

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 022109.22.01.75 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група КІ2-22-1

  
Підпис

Максим ШУНЕВИЧ  
Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання

  
Підпис

Дмитро ДЕНИСЮК  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер канд.фіз.-мат.наук, доцент

Науковий ступінь, учене звання

  
Підпис

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
завідувач кафедри КІС

«9» червня 2026 р.

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

дата

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)


Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІС

 Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шуневичу Максиму Олексійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей

Керівник проекту (роботи) Денисюк Дмитро Олександрович, ст. в.

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

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей. Аналіз актуальності. Постановка задачі

Проектування пристрою з системою відслідковування головних показників на базі використання мікроконтролерної системи ESP32

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей

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

Копія креслення «Конструкція для стиснення акумуляторних комірок»

Копія креслення «Електрична схема з'єднань системи»

Копія креслення «Архітектура програмного забезпечення системи»

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

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

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування пристрою енергозабезпечення побутових споживачів	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування та збірка пристрою енергозабезпечення побутових споживачів	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач  Максим ШУНЕВИЧ  
Підпис Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи  Дмитро ДЕНИСЮК  
Підпис Імя, ПРІЗВИЩЕ



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей».

Автор роботи: Максим ШУНЕВИЧ.

Керівник роботи: Дмитро ДЕНИСЮК.

Пояснювальна записка: 62 с., 24 рис., 2 табл., 4 дод., 52 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

**МОНІТОРИНГ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ЗАРЯДНА СТАНЦІЯ, ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ.**

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена дослідженню та розробці апаратно-програмного комплексу пристрою забезпечення електропостачання та живлення постійною та змінною напругою домашніх побутових споживачів. Актуальність теми зумовлена періодичними тривалими відключеннями електроенергії у житлових будинках через застосування системи черг відключень, що зумовлено нестабільним становищем інфраструктури енергозабезпечення України. Розроблюваний пристрій, по схемо-технічній концепції зарядної станції, повинен надати можливість згладжування ефекту впливу періодичних відключень на повсякденне життя.

Метою роботи є проектування, реалізація та тестування апаратно-програмного комплексу для накопичення та подальшої віддачі електроенергії, від поставленої задачі, у формі змінної та постійної напруги. Також до складу розроблюваної системи входить прикладний цифровий візуальний інтерфейс, який в реальному часі проводить збір та відображення основних фізико-технічних показників пристрою для відстеження та спостереження за станом його роботи.







Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій інтернету речей.	
Постановка задачі.....	5
1.1 Аналіз ситуації, що актуалізувала поставлену тему з домашнього енергозабезпечення.....	5
1.2 Аналіз теоретичної інформації та відомостей, що відноситься до апаратно-програмного комплексу пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій інтернету речей.....	5
1.3 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень .....	16
1.4 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження .....	19
1.5 Висновки до розділу .....	20
2 Проектування пристрою з системою відслідковування головних показників на базі використання мікроконтролерної системи ESP32.....	21
2.1 Визначення апаратних і програмних підсистем апаратно-програмного комплексу.....	21
2.2 Визначення взаємодії компонентів апаратно-програмного комплексу.....	30
2.3 Призначення та зв'язок програмного забезпечення на esp32 у загальній структурі пристрою з bms-платою. Напрямок розробки .....	35
2.4 Висновки до розділу .....	43
3 Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій інтернету речей.....	44
3.1 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу .....	44
3.2 Опис процесу збірки пристрою з підібраних компонентів.....	54

КвРКІ 022109.22.01.75 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей. Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Максим ШУНЕВИЧ		01.06		у		
Перевір.		Дмитро ДЕНИСЮК		01.06			2	87
Н.контр.		Тетяна КИСЛІЬ		01.06		ХНУ КІ2-22-1		
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		01.06				

3.3 Вартість кінцевого розробленого пристрою .....	62
3.4 Висновки до розділу .....	64
Висновки .....	65
Перелік джерел посилань .....	66
Додаток А Креслення конструкції для стиснення акумуляторних комірок ...	73
Додаток Б Електрична схема з'єднань системи.....	74
Додаток В Архітектура програмного забезпечення системи .....	75
Додаток Г Лістинг коду програмного забезпечення .....	76

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ВСТУП

Зарядна станція стає звичною річчю для пересічного українця. Це пов'язано з їх масовим розповсюдженням, яке сталося через появи на території України такої річчі, як періодичних планових та непланових тривалих відключень електропостачання, що відбувається по системі черг. Через те, що тривале перебування без світла призупиняє виробництво, роботу, навчання, відпочинок та інші сфери людської діяльності, рішенням для виходу з даної ситуації стали портативні, зазвичай безперебійні, джерела електроенергії. Такими джерелами для людей різних прошарків населення стали портативні паливні генератори, а також зарядні станції, які є темою та об'єктом дипломної роботи.

