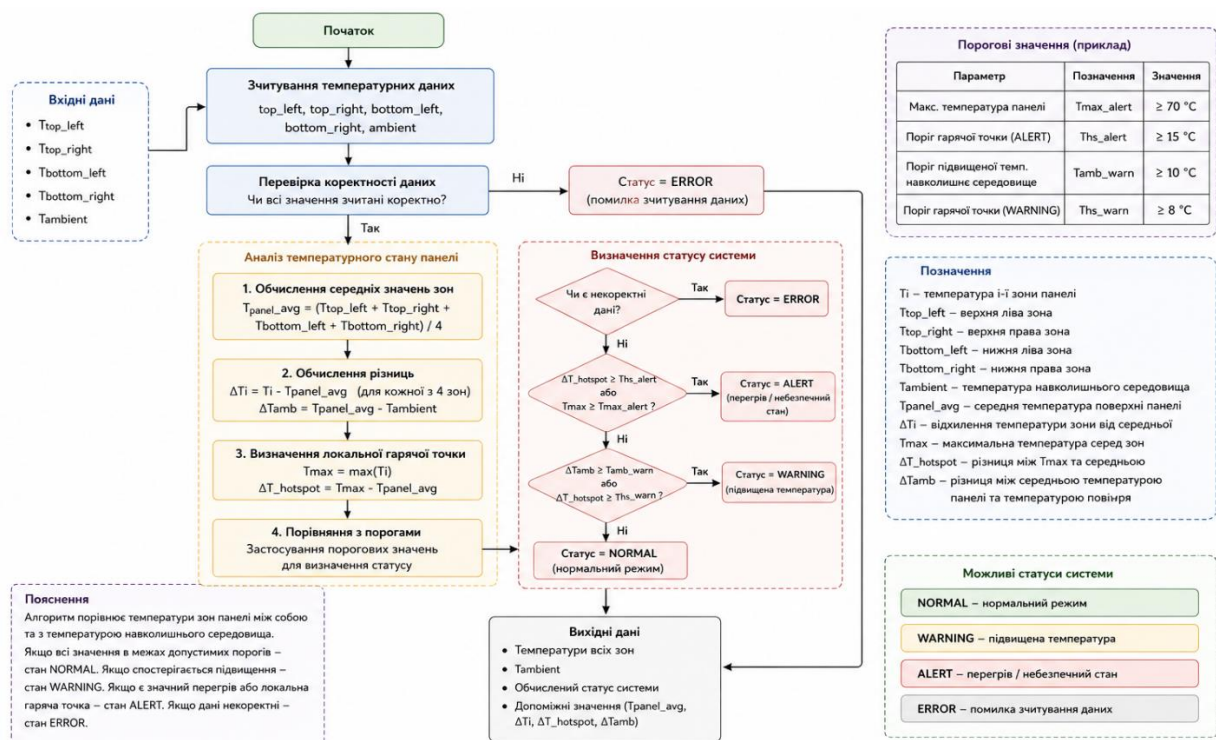


Рисунок 2.6 – Алгоритм визначення статусу температурного стану панелі

2.5.3 Реалізація BLE-інтерфейсу локального доступу

У розробленій системі інтерфейс BLE використовується як локальний сервісний канал доступу до мікроконтролерного вузла. Через нього користувач може підключитися до ESP32 зі смартфона, перевірити стан пристрою, переглянути основні параметри та виконати базові команди керування. Такий підхід дозволяє працювати з вузлом без дротового підключення та без необхідності змінювати програмний код при зміні умов експлуатації.

Через BLE у системі реалізовано набір сервісних команд. З їх допомогою можна переглядати поточний стан вузла, перевіряти статус мережевого підключення, передавати параметри Wi-Fi, очищати збережені налаштування, ініціювати повторне підключення та вручну запускати окремі службові дії. Це робить BLE зручним інструментом для первинного налаштування та обслуговування системи.

Важливо, що в межах даного проєкту BLE не використовується як основний канал постійного моніторингу. Його призначення полягає саме у локальному доступі та сервісній взаємодії з пристроєм. Такий підхід є практично доцільним, оскільки дозволяє зберегти простоту інтерфейсу та уникнути необхідності перепрошивки мікроконтролера при зміні параметрів мережі або налаштувань підключення.

Таким чином, BLE-інтерфейс у розробленій системі виконує функцію локального керування та сервісного доступу до вузла моніторингу. Його використання спрощує налаштування пристрою та підвищує зручність експлуатації в реальних умовах.

Основні сервісні команди, які використовуються для локальної взаємодії з мікроконтролерним вузлом через BLE-інтерфейс, наведено в табл. 2.2.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Основні сервісні команди BLE-інтерфейсу

№	Команда	Призначення
1	HELP	Виведення списку доступних команд та короткої довідки щодо їх використання
2	GET	Отримання основних поточних даних вузла у зручному для користувача вигляді
3	JSON	Виведення поточних даних у структурованому форматі, придатному для подальшої обробки
4	STATUS	Перевірка стану вузла, зокрема статусу Wi-Fi-підключення та наявності збережених параметрів мережі
5	SCAN_TEMP	Перевірка підключених температурних датчиків DS18B20
6	MAP	Виведення відповідності температурних датчиків і контрольних зон панелі
7	WIFI:SSID,Password	Передавання параметрів Wi-Fi мережі для підключення вузла
8	RECONNECT	Повторна спроба підключення до Wi-Fi з використанням збережених параметрів
9	DISCONNECT_WIFI	Відключення від поточної Wi-Fi мережі без видалення збережених параметрів
10	CLEAR_WIFI	Видалення збережених параметрів Wi-Fi з пам'яті мікроконтролера
11	SEND_API	Ручний запуск передавання сформованої телеметрії на серверний API

2.5.4 Реалізація Wi-Fi-підключення та передавання даних на API

У розробленій системі Wi-Fi використовується як основний канал передавання телеметричних даних від мікроконтролерного вузла до зовнішньої програмної частини. Якщо BLE у даному проєкті виконує роль локального сервісного інтерфейсу, то Wi-Fi забезпечує інтеграцію вузла з API та web-інтерфейсом моніторингу. Такий розподіл функцій дозволив уникнути перевантаження Bluetooth-каналу та організувати більш зручний спосіб віддаленого перегляду даних.

Одним із важливих результатів розробки стало те, що параметри бездротової мережі більше не потрібно задавати безпосередньо в програмному коді мікроконтролера. У попередньому варіанті для зміни SSID або пароля потрібно було редагувати програму та повторно прошивати ESP32. У вдосконаленому варіанті ці параметри передаються користувачем у процесі роботи пристрою через сервісний інтерфейс. Це суттєво підвищує практичність системи, оскільки дозволяє виконувати налаштування без повторної компіляції та перепрошивки.

Після отримання параметрів мережі мікроконтролер виконує спробу підключення до Wi-Fi. У разі успішного з'єднання введені дані зберігаються у внутрішній енергонезалежній пам'яті ESP32. Завдяки цьому після наступного перезавантаження пристрій може автоматично використовувати вже записані параметри та відновлювати мережеве підключення без повторного ручного введення. Якщо підключення не вдалося, система продовжує працювати локально та залишається доступною для повторного налаштування.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

```

void saveWiFiConfig(const String& ssid, const String& password) {
  prefs.begin("solarcfg", false);
  prefs.putString("ssid", ssid);
  prefs.putString("pass", password);
  prefs.end();
  wifiSSID = ssid;
  wifiPassword = password;
  wifiConfigured = true;
}

```

Збереження параметрів Wi-Fi виконується у внутрішній енергонезалежній пам'яті ESP32. Завдяки цьому після перезапуску пристрій може повторно використати раніше введені SSID та пароль без перепрошивки програми.

Після встановлення з'єднання через Wi-Fi вузол отримує можливість надсилати телеметрію на серверний API. До складу передаваних даних входять ідентифікатор панелі, температури окремих зон, температура навколишнього середовища та обчислений статус стану панелі. Така структура є достатньою для відображення поточного стану об'єкта у web-інтерфейсі. У подальшому до цього набору можуть бути додані також значення струму та напруги після завершення відповідної частини апаратної реалізації.