Метою дипломної роботи є проектування, розробка та збірка багатофункціональної саморобної зарядної станції з готових компонентів та витратних матеріалів, що можна придбати на відкритому ринку, для того, щоб за порівняно малі кошти, у порівнянні з повністю готовими рішенням, створити домашнє джерело електропостачання, яке могло би забезпечувати живленням усі необхідні для людської діяльності побутові споживачі.

Об'єктом дослідження є апаратна структурна схема типової зарядної станції, а також доступні можливості з ціллю розробки та збірки модульного саморобного пристрою домашнього енергозабезпечення, чий характеристики не поступалися б готовим рішенням з тієї ж сфери та категорії, але за порівняно менші кошти.

Предметом дослідження є доцільність та вигідність розробки саморобного пристрою домашнього енергозабезпечення з точки зору кількості часу, необхідної на вивчення усіх необхідних аспектів роботи та експлуатації пристрою, розробку та збірку, а також з точки зору доступності компонентів та загальної складності роботи з врахуванням супутніх ризиків.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ПРИСТРОЮ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ФУНКЦІЄЮ БОРТОВОГО МОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз ситуації, що актуалізувала поставлену тему з домашнього енергозабезпечення

Ситуація в Україні в галузі енергозабезпечення громадян є складною через регулярні обстріли, тому виникає ситуація у необхідності знаходження альтернативних джерел енергозабезпечення для нівелювання, згладжування та компенсації даної проблеми.

Від регулярних обстрілів по об'єктам інфраструктури постраждала численна кількість громадян, зокрема простих жителів приватних та багатоквартирних будинків, що мають особливо мало можливостей з власного енергозабезпечення, що робить їх групою ризику для погіршення їх життя та фінансового стану.

Державні та приватні підприємства, у свою, чергу постраждали менше, так як вони мають запас ресурсів для вирішення проблеми з нестабільного електропостачання, тому далі вони, як об'єкт, на який накладається розв'язувана проблема, розглядатися не буде.

1.2 Аналіз теоретичної інформації та відомостей, що відноситься до апаратно-програмного комплексу пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей

Джерело безперебійного живлення – це автономний та автоматичний пристрій, що дозволяє приєднаному до нього технічному обладнанню, що споживає електроенергію (постійної або змінної напруги), деякий час працювати від вбудованих акумуляторів у разі зникнення електричного струму в електромережі, або при відхиленні його показників від допустимих норм.

					КвРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насамперед, від рівнів напруги на які налаштовано електронну схему ДБЖ. Крім того, воно здатне змінювати показники якості електроживлення, такі як: напругу та частоту. Це потрібно для досягнення задовільних значень для забезпечення комфортної та невідхильної роботи електроніки, для якої забезпечується електропостачання.

Для того, щоб бути надійним та безпечним, пристрій з енергозабезпечення повинен відповідати багатьом правилам та стандартам безпеки для забезпечення довготривалої та безперебійної роботи, щоб забезпечити найвищу кількість часу роботи у період відключення електроенергії у мережі.

Джерело безперебійного живлення також може бути мобільним, за своїми габаритами, вагою та переносимістю, щоб надавати можливість пересувати дане джерело енергозабезпечення з місця-на-місце туди, де воно потрібне у даний момент. Саме тому, при такій необхідності, даний пристрій повинен бути оснащений елементами, що могли би надавати йому та його власнику можливість для вільного та легкого переміщення у разі такої необхідності, без застосування додаткової та сторонньої допомоги у вигляді додаткових людей чи спеціальної техніки.

Визначальним та основним параметром у виборі будь-якого пристрою завжди виступає його ціна та можливість покупця, тобто цільової групи людей, яка є зацікавленою у покупці даного пристрою. Даний аспект не є виключенням у ситуації вибору джерела безперебійного живлення, у випадку, коли цільовим покупцем є пересічний громадянин України, якому просто потрібна можливість забезпечення своєї квартири чи будинку електропостачанням, на той період, поки електроенергія у мережі відсутня через планові чи аварійні відключення.

Перегляд різновидів класів пристроїв, що відносяться до сфери безперебійного електропостачання, належить така низка:

- 1) класичне ДБЖ;
- 2) генератор;
- 3) портативна зарядна станція.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерело безперебійного живлення, зокрема його класичний варіант, – це типовий представник даного класу пристроїв з забезпечення електропостачання [1]. Він представляє собою зв'язку акумуляторного блоку з інвертором напруги та реле. Дана система працює за наступним принципом, - поки у міській мережі наявна електроенергія, уся техніка, що підключена до ДБЖ працює від електроенергії у мережі. Але як тільки електроенергія у мережі пропадає, то внутрішнє реле перемикається у режим живлення від інтегрованого акумулятора, постійна напруга якого перетворюється у змінну завдяки вмонтованому інвертору, до поки заряд акумулятору не буде вичерпано.