Передавання даних на API може виконуватися як після успішного підключення до мережі, так і за окремою командою користувача. Це зручно під час налагодження, оскільки дозволяє перевірити працездатність мережевої частини системи та правильність формування телеметрії. Якщо в певний момент Wi-Fi-з'єднання відсутнє, це не призводить до зупинки всієї системи: мікроконтролер

продовжує опитувати датчики, аналізувати температурний стан панелі та підтримувати локальний доступ через BLE.

```
String json = "{";
json += "\"panelId\":\"" + String(PANEL_ID);
json += "\",\"top_left\":\"" + String(topLeft, 2);
json += "\",\"top_right\":\"" + String(topRight, 2);
json += "\",\"bottom_left\":\"" + String(bottomLeft, 2);
json += "\",\"bottom_right\":\"" + String(bottomRight, 2);
json += "\",\"ambient\":\"" + String(ambient, 2);
json += "\",\"voltage\":\"" + String(voltage, 2);
json += "\",\"current\":\"" + String(current, 2);
json += "\",\"thermal_status\":\"" + analysis.status + "\"";
json += "\",\"mac\":\"" + mac + "\"";
json += "\",\"loc\":\"Panel " + String(PANEL_ID) + "\"";
json += "\",\"uptime\":\"" + String(millis() / 1000);
json += "\",\"energy\":\"0.00\"";
json += "}";
```

У поточному варіанті прототипу температурні значення формуються на основі показників датчиків DS18B20, а поля напруги та струму передаються як підготовлені програмні значення. Це зроблено для перевірки структури телеметрії, роботи API та web-відображення без підключення реальної сонячної панелі й силової вимірювальної частини. Такий підхід дозволяє протестувати програмну і мережеву частини системи, залишаючи можливість подальшого підключення реальних датчиків напруги та струму.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