Генератор – це тип універсальних пристроїв з надання електроенергії, що працюють за принципом її безпосередньої генерації, а не збереження з майбутнім використанням у разі необхідності [2]. Такі пристрої зазвичай генерують електроенергію шляхом спалювання певного виду палива, що перетворює збережану потенційну енергію палива у кінетичну, що виробляє електроенергію завдяки крутінню турбіни. Цей принцип є доволі зручним у використанні, так як генератор не потребує передчасного накопичення електроенергії з мережі, а тільки спалювання наявного палива: бензину, дизелю, біопалива чи газу.

Портативна зарядна станція – це просунутий, з технічної точки зору, сучасний представник класу систем з забезпечення безперебійного джерела енергозабезпечення [3]. Це доволі складна система, що за своєю структурою, подібна до класичного ДБЖ, за тим виключенням, що ємність їх акумуляторів є набагато більшою, а заряджатися вони можуть в рази швидше. Також на борту портативної зарядної станції зазвичай є розумна оболонка, або інтерфейс, що надає його користувачу доступ до переважної кількості робочих фізико-технічних показників пристрою у реальному часі у зручному та корисному поданні.

Розглядаючи типові домашні господарства типових громадян України, як жителів багатоквартирних та приватних будинків, можна сказати, що

					КвРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середньозважене енергоспоживання на годину складає менше одного кВт·год, зокрема приблизно 200 — 300 Вт·год. Але дані значення є достовірними лише у ті проміжки часу, коли у цих самих домашніх господарствах не відбувається активної домашньої роботи, зокрема з використанням: пральної машини, плити та духовки, пилозбірника, обігрівача, бойлера тощо. У таких випадках короточасне енергоспоживання може підскакувати до значень, близьких до 5 кВт·год, що накладає свої обмеження на вибір альтернативного джерела безперебійного живлення.

Усім вище переліченим пристроям властиві ті чи інші значні недоліки:

- висока вартість готових рішень;

Будь-які джерела з надання безперебійного електропостачання завжди були рішеннями не для всіх у фінансовому плані. Але з початком повномасштабного вторгнення та початку обстрілів об'єктів інфраструктури ціни на якісні готові рішення піднялися багатократно, що сказалося на їх доступності, так як це вплинуло на усі класи ДБЖ.

- обмежена масштабованість;

Масштабованість даного типу локальної мобільної інфраструктури є дуже важким, так як за своєю технологією такі ДБЖ, як класичні ДБЖ та генератори не мають спроможності до масштабування. Портативні зарядні станції, у свою чергу таку спроможність мають, але це напряму залежить від моделі та виробника. Також це прямо впливає на фактор «портативності» та «мобільності», напряму його зменшуючи або відкидаючи.

- низька ремонтпридатність;

Даний клас електромеханічних пристроїв за своєю схемотехнікою є складними у своїй ремонтпридатності, так як вони складаються з багатьох різнотипних електричних та механічних компонентів, що надзвичайно ускладнює можливості по їх ремонту. А якщо річ йде про заміну пошкоджень акумуляторів портативних зарядних станціях, то ситуація ускладнюється багатократно та частіше всього приводить до повної заміни пристрою.

					КвРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- не висока ємність / потужність у доступному ціновому сегменті;

Даний аспект цього класу пристроїв виходить з першого пункту, та напряму пов'язаний з високою ціною готових якісних рішень, коли навіть не самі високо ємні та потужні моделі коштують значних грошей, які собі може дозволити далеко не кожний пересічний громадянин України.

- обмежена гнучкість конфігурації.

Даний пункт частково виходить з пункту про обмежену масштабованість сучасних моделей класу ДБЖ, так як зазвичай дані готові рішення не надають значних можливостей з перед покупної конфігурації пристрою або його налаштування вже під час користування, що може утруднити його використання у довготривалій перспективі, коли з часом потреби та запити можуть змінюватися. Зокрема річ йде про не гнучкий інтерфейс деяких моделей портативних зарядних станцій, а також не стандартизований набір конекторів живлення, якими вони оснащуються, що інколи приводить до значних проблем.

Інвертор (постійної напруги на вході у змінну напругу на виході) – це перетворювач напруги, що шляхом формування періодичної напруги (сигналу) шляхом зміни величини цієї самої напруги в часі, утворює вихідну напругу змінного типу, що може бути наближеною до синусоїди, або бути лише апроксимованою до синусоїди [4].

Як було зазначено з визначення, інвертори постійної напруги у змінну бувають двох основних типів за формою вихідного сигналу: синусоїдальний та апроксимований.

Інвертор з типом синусоїдального вихідного сигналу змінного типу напруги, це тип інвертора, який забезпечує формування чистої, тобто ідеальної синусоїди для роботи побутових, та не тільки, споживачів, які можуть бути чутливими до форми сигналу змінної напруги [5]. До прикладу, це надзвичайно важливо для компресорних двигунів холодильних апаратів, так як при неправильній формі синусоїдального сигналу даний тип пристрою може швидко вийти з ладу.

Інвертор з типом апроксимованої синусоїди вихідного сигналу змінного типу напруги, це тип інвертора, який забезпечує формування «грубої», так званої апроксимованої синусоїди, що представляє собою спрощену форму синусоїдального сигналу [6]. Даний тип «синусоїди» все ще може використовуватися для живлення різноманітних побутових приладів, але зовсім не рекомендується так робити з приводу того, що дані прилади в процесі роботи від такої «синусоїди» на вході будуть суттєво грітися та видавати неприємний звук, що може сигналізувати про скорий їх вихід з ладу у такому режимі.

Зарядний блок для заряджання акумуляторної збірки – це спеціалізований зарядний пристрій, що орієнтований на заряджання конкретного типу акумуляторів за їх хімією та конфігурацією, - тобто за кількістю акумуляторних елементів у послідовності та використовуваному типі заряджання [7].

Першочерговою характеристикою, що характеризує зарядний пристрій (блок) для заряджання збірки акумуляторів, це його вихідна напруга заряджання. Дана величина напруги залежить від двох факторів: кількості акумуляторних комірок збірки, що розташовані послідовно, а також типу їх хімії. В залежності від потреб та конкретних випадків бувають самі різні зарядні блоки, що розраховані на заряджання 4S-збірок (12 В), 8S-збірок (24 В), 12S-збірок (36 В), 16S-збірок (48 В), 20S-збірок (60 В) та 24S-збірок (72 В) [8]. При цьому, режим їх роботи може бути різний, в залежності від того, на заряджання якого типу акумуляторів за їх хімією вони розроблені: для категорії літій-іонних акумуляторів чи свинцево кислотних. У випадку першої категорії, потрібно використовувати режим заряджання за технологією CC-CV (Constant Current / Constant Voltage, Постійний струм / Постійна напруга). Це двоетапний режим заряджання, що починається з фази постійного струму (CC, - Constant Current), яка забезпечує високий, стабільний струм, доки акумулятор не досягне своєї максимальної напруги. Напруга заряджання на цьому етапі поступово підіймається до максимальної напруги акумуляторної збірки. Після цього потім йде фаза постійної напруги (CV, - Constant Voltage), яка підтримує стабільну

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напругу, поки струм поступово зменшується, доки не впаде до нуля. Після цього, заряджання акумуляторного блоку можна вважати закінченим. У випадку другої категорії потрібно використовувати модифікований режим заряджання за однойменною технологією CC-CV. Цей багатоетапний процес починається з постійного високого струму (наповнення) для досягнення високої ємності, після чого переходить на постійну напругу (абсорбція) для завершення заряду, що завершується режимом підтримуючого заряду з низькою напругою для підтримки заряду без пошкоджень [9].

Також зарядні блоки бувають різної вихідної потужній, що вимірюється у А·год та може складати значення у широкому діапазоні. Вибір даного значення напряму залежить від ємності акумуляторної батареї у А·год та у вимогах до швидкості її заряджання. І бюджету також, звісно. Вибір значення потужності заряджання зарядного блоку відбувається через множення ємності акумуляторно збірки на 0.5, що дає можливість отримати оптимальне значення так званого continuous-заряджання, тобто заряджання протягом тривалого проміжку часу, під час якого можна не переживати через погіршення стану акумуляторних комірок через перегрів чи деградацію.

Battery Management System (Система контролю батарей), або просто BMS-плата – це спеціалізована розумна (smart) система з організації спостереження та контролю безпечної експлуатації акумуляторних батарей (частіше всього Li-ion або LiFePO<sub>4</sub>) [10]. Вона захищає акумуляторні комірки від перезаряду, глибокого розряду, перегріву, короткого замикання та балансує напругу між ними (за рахунок вмонтованого активного чи пасивного балансиру), значно подовжуючи термін служби акумулятора чи (портативної) зарядної станції, в складі якої вона працює.