HTTPClient http;
http.begin(apiUrl.c_str());
http.addHeader("Content-Type", "application/json");
int httpCode = http.POST(json);
String response = http.getString();
emitLine("API|POST:" + String(httpCode));
http.end();

```

Передавання телеметрії виконується HTTP POST-запитом на адресу серверного API. Після виконання запиту система виводить код відповіді, що дозволяє під час тестування перевірити, чи було успішно доставлено дані на сервер.

Таким чином, у межах дипломного проєкту було реалізовано більш практичну схему роботи з мережею: налаштування Wi-Fi виконується без перепрошивки пристрою, параметри зберігаються у пам'яті мікроконтролера, а передавання телеметрії на API забезпечує подальше відображення даних у web-інтерфейсі. Саме ця частина зробила систему ближчою до реального використання, оскільки дозволила перейти від демонстраційного варіанта з жорстко заданими параметрами до повноціннішого експлуатаційного підходу.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

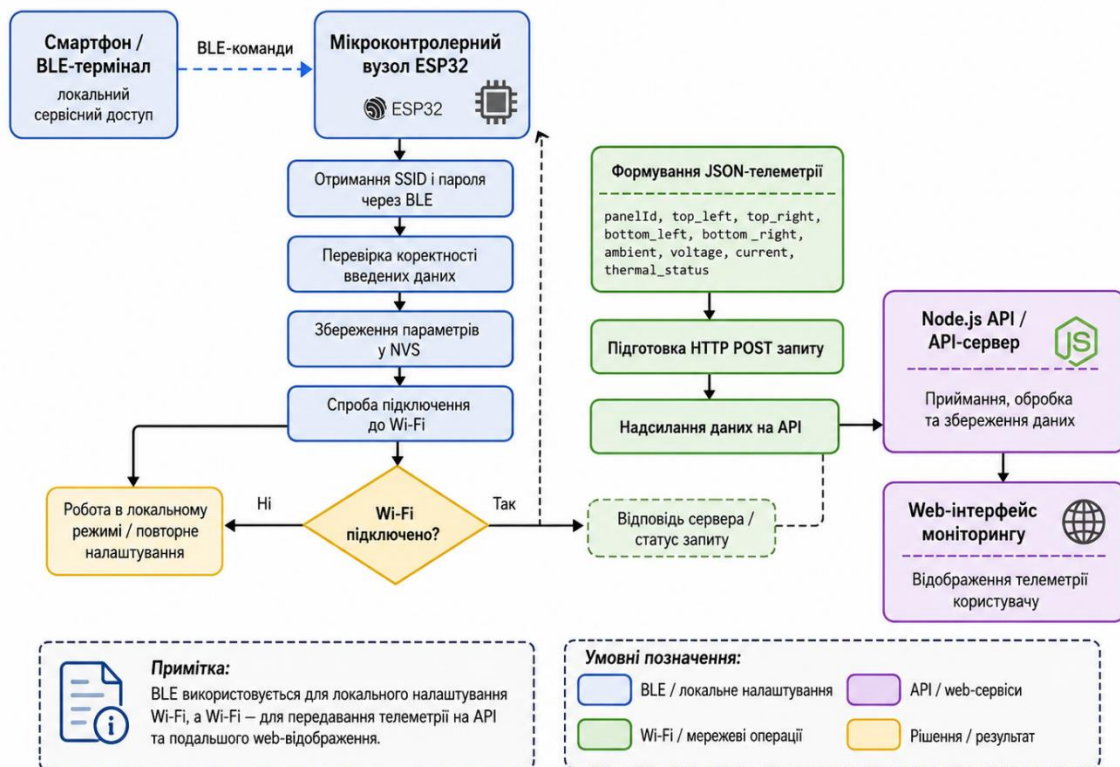


Рисунок 2.7 – Схема налаштування Wi-Fi та передавання телеметрії на API

Таблиця 2.3 – Основні команди для налаштування мережі та передавання даних

№	Команда	Призначення
1	STATUS	Перевірка поточного стану Wi-Fi-підключення, наявності збережених параметрів мережі та IP-адреси вузла
2	WIFI:SSID,Password	Передавання назви Wi-Fi мережі та пароля для підключення мікроконтролерного вузла

3	RECONNECT	Повторна спроба підключення до Wi-Fi з використанням раніше збережених параметрів
4	DISCONNECT_WIFI	Відключення від поточної Wi-Fi мережі без видалення збережених параметрів
5	CLEAR_WIFI	Очищення збережених параметрів Wi-Fi у пам'яті мікроконтролера
6	SEND_API	Ручний запуск формування телеметрії та її передавання на серверний API
7	JSON	Перегляд сформованих даних у структурованому форматі перед передаванням на сервер

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕСТУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ

3.1 Умови та методика тестування системи

Тестування розробленої мікроконтролерної системи моніторингу сонячної панелі проводилось з метою перевірки працездатності основних функціональних частин прототипу: мікроконтролерного вузла на базі ESP32, температурного моніторингу, BLE-інтерфейсу локального доступу, Wi-Fi-підключення, передавання телеметрії на API та відображення даних у web-інтерфейсі.

У межах даного дипломного проєкту система розглядається як демонстраційний прототип вузла моніторингу однієї сонячної панелі. Такий вузол повинен виконувати локальне зчитування параметрів, первинний аналіз отриманих даних, надавати користувачу сервісний доступ через Bluetooth Low Energy та передавати телеметрію через Wi-Fi на серверну частину.

Особливістю тестування було те, що не всі елементи системи перевірялись в однаковому режимі. Частина функцій була протестована на реальному мікроконтролерному обладнанні, а частина — за допомогою програмної імітації. Реально перевірялась робота плати ESP32, запуск програмного забезпечення, BLE-з'єднання зі смартфоном, приймання команд, налаштування Wi-Fi, підключення до локальної мережі та передавання даних на сервер. Водночас підключення до реальної сонячної панелі та фізичне вимірювання напруги й струму в межах цього етапу не виконувались. Відповідні значення використовувались як тестові поля телеметрії.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такий підхід дозволив перевірити працездатність архітектури системи без необхідності повного апаратного стенда із сонячною панеллю. При цьому структура програмного забезпечення та формат передавання даних залишаються готовими до подальшого підключення реальних засобів вимірювання напруги й струму.

Приклад демонстраційного підключення прототипу наведено на рис. 3.1.

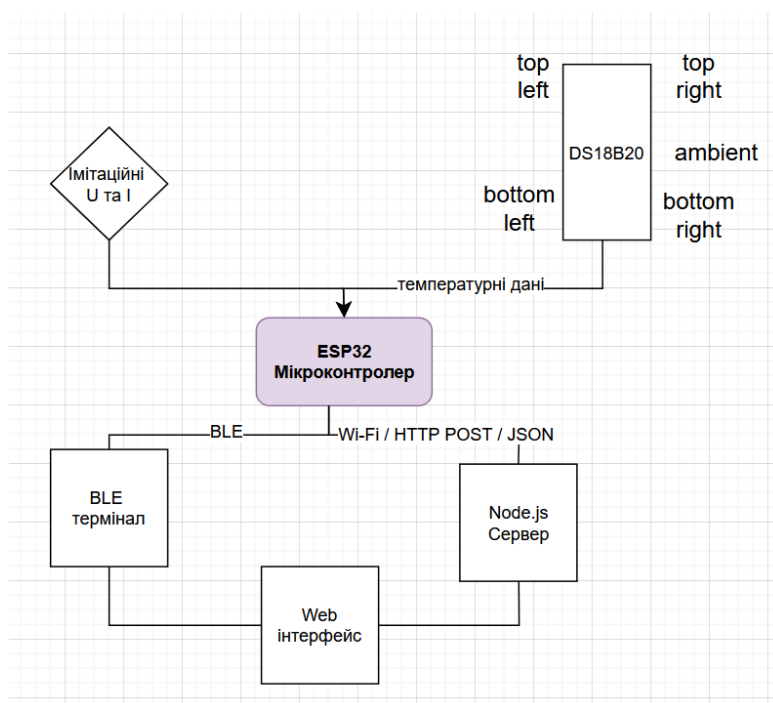


Рисунок 3.1 – Демонстраційне підключення прототипу системи на базі ESP32

На рис. 3.1 показано схематично мікроконтролерний вузол, який використовувався для перевірки роботи BLE-інтерфейсу, Wi-Fi-підключення та передавання телеметрії. Наявність такого прототипу підтверджує, що система

перевірялась не лише як програмна модель, а і як реальний мікроконтролерний пристрій.

Для проведення тестування використовувались такі програмні та апаратні засоби: середовище Arduino IDE, плата ESP32, BLE-термінальний застосунок на смартфоні, локальний сервер Node.js для приймання телеметрії, web-сторінка для відображення даних, а також програмні сценарії для перевірки температурних режимів і тестових значень електричних параметрів.

Основні напрями тестування наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні напрями тестування системи

№	Напря́м тестування	Що перевірялось	Спосіб перевірки
1	Мікроконтролерний вузол	Запуск ESP32, ініціалізація модулів, виконання програми	Реальний прототип
2	Температурний моніторинг	Зони панелі, аналіз температур, статуси NORMAL/WARNING/ALERT/ERROR	Показники датчиків DS18B20 та контрольні тестові значення
3	BLE-інтерфейс	Підключення зі смартфона, команди, службове меню	Реальний ESP32 + BLE-термінал

4	Wi-Fi	Введення параметрів мережі, підключення, збереження налаштувань	Реальний ESP32
5	API	Формування JSON-повідомлення та HTTP POST-запит	ESP32 + локальний Node.js сервер
6	Web-інтерфейс	Відображення отриманої телеметрії	Локальна web-сторінка
7	Напруга і струм	Перевірка структури телеметрії для електричних параметрів	Імітаційні значення

Як видно з табл. 3.1, тестування охоплювало як реально реалізовані функції, так і ті частини системи, які були підготовлені до подальшого апаратного розширення. Такий формат перевірки є доцільним для прототипу, оскільки дозволяє оцінити працездатність основної логіки без повного підключення до сонячної панелі.

Загальну послідовність тестування системи наведено на рис. 3.2.

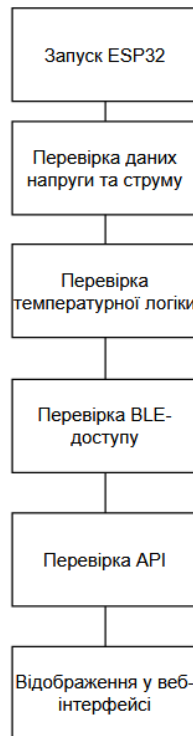


Рисунок 3.2 – Послідовність тестування системи моніторингу

Під час тестування спочатку перевірялась базова працездатність ESP32 та програмної логіки. Далі оцінювалась робота температурної підсистеми й алгоритму аналізу стану панелі. Після цього перевірявся BLE-інтерфейс локального доступу, налаштування Wi-Fi, передавання телеметрії на API та її відображення у web-інтерфейсі.

Окрему увагу було приділено сценаріям, які відповідають можливим режимам роботи системи. До них належать нормальний температурний стан, локальний перегрів однієї зони, загальне підвищення температури, помилка датчика, відсутність Wi-Fi-з'єднання, успішне підключення до мережі та ручне надсилення телеметрії на сервер.

Таким чином, методика тестування була побудована так, щоб перевірити не лише окремі функції, а й повний ланцюг роботи системи: ESP32 - обробка даних - BLE - Wi-Fi - API - web-інтерфейс. Результати перевірки окремих підсистем наведено у наступних підрозділах.

3.2 Тестування температурного моніторингу та алгоритму аналізу

Одним із ключових елементів розробленої системи є підсистема температурного моніторингу, оскільки саме вона забезпечує первинну оцінку теплового стану сонячної панелі та дозволяє виявляти можливі ознаки локального перегріву. У межах даного дипломного проєкту температурна частина є основною функціональною складовою прототипу, тому її перевірка мала важливе значення для оцінки працездатності всієї системи.

Основною задачею тестування було підтвердження того, що мікроконтролерний вузол здатний отримувати температурні значення з кількох контрольних точок, обробляти їх відповідно до закладеної логіки та формувати підсумковий статус стану панелі. При цьому перевірялась не лише можливість виведення окремих температур, а й робота алгоритму аналізу: визначення найгарячішої зони, порівняння температур між зонами, врахування температури навколишнього середовища та формування статусів NORMAL, WARNING, ALERT або ERROR.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

У розробленій системі передбачено п'ять температурних точок: top_left, top_right, bottom_left, bottom_right та ambient. Перші чотири точки відповідають умовним зонам поверхні сонячної панелі, а точка ambient використовується для контролю температури навколишнього середовища. Такий поділ дозволяє оцінювати не лише загальний рівень нагрівання, а й нерівномірність температурного розподілу.

Схему контрольних температурних зон наведено на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Схема розташування контрольних температурних зон сонячної панелі

На рис. 3.3 показано умовний поділ панелі на чотири зони контролю та окрему точку вимірювання температури навколишнього середовища. Така схема використовується як основа для алгоритму аналізу, оскільки дозволяє порівнювати між собою різні ділянки панелі та визначати можливі локальні відхилення.

У межах тестування температурна підсистема перевірялась у режимі демонстраційного прототипу. Оскільки повноцінне підключення до реальної сонячної панелі не виконувалось, основна увага приділялась правильності програмної логіки та реакції системи на різні набори температурних значень. Для цього могли використовуватись як дані з підключених температурних датчиків, так і контрольовані імітаційні значення, які дозволяють відтворити різні режими роботи системи.

Такий підхід є доцільним для перевірки алгоритму, оскільки дає можливість змодельовати ситуації, які в реальних умовах складно або небезпечно створювати спеціально. Наприклад, можна перевірити реакцію системи на локальний перегрів окремої зони, загальне підвищення температури всієї панелі або помилку одного з датчиків без необхідності фізично нагрівати реальний фотоелектричний модуль.

Для перевірки роботи температурного моніторингу було сформовано кілька тестових сценаріїв. Вони охоплюють як нормальний режим, так і потенційно

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проблемні стани, які система повинна виявляти під час експлуатації. Основні сценарії наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Сценарії перевірки температурного моніторингу та алгоритму аналізу

№	Сценарій тестування	Умови перевірки	Очікувана реакція системи
1	Нормальний температурний стан	Температури зон близькі між собою, перевищення порогів відсутнє	Формування статусу NORMAL
2	Локальний перегрів	Одна зона має значно вищу температуру порівняно з іншими зонами	Виявлення найгарячішої зони, формування WARNING або ALERT
3	Загальний нагрів панелі	Усі зони мають підвищену температуру відносно ambient	Оцінка загального перегріву, формування WARNING або ALERT

4	Помилка датчика	Один із датчиків відсутній або повертає невалідне значення	Фіксація проблеми вимірювання, формування ERROR або попередження
5	Відсутність критичних відхилень	Температури залишаються у допустимих межах	Відсутність аварійної реакції, стабільний NORMAL

У першому сценарії перевірявся нормальний режим роботи. Для нього характерні близькі значення температур у всіх контрольних зонах та відсутність значного перевищення відносно температури навколишнього середовища. У такому випадку система повинна формувати статус NORMAL, що означає відсутність ознак небезпечного перегріву.