Дана система частіше всього отримує реалізацію у вигляді відносно малої або середньої по розмірам друкованої плати з розпаяними на її поверхнях електричними компонентами та мікросхемами. Також, в залежності від її технічних характеристик BMS-плата може оснащуватися захисними екранами,

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які зазвичай розташовують з лицьової та задньої сторони плати, що одночасно виконує роль і захисту, і охолодження у вигляді пасивного радіатора. В деяких випадках, коли дана система розраховується на особливо велике навантаження, тобто на великі струми пропускання, BMS-плата навіть може оснащуватися активним охолодженням у вигляді інтегрованого вентилятору.

До списку технічних характеристик будь-якої BMS-плати, які характеризують умови в яких вона може і буде працювати загалом визначає акумуляторна збірка і все що до неї входить належать такі параметри, представленні нижче

Кількість комірок, розташованих послідовно у акумуляторній збірці. Дана величина є першою з двох визначальних при виборі BMS-плати, так як конфігурація акумуляторних збірок це один з головних факторів у проектуванні зарядної станції [11]. Частіше всього бувають BMS розраховані на оперування акумуляторними збірками до 4S, 8S, 16S та 24S.

Максимальний робочий струм (зарядження / розрядження). Дана величина є другою з двох визначальних при виборі BMS-плати, так як від значення максимального постійного робочого струму будуть залежати розміри BMS-плати, тип охолодження та, звісно, ціна [12]. Проте, на чим більший робочий струм розрахована BMS-плата, тим якісніше та надійніше вона зазвичай буває, тому дана величина є дуже хорошим показником при виборі даного пристрою.

Тип хімії акумуляторної збірки. Зі згаданих раніше пунктів про типи хімії акумуляторних елементів вже відомо про різновиди акумуляторів за хімією їх електролітів [13]. Тут же можна тільки зазначити той факт, що тип хімії акумуляторної збірки практично ніяк не впливає на конструкційні особливості BMS-плати та її експлуатацію в складі зарядної станції. Але переважними лідерами у розповсюдженості BMS-плат за типом хімії акумуляторів, з якими вони можуть працювати звісно, все ще залишаються літій-іонні (Li-ion) та літій-залізо-фосфатні (LiFePO<sub>4</sub>) хімії.

Наявність і потужність балансира (активного / пасивного). Наявність активного чи пасивного балансира у складі модулів BMS-плати та його потужність є важливим етапом у виборі BMS-плати, так як це визначає необхідність або відсутність необхідності у купівлі та монтуванні додаткової плати балансування у складі розроблюваної зарядної станції [14]. Активний балансір проводить перерозподіл зарядів акумуляторних комірок при досягненні їх напруг верхніх меж зарядження і зазвичай має потужність 1 - 5 (А). Пасивний же балансір працює по принципу «спалення» лишнього струму заряджання, коли одна комірка вже зарядилася, а інші – ще ні, шляхом розсіювання «лишньої» потужності заряджання по поверхні резисторів плати пасивного балансира. Саме тому вона зазвичай йде з додатковим радіатором. А якщо його немає, а потужність розсіювання висока, то його краще додати.

Можливості з безпекового контролю та моніторингу акумуляторної збірки. Хоча BMS-плата є в своїй основі достатньо розумним (smart) пристроєм, все-одно різні моделі можуть різнитися за кількістю та якістю можливостей з контролю безпеки, наявності та повноти значень моніторингу від виробника-до-виробника та від моделі-до-моделі [15]. Зокрема у BMS-плати можуть бути чи не бути ті чи інші системи безпеки та запобіжні механізми для уникання небезпечних ситуацій, а також у неї може бути або не бути повноцінної інтегрованої системи моніторингу різноманітних показників акумуляторної збірки, таких як: напруга на комірках, температура, лічення залишкового заряду у відсотках (SOC), кількість спрацьованих А·год ресурсу і т.д. Також, у деяких «просунутих» BMS-плат може бути можливість повного налаштування політики та режиму роботи у різних обставинах.

Інтерфейси зв'язку. BMS-плата може бути оснащена різноманітними провідними та безпроводними інтерфейсами для встановлення зв'язку зі з'єднаним клієнтом задля організації автоматизованого спілкування, знімання показників та контролю роботи акумуляторної збірки та зарядної станції зокрема [16]. До таких інтересів зазвичай відносять: BLE, RS-232, RS-485 та GPS.

Останніми в списку, але не по важливості йдуть, набір вхідних та вихідних конекторів, які має в своїй конструкції типова портативна зарядна станція. До такого списку зазвичай відносять такі конектори: XT60, DC5521 / 25), USB-A / C, Мережева(і) сокет(и) (тип F), припалювач 12 (В) та деякі пропрієтарні конектори, що у даному розділі розглядатися не будуть.