Другий сценарій був пов'язаний із локальним перегрівом. У цьому випадку одна із зон отримувала значно вищу температуру порівняно з іншими. Саме така ситуація є найбільш важливою для даної роботи, оскільки локальна гаряча точка може свідчити про потенційно небезпечний режим роботи панелі. Алгоритм повинен визначити найгарячішу зону, порівняти її з іншими ділянками та сформувати попереджувальний або аварійний статус.

Третій сценарій передбачав загальне підвищення температури всіх зон. Така ситуація може виникати в умовах високої температури навколишнього середовища або інтенсивного сонячного випромінювання. На відміну від

локального перегріву, тут важливо оцінити не лише абсолютні значення температур, а й співвідношення між середньою температурою панелі та температурою ambient. Це дозволяє відрізнити рівномірний нагрів від локальної аномалії.

Окремо перевірялась реакція системи на помилки вимірювання. Якщо датчик не відповідає або повертає невалідне значення, такі дані не повинні використовуватись як коректні. У цьому випадку система має зафіксувати проблему та відобразити її у підсумковому статусі. Це важливо для практичного використання, оскільки несправність датчика також є подією, яка потребує уваги користувача.

У процесі роботи алгоритм виконує послідовну обробку отриманих температурних значень. Спочатку перевіряється наявність і коректність даних, після чого визначаються мінімальна, максимальна та середня температура панелі. Далі обчислюється різниця між найгарячішою зоною та іншими зонами, а також різниця між температурою панелі та температурою навколишнього середовища. На основі цих умов формується загальний статус системи.

Приклад виведення температурних даних і сформованого статусу наведено на рис. 3.4.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						58
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

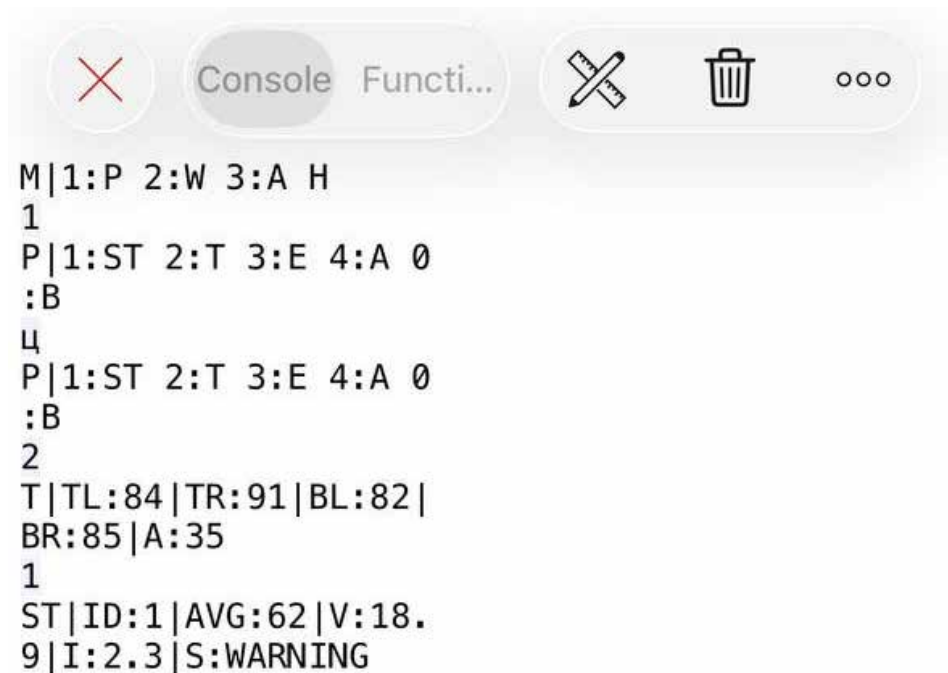


Рисунок 3.4 – Приклад виведення температурних даних і статусу системи

Результати тестування показали, що температурна підсистема здатна виконувати не лише зчитування або приймання температурних значень, а й первинний аналіз стану панелі безпосередньо на рівні мікроконтролера. Це дозволяє формувати узагальнену оцінку роботи вузла ще до передавання даних через Wi-Fi або їх відображення у web-інтерфейсі.

Таким чином, тестування температурного моніторингу підтвердило працездатність основної логіки системи. Підсистема забезпечує багатоточковий контроль температури, підтримує аналіз розподілу нагріву по зонах, дозволяє виявляти локальний перегрів, враховує температуру навколишнього середовища

та формує зрозумілий підсумковий статус. Це підтверджує придатність розробленого підходу для використання у складі прототипу системи моніторингу сонячної панелі.

3.3 Тестування BLE-інтерфейсу локального доступу

Окремим етапом тестування розробленої системи була перевірка Bluetooth Low Energy інтерфейсу локального доступу. У межах даного проєкту BLE використовується не як основний канал постійного моніторингу, а як сервісний інтерфейс для швидкого підключення до мікроконтролерного вузла, перегляду базового стану, виконання команд і налаштування Wi-Fi.

Необхідність тестування BLE-частини пояснюється тим, що саме цей інтерфейс забезпечує локальну взаємодію користувача з пристроєм без дротового підключення до комп'ютера. За допомогою смартфона користувач може підключитися до ESP32, перевірити доступність вузла, отримати короткий статус, передати параметри мережі та виконати окремі сервісні дії. Це робить BLE важливою частиною практичного використання системи.

У розробленому прототипі BLE реалізовано у вигляді UART-подібного текстового інтерфейсу. Такий формат передбачає, що користувач надсилає команди у текстовому вигляді, а мікроконтролер повертає текстову відповідь. Обраний підхід не потребує створення окремого мобільного застосунку та дозволяє працювати з пристроєм через звичайний BLE-термінал на смартфоні.

Під час тестування перевірялась можливість виявлення пристрою смартфоном, встановлення BLE-з'єднання, передавання команд, отримання відповідей від

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ESP32 та виконання службових функцій. Особлива увага приділялась тому, щоб BLE-інтерфейс залишався простим і стабільним, оскільки його призначення полягає саме у сервісному доступі, а не у повноцінному відображенні всієї телеметрії.

Приклад підключення до вузла через BLE-термінал наведено на рис. 3.5.

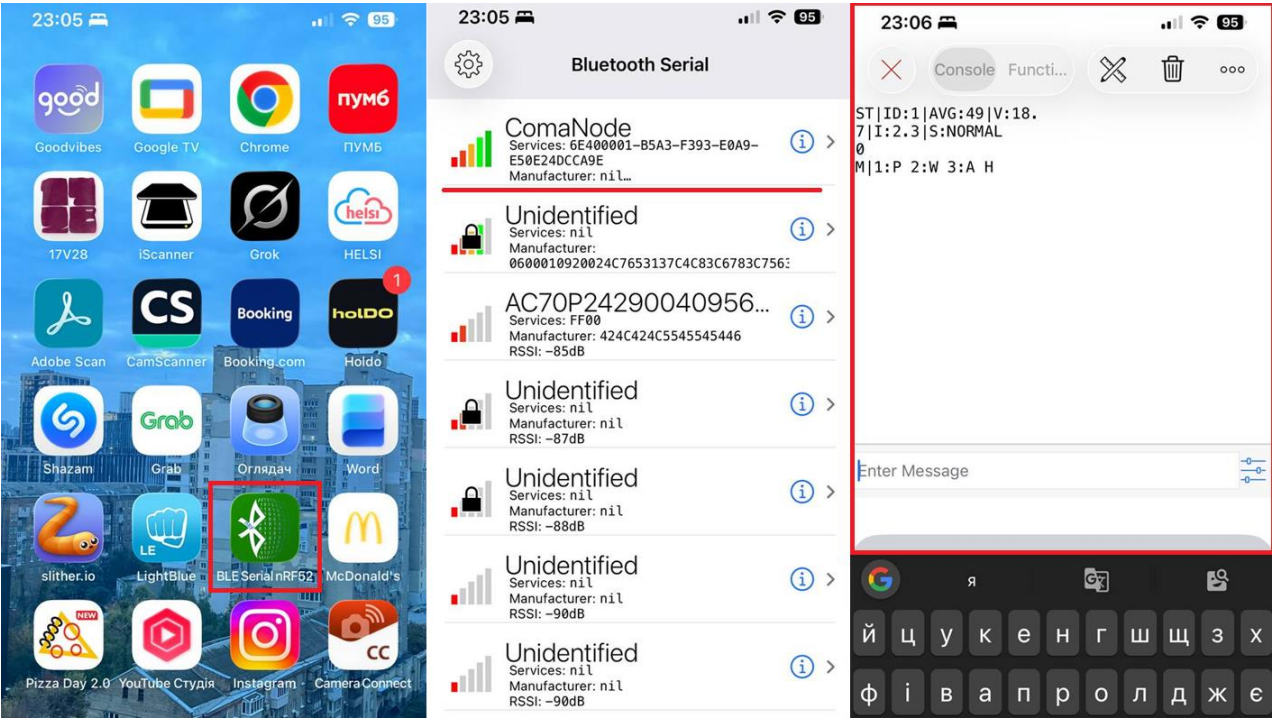


Рисунок 3.5 – Підключення до вузла моніторингу через BLE-термінал на смартфоні

Після встановлення з’єднання перевірялась робота основних команд. До них належали команди перевірки доступності пристрою, перегляду короткої довідки або меню, отримання поточного статусу, перегляду температурних даних,

перевірки параметрів мережі та виконання службових дій. Окремо перевірялась можливість запуску передавання телеметрії на API за командою користувача.

Приклад роботи текстового меню та службових команд BLE-інтерфейсу наведено на рис. 3.6.

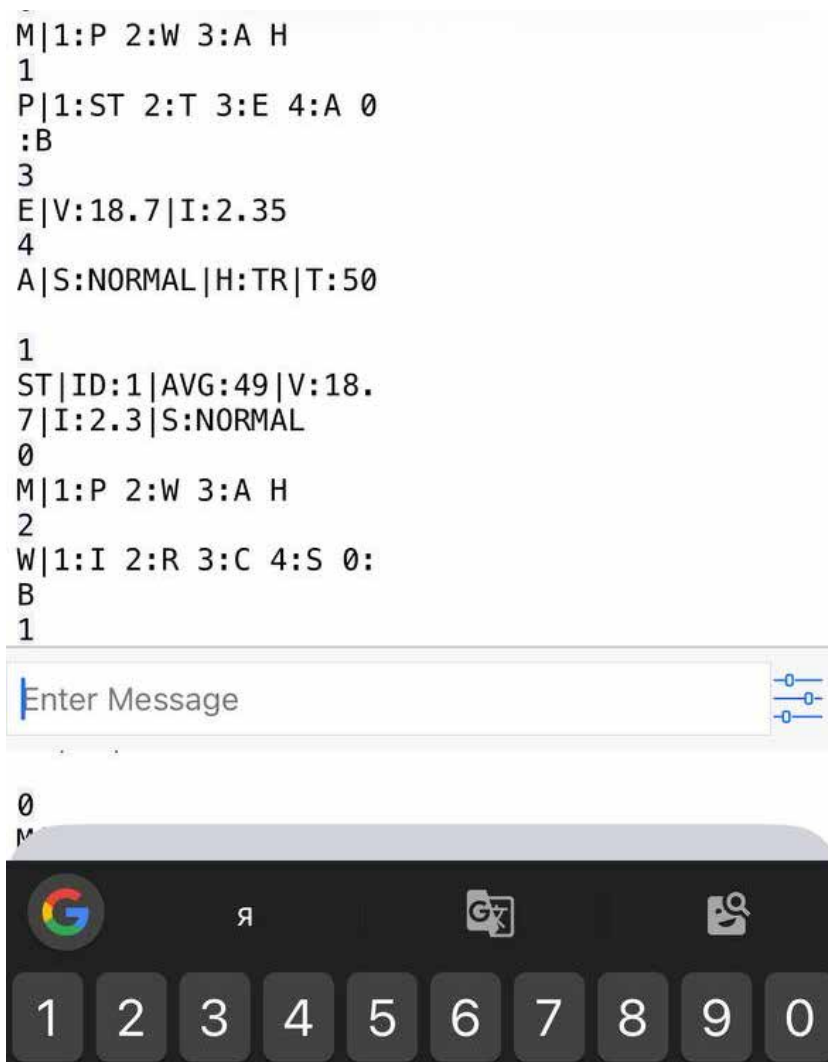


Рисунок 3.6 – Приклад головного меню та службових команд BLE-інтерфейсу

Важливою частиною тестування була перевірка налаштування Wi-Fi через BLE. У цьому сценарії користувач передає параметри бездротової мережі без необхідності редагувати програмний код і повторно прошивати ESP32. Після отримання параметрів вузол виконує спробу підключення до мережі та, у разі успіху, зберігає їх у внутрішній пам'яті мікроконтролера для подальшого використання.

Приклад налаштування Wi-Fi через BLE наведено на рис. 3.7.