Детальніше про нішу використання кожного з різновидів портів (конекторів), якими оснащуються типові зарядні станції, описано нижче:

XT60. Загально признаний та розповсюджений у суспільстві DIY-розробників двох контактний конектор, що зазвичай використовується для заряджання зарядної станції від зовнішніх сонячних панелей, або для живлення певних пристроїв напряду від даного порту [17]. З конструкційної точки зору, він розрахований на максимальний струм пропускання у 60 (А).

DC5521(25). Цей конектор давно став типовим у використанні різної малопотужної (зазвичай до 5 - 10 (А)) домашньої і не тільки електротехніки, тому і не дивно, що даний конектор отримав своє призначення і у складі набору конекторів типової зарядної станції [18]. Зазвичай вихідний порт DC5521(25) використовується для живлення певної відносно малопотужної техніки визначеною фіксованою напругою (9 / 12 / 15 / 20 / 28 (В)), яку зазвичай може надати зарядна станція і що зазвичай налаштовується через певний інтерфейс (кнопку) на зарядній станції. Також, хоча і рідше, даний тип конектору / порту використовується для заряджання зарядної станції зі струмом до 10 А.

USB-A/C. USB-порти типу А та С та загально прийняті використовуватися для живлення та заряджання різноманітних smart-пристроїв, таких як смартфони, розумні годинники, планшети, ноутбуки та багато чого іншого [19]. Зазвичай вони є у складі конекторів у кількості по декілька штук типу А та С з максимального потужністю для кожного типу до 20 і 100 (Вт), що є дуже корисним та потрібним, так як це спрощує та збільшує ефективність заряджання мобільних пристроїв через відсутність потреби використання комплектного чи власного зарядного блоку для заряджання, так як пропадає один етап конвертації

напруги зі змінної на постійну, що збільшує ефективність витрачання електроенергії.

Мережевий сокет / розетка (тип F). Будь-яка хороша зарядна станція, класу якісних готових рішень, що позиціонує себе у використанні для живлення побутових приладів, що потребують джерела змінної напруги, зазвичай оснащена від одного до чотирьох роз'ємів мережевого сокету (тип F, якщо це Європа) [20]. У даний сокет можна вставити мережеву вилку від будь-якого побутового приладу і, якщо це дозволяє максимальна потужність інтегрованого в зарядну станцію інвертора, він запрацює і буде працювати поки не буде вичерпано заряд акумулятора зарядні станції.

Під кінець опису даного розділу не можна не згадати про таку, хоча і не основну річ, яка виступає безпосереднім компонентом типової зарядної станції, але є важливим елементом в рамках даного розроблюваного дипломного проекту, як сегмент Інтернету речей, що входить у проект. Цією річчю є мікроконтролерна система ESP32.

ESP32 – це, за своєю суттю, не єдиний визначений тип чи модель мікроконтролера, а ціле сімейство, або серія, різноманітних, потужних, недорогих та зазвичай двоядерних мікроконтролерних систем, розробки компанії Espressif Systems, що зазвичай оснащуються інтегрованим Wi-Fi та Bluetooth та основним призначенням якого є використання у сфері Інтернет-речей (IoT) [21].

Окрім вищезгаданих характеристик, наявність яких характеризує сімейство мікроконтролерів ESP32, також можна виділити низку додаткових якостей, які слід виділити про дані пристрої:

– порівняно висока продуктивність, через наявність двоядерного високочастотного 32-бітного процесора надає можливість для використання мікроконтролерної ESP32 для реалізації у самих різних додатках та системах, про які тільки можна подумати [22];

- великий об'єм пам'яті для програм (постійна пам'ять) та змінних (динамічна пам'ять), що вимірюється сотнями КБ, що дає можливість для написання дуже великих, складних та вагомих (за кількістю пам'яті, що вони займають) програм, які ESP32 буде виконувати під час своєї роботи [23];
- якісні та корисні протоколи бездротового зв'язку Wi-Fi 802.11 b/g/n (до 150 Мбіт/с), Bluetooth v4.2 BR/EDR та Bluetooth Low Energy (BLE), що надають можливість для налаштування гнучкого зв'язку мікроконтролера ESP32 з іншими розумними пристроями [24];
- багаточисленні периферійні канали різних типів та протоколів, що включають в себе такі максимальні зазначення (що залежить від моделі): 18 каналів аналого-цифрових перетворювачів (ADC), 2 канали цифро-аналогових перетворювачів (DAC), шістнадцять каналів широтно-імпульсної модуляції (PWM), а також інтерфейси UART, SPI та I2C [25];
- надзвичайно низьке та ефективне енергоспоживання, що обмежується декількома ватами під час активної роботи сотню мікровоат, в режимі сну;

### 1.3 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

За час існування ДБЖ, як засобів забезпечення електроенергії у випадку її необхідності через відсутність електроенергії у мережі, на ринку з'явилася велика кількість компаній, що були готові надати готові рішення різних типів ДБЖ та класів для різних бюджетів. Зокрема такими компаніями у сфері виготовлення портативних зарядних станцій стали: BLUETTI, EcoFlow, ANKER, Fossibot, Oukitel та інші, менш відомі компанії.