```

+
64W|CFG|Lasagna(hi
niggies)|OK|192.168
.0.164
3
WF|CLEARED
0
M|1:P 2:W 3:A H
2
W|1:I 2:R 3:C 4:S 0:
B
2
WF|NO_SAVED
4
WS|SSID? 0:B
Lasagna(hi niggies)
WS|PASS? 0:B
A91S92Q93
W|1:I 2:R 3:C 4:S 0:
B
1
64

```

Рисунок 3.7 – Приклад налаштування Wi-Fi через BLE-інтерфейс

Результати перевірки основних BLE-команд і сервісних функцій наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати перевірки основних BLE-команд та сервісних функцій

№	Функція або команда	Що перевірялось	Результат перевірки
1	Підключення до BLE-пристрою	Виявлення ESP32 смартфоном і встановлення з'єднання	Підключення виконується
2	Команда PING	Перевірка доступності вузла	Вузол повертає відповідь
3	Команда меню або довідки	Виведення доступних команд	Меню відображається
4	Команда статусу	Отримання короткого стану системи	Статус повертається
5	Запит температурних даних	Передавання поточних температурних значень	Дані відображаються
6	Налаштування Wi-Fi	Передавання SSID і пароля через BLE	Параметри приймаються

7	Повторне підключення до Wi-Fi	Перевірка використання збережених параметрів	Підключення виконується за наявності мережі
8	Очищення Wi-Fi налаштувань	Видалення збережених параметрів	Налаштування очищуються
9	Команда SEND_API	Ручний запуск передавання телеметрії	Команда виконується за наявності Wi-Fi

Як видно з табл. 3.3, BLE-інтерфейс забезпечує виконання основних сервісних функцій, необхідних для локального обслуговування вузла. Найважливішим результатом є можливість налаштування Wi-Fi без зміни програмного коду, оскільки саме це робить прототип зручнішим для практичного використання.

У процесі тестування було також враховано обмеження BLE-терміналів на мобільних пристроях. Великі текстові повідомлення, довгі меню або надто розгорнуті відповіді можуть відображатися незручно, фрагментуватися або погіршувати сприйняття інформації. Тому у фінальній логіці системи BLE використовується для коротких команд і сервісних операцій, а не для повноцінного постійного моніторингу.

Такий результат підтвердив правильність обраної архітектури: BLE використовується як локальний канал доступу та налаштування, а основний моніторинг переноситься на Wi-Fi, API та web-інтерфейс. Це дозволяє не

перевантажувати Bluetooth-канал і водночас зберегти зручну можливість первинної конфігурації пристрою.

Окремо слід зазначити, що повноцінну перевірку BLE доцільно виконувати саме на реальному ESP32, оскільки емуляційні середовища не завжди коректно відтворюють поведінку Bluetooth Low Energy. У межах тестування використання реального мікроконтролера дало змогу перевірити фактичне підключення зі смартфона та практичну роботу сервісного інтерфейсу.

Отже, результати тестування підтвердили працездатність BLE-інтерфейсу локального доступу. Він забезпечує підключення до вузла зі смартфона, приймання й обробку команд, перегляд базового стану системи, налаштування Wi-Fi та запуск окремих службових дій. У межах розробленої архітектури BLE-частина виконує своє призначення і є придатною для використання як сервісний канал взаємодії з мікроконтролерним вузлом.

3.4 Тестування Wi-Fi, API та web-відображення

Наступним етапом тестування була перевірка мережевої частини системи, яка відповідає за передавання телеметрії від мікроконтролерного вузла до серверної частини та подальше відображення даних у web-інтерфейсі. На відміну від BLE, який у розробленій системі використовується як локальний сервісний канал, Wi-Fi виконує роль основного каналу передавання даних для моніторингу.

Метою цього етапу було підтвердити, що ESP32 може підключатися до локальної бездротової мережі, зберігати параметри підключення, формувати телеметричне

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						66
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повідомлення, надсилати його на API та забезпечувати подальше відображення інформації у web-частині системи.

У межах тестування перевірялась не робота з реальною сонячною панеллю, а саме працездатність мережевого контуру системи. Температурні параметри передавались як частина логіки моніторингу, а значення напруги та струму використовувались як імітаційні поля телеметрії. Такий підхід дозволив перевірити структуру передавання даних і готовність системи до подальшого підключення реальних вимірювальних компонентів.

Першим кроком була перевірка підключення ESP32 до Wi-Fi. Параметри мережі передавались через BLE-інтерфейс, після чого мікроконтролер виконував спробу підключення до точки доступу. У разі успішного з'єднання ESP32 отримувала локальну IP-адресу, що підтверджувало можливість подальшого мережевого обміну.

Приклад підключення вузла до Wi-Fi наведено на рис. 3.8.