Зокрема, потрібно виділити переваги та недоліки різних типів ДБЖ для розуміння того, які пристрої є кращими та в яких ситуаціях. Це стане у нагоді при описі та розповіді про обраний ДБЖ, який був обраний для збірки, як об'єкт дипломної роботи. Дана інформація подана у детальній таблиці 1.1, що подана далі.

Таблиця 1.1 – Порівняння готових рішень типів ДБЖ

№	Тип рішення	Переваги	Недоліки
1.	Класичне ДБЖ	Середня вартість, незначні габарити та простота використання	Вузька спеціалізація, невисока ємність та потужність, довге заряджання акумуляторів
2.	Генератор	Відсутність потреби у передчасному заряджанні, висока вихідна потужність	Висока вартість через пряму кореляцію потужності від ціни, потреба у споживанні палива, дуже високий шум роботи
3.	Портативна зарядна станція	Практично безшумна робота, швидке заряджання від мережі	Висока вартість через пряму кореляцію ємності та потужності від ціни
4.	Саморобна (DIY) система	Низька вартість, повна свобода зі збірки та конфігурування системи, яка буде повністю відповідати поставленій задачі	Відсутність гарантії та гарантійного обслуговування, так як збірник повністю відповідає за пристрій

Головним елементом будь-якої портативної зарядної станції є її акумулятор, тому буде дуже корисно про нього розповісти, зокрема про типи їх хімії. До різновидів хімії акумуляторів належать такі основні, розповсюдженні та усталені типи, що одночасно є різновидами основного типу хімії акумуляторів, а саме Літій-іонних акумуляторів (Li-ion), як самого надійного та доступного:

Літій-іонний акумулятор (Li-ion). Назву «літій-іонні» даний тип акумуляторів одержали через те, що електричний струм в зовнішньому колі у внутрішній їх оболонці з'являється через перенос літєвих іонів від анода до катода на основі різних сполук [26]. Вони широко розповсюджені в побутовій електроніці та є першопроходьцем та, фактично, батьком для усіх подальших типів батарей у категорії новітніх акумуляторів, що набули використання у самій різноманітній електротехніці.

Технічні характеристики Li-ion акумуляторів:

- мінімальна напруга: 2.5 (В);
- номінальна напруга: 3.7 (В);
- максимальна напруга: 4.2 (В);
- питома енергоємність: 110-325 ((Вт·год)/кг).

Літій-полімерний акумулятор (Li-Pol). Це різновид літій-іонного електричного акумулятора, який відрізняється від класичного літій-іонного акумулятора типом використаного у ньому електроліту. У випадку з Li-ion – це гелеподібний або рідкий електроліт, у випадку з Li-Pol – спеціальний щільний полімер, насичений розчином літію [27]. Даний тип акумуляторів є самим розповсюдженим у використанні у дрібній електроніці, такій як: мобільні телефони та смартфони, ноутбуки, планшети, цифрові фотоапарати і відеокамери та інші різноманітні малі розумні гаджети та пристрої. Основною причиною, чому даний тип акумуляторів став таким популярним стала його надзвичайна гнучкість у проектуванні конструкції, так як він може бути дуже тонким та мати різні форми, а також він дуже легкий.

Технічні характеристики Li-Pol акумуляторів:

- мінімальна напруга: 3.0 (В);
- номінальна напруга: 3.7 (В);
- максимальна напруга: 4.2 (В);
- питома енергоємність: 150-250 ((Вт·год)/кг).

Літій-залізо-фосфатний акумулятор (LiFePO<sub>4</sub>). Це різновид літій-іонного акумулятора, що використовує залізо-фосфат літію як матеріал катода, і графітовий вуглецевий електрод з металевою підкладкою, як матеріал анода [28]. Через їх відносно низьку вартість, високу безпеку, низьку токсичність, тривалий термін служби та інші фактори, акумулятори LiFePO<sub>4</sub> знайшли своє застосування в транспортних засобах, стаціонарних додатках комунального масштабу та резервному живленні, зокрема домашньо-побутовому.

Технічні характеристики LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів:

- мінімальна напруга: 2.5 (В);
- номінальна напруга: 3.2 (В);
- максимальна напруга: 3.65 (В);
- питома енергоємність: 90-160 ((Вт·год)/кг).