```
M|1:P 2:W 3:A H
W
W|CFG|Lasagna(hi niggies)|OK|192.168.0.164
M|1:P 2:W 3:A H
W|1:I 2:R 3:C 4:S 0:B
W|CFG|Lasagna(hi niggies)|OK|192.168.0.164
```

Рисунок 3.8 – Підключення вузла до мережі Wi-Fi та отримання локальної IP-адреси

Окремо перевірялась логіка збереження параметрів Wi-Fi у внутрішній пам'яті ESP32. Після успішного введення SSID та пароля вузол зберігав ці дані та міг використовувати їх для повторного підключення після перезапуску. Це важливо для практичного використання системи, оскільки користувачу не потрібно повторно вводити параметри мережі при кожному запуску пристрою.

Після встановлення Wi-Fi-з'єднання перевірялось передавання телеметрії на серверний застосунок Node.js. Для цього використовувався HTTP POST-запит до API, в якому передавалось JSON-повідомлення з даними вузла. До складу телеметрії входили ідентифікатор вузла, температури зон, температура навколишнього середовища, статус системи, а також тестові значення напруги та струму.

```
const express = require("express");
const cors = require("cors");
const app = express();
const PORT = 3000;
app.use(cors());
app.use(express.json());
let lastTelemetry = {
  panelId: 1,
  top_left: 52.4,
  top_right: 55.1,
  bottom_left: 51.8,
  bottom_right: 52.0,
```

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

```

    ambient: 34.0,
    voltage: 18.7,
    current: 2.35,
    thermal_status: "NORMAL"
  };
  app.get("/api/telemetry", (req, res) => {
    res.json(lastTelemetry);
  });
  app.post("/api/nodes/telemetry", (req, res) => {
    const body = req.body;
    lastTelemetry = {
      panelId: Number(body.panelId ?? lastTelemetry.panelId),
      top_left: Number(body.top_left ?? lastTelemetry.top_left),
      top_right: Number(body.top_right ?? lastTelemetry.top_right),
      bottom_left: Number(body.bottom_left ?? lastTelemetry.bottom_left),
      bottom_right: Number(body.bottom_right ?? lastTelemetry.bottom_right),
      ambient: Number(body.ambient ?? lastTelemetry.ambient),
      voltage: Number(body.voltage ?? lastTelemetry.voltage),
      current: Number(body.current ?? lastTelemetry.current),
      thermal_status: String(body.thermal_status ?? lastTelemetry.thermal_status)
    };
    res.json({
      ok: true,
      saved: lastTelemetry
    });
  });
});

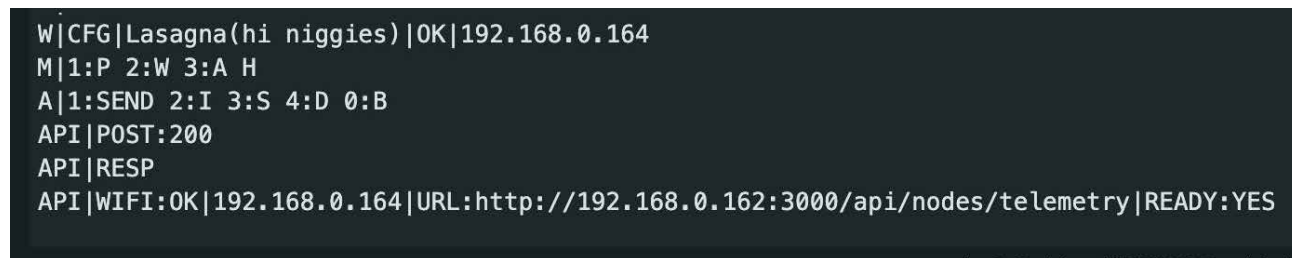
```

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

```
app.listen(PORT, () => {
  console.log(`Solar API listening on http://localhost:${PORT}`);
});
```

У наведеному фрагменті реалізовано два основні маршрути серверної частини. Маршрут POST /api/nodes/telemetry приймає телеметричні дані від ESP32, а маршрут GET /api/telemetry повертає останній збережений набір даних для web-інтерфейсу.

Приклад передавання телеметрії на API наведено на рис. 3.9.



```
W|CFG|Lasagna(hi niggies)|OK|192.168.0.164
M|1:P 2:W 3:A H
A|1:SEND 2:I 3:S 4:D 0:B
API|POST:200
API|RESP
API|WIFI:OK|192.168.0.164|URL:http://192.168.0.162:3000/api/nodes/telemetry|READY:YES
```

Рисунок 3.9 – Передавання телеметрії на API за командою SEND_API

Важливим рішенням у межах прототипу стало використання керованого надсилання телеметрії. Замість постійного автоматичного передавання даних у головному циклі програми було реалізовано службову команду SEND_API, яка дозволяє вручну ініціювати відправлення даних на сервер. Такий підхід є зручним для тестування, оскільки дає змогу чітко контролювати момент передавання та простіше аналізувати результат.

Після приймання даних серверною частиною перевірялось їх відображення у web-інтерфейсі. Web-сторінка використовувалась як засіб візуального контролю стану вузла. У ній повинні відображатися основні параметри системи: ідентифікатор вузла, температурні значення, статус панелі, а також додаткові поля телеметрії.

Приклад відображення даних у web-інтерфейсі наведено на рис. 3.10.

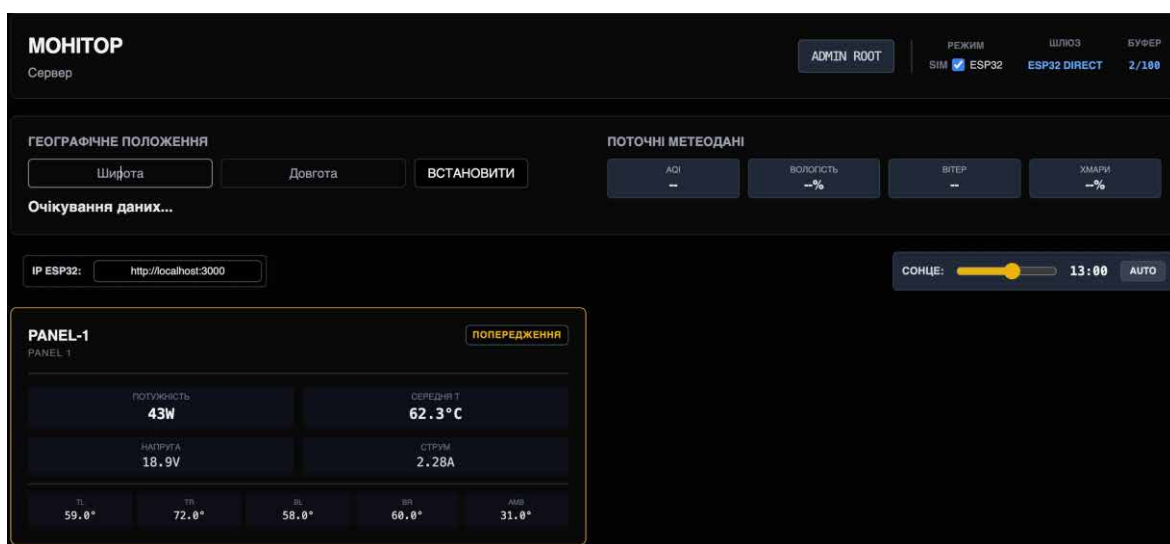


Рисунок 3.10 – Відображення параметрів вузла моніторингу у web-інтерфейсі

На рис. 3.10 доцільно показати сторінку web-моніторингу після успішного отримання даних від ESP32. Такий результат підтверджує працездатність повного ланцюга передавання інформації: мікроконтролерний вузол формує телеметрію, передає її через Wi-Fi на API, а web-інтерфейс відображає отримані параметри користувачу.

Результати перевірки мережевої частини системи наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати тестування Wi-Fi, API та web-відображення

№	Етап тестування	Що перевірялось	Очікуваний результат	Результат перевірки
1	Налаштування Wi-Fi	Передавання SSID і пароля через BLE	Параметри приймаються вузлом	Виконано
2	Підключення до мережі	З'єднання ESP32 з локальною Wi-Fi мережею	Отримання локальної IP-адреси	Виконано
3	Збереження параметрів	Збереження Wi-Fi credentials у пам'яті ESP32	Повторне використання після перезапуску	Виконано
4	Формування телеметрії	Створення JSON-повідомлення	Дані мають правильну структуру	Виконано
5	Передавання на API	HTTP POST-запит до серверної частини	Сервер приймає повідомлення	Виконано
6	Команда SEND_API	Ручний запуск надсилання телеметрії	Дані передаються за командою	Виконано
7	Web-відображення	Показ отриманих параметрів на сторінці	Дані доступні користувачу	Виконано

8	Імітаційні voltage/current	Передавання тестових електричних параметрів	Поля присутні у телеметрії	Виконано
---	-------------------------------	--	-------------------------------	----------

Як видно з табл. 3.4, перевірка охоплювала всі основні частини мережевого контуру системи: налаштування Wi-Fi, підключення до мережі, формування JSON-даних, передавання на API та відображення у web-інтерфейсі. Окремо було враховано, що значення напруги та струму на цьому етапі є імітаційними, однак їх наявність у структурі телеметрії підтверджує готовність системи до подальшого апаратного розширення.

У процесі тестування також перевірялась поведінка системи у випадку відсутності Wi-Fi-з'єднання. Якщо вузол не має активного підключення до мережі, передавання телеметрії на API неможливе, однак сама система не припиняє роботу. У такому стані ESP32 може продовжувати виконувати локальні функції, підтримувати BLE-доступ і дозволяти користувачу повторно налаштувати мережеві параметри.

Отримані результати підтверджують правильність обраної архітектури, у якій BLE використовується для локального налаштування та сервісного доступу, а Wi-Fi, API та web-інтерфейс — для основного моніторингу. Такий розподіл функцій дозволяє не перевантажувати Bluetooth-канал і водночас забезпечує зручніше відображення телеметрії у web-частині.

Отже, тестування Wi-Fi, API та web-відображення підтвердило працездатність мережевої частини розробленого прототипу. Система здатна приймати параметри мережі, підключатися до Wi-Fi, формувати телеметричне повідомлення, передавати його на сервер та відображати отримані дані у web-

інтерфейсі. Це дозволяє розглядати розроблений вузол як основу для подальшого розвитку системи моніторингу сонячної панелі.

3.5 Аналіз результатів тестування та висновки щодо працездатності

Проведене тестування дозволило оцінити працездатність розробленої мікроконтролерної системи моніторингу сонячної панелі як демонстраційного прототипу. У попередніх підрозділах було окремо перевірено температурний моніторинг, BLE-інтерфейс локального доступу, Wi-Fi-підключення, передавання телеметрії на API та web-відображення отриманих даних. У даному підрозділі результати тестування узагальнюються з позиції цілісної роботи всієї системи.

За результатами перевірки встановлено, що розроблений вузол на базі ESP32 здатний виконувати основні функції, передбачені завданням дипломного проєкту. Система забезпечує запуск мікроконтролерного вузла, роботу службового BLE-інтерфейсу, налаштування Wi-Fi, підключення до локальної мережі, формування телеметрії та її передавання на серверну частину. Це підтверджує, що базова архітектура системи є працездатною.

Температурна підсистема підтвердила можливість багатоточкового контролю стану панелі. У процесі тестування перевірялись сценарії нормального температурного стану, локального перегріву, загального підвищення температури та помилки датчика. Реалізований алгоритм дозволяє визначати найгарячішу зону, порівнювати температури між зонами, враховувати

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

температуру навколишнього середовища та формувати підсумкові статуси NORMAL, WARNING, ALERT або ERROR.

Особливо важливим результатом є підтвердження працездатності логіки виявлення локального перегріву. Система не обмежується простим виведенням окремих температурних значень, а виконує первинний аналіз безпосередньо на рівні мікроконтролера. Це дозволяє формувати попередню оцінку стану панелі ще до передавання даних на сервер або відображення у web-інтерфейсі.

Тестування BLE-інтерфейсу показало, що він є придатним для локального сервісного доступу до вузла. Через BLE користувач може підключитися до ESP32 зі смартфона, перевірити доступність пристрою, виконати базові команди, переглянути короткий статус і передати параметри Wi-Fi. У процесі перевірки було підтверджено, що BLE доцільно використовувати саме як службовий канал, а не як основний інтерфейс постійного моніторингу.

Результати перевірки мережевої частини підтвердили, що Wi-Fi, API та web-інтерфейс формують основний контур моніторингу. Після налаштування мережі вузол може підключатися до Wi-Fi, формувати JSON-повідомлення, передавати його на серверний застосунок Node.js і забезпечувати подальше відображення даних у web-частині. Це підтверджує правильність обраної архітектури BLE Setup + Wi-Fi Monitoring, у якій BLE використовується для локального налаштування, а основне відображення параметрів виконується через web-рівень.

Окремо слід зазначити особливість тестування електричних параметрів. У поточному демонстраційному прототипі фізичне вимірювання напруги та струму

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						75
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сонячної панелі не виконувалось, оскільки система не підключалась до реального фотоелектричного модуля та повного вимірювального стенда. Значення напруги та струму були задані у програмному коді як тестові або імітаційні поля телеметрії. Це означає, що під час тестування перевірялась не точність електричних вимірювань, а готовність структури даних, API та web-інтерфейсу до приймання і відображення таких параметрів.

Такий підхід є допустимим для даного етапу розробки, оскільки основною метою було підтвердження працездатності архітектури системи. Наявність полів напруги та струму в телеметрії показує, що програмна структура вже підготовлена до подальшого підключення реальних вимірювальних компонентів. У перспективі замість імітаційних значень можуть використовуватись дані з апаратного вузла вимірювання напруги та струму, наприклад через датчик струму, резистивний дільник напруги та зовнішній аналого-цифровий перетворювач.

Узагальнені результати тестування системи наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Узагальнені результати перевірки працездатності системи

№	Складова системи	Що перевірялось	Результат
1	Мікроконтролерний вузол ESP32	Запуск програми, ініціалізація модулів, виконання основної логіки	Працездатний
2	Температурний моніторинг	Отримання температурних значень, робота із зонами, аналіз стану	Працездатний
3	Алгоритм аналізу	Визначення NORMAL, WARNING, ALERT, ERROR	Працює відповідно до

			закладеної логіки
4	BLE-інтерфейс	Підключення зі смартфона, команди, локальний сервісний доступ	Працездатний
5	Налаштування Wi-Fi	Передавання параметрів мережі та підключення ESP32	Працездатне
6	API	Приймання JSON-телеметрії від ESP32	Працездатне
7	Web-інтерфейс	Відображення отриманих параметрів вузла	Працездатний
8	Напруга та струм	Наявність полів у телеметрії та web-відображенні	Перевірено на імітаційних значеннях
9	Повний ланцюг роботи	ESP32 → Wi-Fi → API → web-інтерфейс	Працездатний

Як видно з табл. 3.5, основні модулі системи підтвердили свою працездатність у межах демонстраційного прототипу. Найбільш повно перевіреними є мікроконтролерна логіка, BLE-доступ, Wi-Fi-підключення, API, web-відображення та температурний аналіз. Електричні параметри у вигляді напруги та струму на даному етапі були представлені імітаційно, однак їх наявність у структурі телеметрії підтверджує готовність програмної частини до подальшого апаратного розширення.

Проведене тестування також дозволило визначити сильні сторони прийнятої архітектури. По-перше, система не потребує дротового підключення для базового

сервісного доступу, оскільки BLE дозволяє виконувати налаштування зі смартфона. По-друге, основне передавання даних винесене у Wi-Fi та API, що є зручнішим для подальшого масштабування і web-відображення. По-третє, температурний аналіз виконується на рівні самого вузла, що зменшує залежність від зовнішньої обробки.

Разом з тим результати тестування показали межі поточної реалізації. Прототип не перевірявся з реальною сонячною панеллю, а фізичне вимірювання напруги та струму не виконувалось. Тому поточну версію слід розглядати як функціональний демонстраційний прототип, у якому підтверджено логіку роботи, комунікаційні можливості та структуру передавання даних, але електричні вимірювання потребують подальшої апаратної реалізації.

Отже, за результатами тестування можна зробити висновок, що розроблена мікроконтролерна система є працездатною в межах поставленої задачі дипломного проєкту. Вона забезпечує локальний доступ через BLE, підтримує налаштування Wi-Fi, формує телеметрію, передає її на API та відображає дані у web-інтерфейсі. Температурна підсистема виконує основну діагностичну функцію — контроль температурних зон і виявлення локального перегріву. Значення напруги та струму на поточному етапі використовуються як імітаційні, але структура системи вже підготовлена до подальшого підключення реальних вимірювальних модулів.

Таким чином, основна мета тестування досягнута: підтверджено працездатність базової архітектури прототипу та можливість його подальшого розвитку до повноцінної системи моніторингу роботи сонячної панелі.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено прототип мікроконтролерної системи моніторингу роботи сонячної панелі з Bluetooth-інтерфейсом. Система призначена для локального контролю стану окремої панелі, зчитування температурних параметрів, первинної обробки даних та передавання інформації користувачу через бездротові канали зв'язку.

У роботі було проаналізовано особливості сонячної панелі як об'єкта моніторингу та обґрунтовано доцільність багатоточкового контролю температури. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише загальний рівень нагрівання, а й можливі локальні відхилення на поверхні панелі, що є важливим для виявлення потенційно небезпечних режимів роботи.

Для реалізації системи було обрано платформу ESP32, яка поєднує можливості роботи з датчиками, локального бездротового доступу та мережевого передавання даних. У проєкті передбачено контроль кількох температурних зон панелі та окреме врахування температури навколишнього середовища, що дозволяє виконувати більш коректну оцінку теплового стану об'єкта моніторингу.

Було спроектовано структуру мікроконтролерного вузла, у якій одна плата відповідає одній сонячній панелі. Bluetooth використовується для локального сервісного доступу та налаштування пристрою, а Wi-Fi — для передавання телеметрії до зовнішньої системи відображення. Такий розподіл функцій дозволяє поєднати простоту локальної взаємодії з можливістю подальшого мережевого моніторингу.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						79
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У програмній частині реалізовано зчитування температурних значень, аналіз стану панелі, формування структурованих даних і передавання результатів через бездротові інтерфейси. Проведене тестування підтвердило працездатність температурного моніторингу, Bluetooth-взаємодії, Wi-Fi-підключення, передавання даних на серверну частину та відображення інформації у web-інтерфейсі.

У межах поточного прототипу система передбачає можливість подальшого контролю електричних параметрів сонячної панелі, зокрема напруги та струму. Для цього в архітектурі проєкту закладено відповідні поля телеметрії та можливість підключення вимірювальних компонентів. Водночас реальна сонячна панель і силові кола в межах виконаної роботи не підключались, тому значення напруги та струму використовувались як імітаційні параметри. Це дозволило перевірити структуру передавання даних, роботу серверної частини та web-відображення, залишивши можливість подальшого підключення реальних вимірювальних вузлів без зміни загальної архітектури системи.

Отже, поставлену мету дипломного проєкту було досягнуто. Розроблений прототип забезпечує локальний температурний моніторинг сонячної панелі, первинну обробку даних, сервісну взаємодію через Bluetooth та передавання інформації через Wi-Fi на web-рівень. Крім того, структура системи передбачає можливість подальшого підключення реальних засобів вимірювання напруги і струму, що дозволяє розширити прототип до повнішої системи контролю роботи сонячної панелі. Подальший розвиток системи може також включати збереження історії вимірювань, покращення web-інтерфейсу та масштабування рішення на декілька сонячних панелей.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
						80
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ESP32 Series Datasheet [Електронний ресурс] // Espressif Systems. – Режим доступу до ресурсу:

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.

ESP-IDF Programming Guide for ESP32 [Електронний ресурс] // Espressif Systems.

– Режим доступу до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/>.

Arduino-ESP32 Documentation [Електронний ресурс] // Espressif Systems. – Режим

доступу до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/>.

Wi-Fi API [Електронний ресурс] // Arduino-ESP32 Documentation. – Режим

доступу до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/api/wifi.html>.

Preferences API [Електронний ресурс] // Arduino-ESP32 Documentation. – Режим

доступу до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/en/latest/api/preferences.html>.

NimBLE-Arduino Library [Електронний ресурс] // GitHub. – Режим доступу до

ресурсу: <https://github.com/h2zero/NimBLE-Arduino>.

Bluetooth Low Energy [Електронний ресурс] // Bluetooth Special Interest Group. –

Режим доступу до ресурсу: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>.

DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Електронний

ресурс] // Analog Devices. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

OneWire Library [Електронний ресурс] // PJRC. – Режим доступу до ресурсу: https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_OneWire.html.

Arduino Temperature Control Library [Електронний ресурс] // GitHub. – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>.

ACS758 Datasheet [Електронний ресурс] // Allegro MicroSystems. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.allegromicro.com/-/media/files/datasheets/acs758-datasheet.ashx>.

ADS1115 Datasheet [Електронний ресурс] // Texas Instruments. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>.

Adafruit 4-Channel ADC Breakouts [Електронний ресурс] // Adafruit Learning System. – Режим доступу до ресурсу: <https://learn.adafruit.com/adafruit-4-channel-adc-breakouts>.

Wokwi ESP32 Guide [Електронний ресурс] // Wokwi Documentation. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.wokwi.com/guides/esp32>.

Wokwi DS18B20 Temperature Sensor [Електронний ресурс] // Wokwi Documentation. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.wokwi.com/parts/wokwi-ds18b20>.

Node.js — About Node.js [Електронний ресурс] // OpenJS Foundation. – Режим доступу до ресурсу: <https://nodejs.org/en/about>.

Express — Node.js Web Application Framework [Електронний ресурс] // Express. – Режим доступу до ресурсу: <https://expressjs.com/>.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

HTTP Overview [Електронний ресурс] // MDN Web Docs. – Режим доступу до ресурсу: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Guides/Overview>.

JSON [Електронний ресурс] // JSON.org. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.json.org/json-en.html>.

Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems [Електронний ресурс] // National Renewable Energy Laboratory. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73822.pdf>.

					15.04 - БКР.3072 "С" 25.12.10.14.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83