Серед представлених та описаних типів хімії акумуляторних комірок літій-залізо-фосфатний акумулятор (LiFePO<sub>4</sub>) є самим оптимальним з точки зору ціни, питомої енергоємності, показників робочих меж напруг, а також температурного режиму роботи, що робить його самим кращим вибором для застосування у саморобній (DIY) збірці портативної зоряної станції.

#### 1.4 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження

Серед підходів до конструювання саморобної (DIY) зарядної станції є декілька можливих їх варіантів, вибір яких залежить від можливостей збірника, його бюджету та часу, що є на збірку. Зокрема можна виділити такі основні підходи до збірки саморобної портативної зарядної станції: на базі автомобільного АКБ, або на базі акумуляторної збірки LiFePO<sub>4</sub>-комірок.

У разі використання автомобільного АКБ має свої переваги, але й, одночасно, значні недоліки, в порівнянні з альтернативним варіантом. Якщо у вас є автомобільний АКБ, то вам не потрібно купувати ніякий інший акумулятор чи їх збірку. Це належить до переваг, але на цьому, фактично, переваги

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закінчуються, так як використання автомобільного АКБ обтяжено значними недоліками. Зокрема, першим недоліком є хімія такого акумулятора, з якого витікає більшість інших недоліків. Хімія типового автомобільного АКБ – це свинцево-кислотний акумулятор, який, по сучасним міркам, є застарілим та нерентабельним для застосування у портативній зарядній станції. Другим недоліком є напруга такого акумулятора, а саме 12 В. Хоча така напруга акумулятора є дещо типовою серед зарядних станцій, але вона буде обмежувати майбутню збірку по максимальному робочому струму, яку може витримати акумулятор і скільки віддати для виконання енергозабезпечення.

Альтернативним варіантом, який по своїй суті є самим кращим з точки зору побудови ідеальної портативної зарядної станції є використання сукупності акумуляторних комірок з літій-залізо-фосфатною хімією ( $\text{LiFePO}_4$ ). Побудова акумуляторного блоку, що оснований на використанні сукупності послідовно з'єднаних  $\text{LiFePO}_4$ -комірок має низку переваг не тільки над автомобільними АКБ, але й над іншими типами акумуляторних комірок. Зокрема, вирощання окремих комірок дозволяє організувати будь-яку конфігурацію батареї.

### 1.5 Висновки до розділу

У першому розділі було проведено теоретичний аналіз та дослідження усієї доступної інформації, щодо відомостей про компонентну базу типової зарядної станції: з чого вони складаються, які є різновиди компонентів, як вони пов'язані між собою та які компоненти є самими оптимальними. Виконана класифікація та порівняння деяких розглянутих компонентів з ціллю набути як можна більших знань з усіх можливих характеристик та аспектів, що є необхідними при проектуванні та збірці власного саморобного пристрою з енергозабезпечення. Здійснено постановку задачі відносно поставленої теми та визначено дії стосовно розробки визначеного пристрою.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ З СИСТЕМОЮ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ ГОЛОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ESP32

2.1 Визначення апаратних і програмних підсистем апаратно-програмного комплексу

Після проведення аналізу та вивчення усієї доступної та необхідної теоретичної інформації, що стосується компонентної бази типової зарядної станції, як багатокomпонентної системи, можна виділити такі її основні визначальні складові елементи:

- 1) збірка акумуляторних елементів;
- 2) інвертор напруги з постійної у змінну;
- 3) зарядний блок;
- 4) плата BMS;
- 5) запобіжна система;
- 6) набір вхідних та вихідних конекторів / портів;
- 7) програмна оболонка для відстеження показників та роботи системи.

Маючи розуміння того, з яких елементів складається типова зарядна станція, можна перейти до етапу, на якому відбувається визначення того, які характеристики повинна мати зарядна станція для задоволення усіх необхідних мінімальних та оптимальних потреб користувача. До таких характеристик можна віднести:

- 1) ємність акумуляторної збірки у Вт·год;
- 2) середня та пікова потужність інвертора напруги у Вт;
- 3) швидкість заряджання від мережі у Вт;
- 4) параметри та можливості BMS-плати;
- 5) кількість та якість запобіжної системи;
- 6) кількість та функціональність вхідних та вихідних конекторів / портів;
- 7) зручність та функціональність програмної оболонки.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після того, як було проведено визначення критеріїв, по яким зарядна станція повинна задовольняти свого користувача, згідно його потреб та бажань, можна перейти до проектування пристрою енергозабезпечення, маючи необхідні характеристики, по яким розроблювана зарядна станція повинна відповідати. У разі відповідності та задовільнення параметрів реалізованого пристрою поставленим критеріям, виконану роботу з проектування та збірки апаратно-програмного пристрою з надання енергозабезпечення з можливістю відслідковування головних фізико-технічних показників можна буде вважати успішною. Зокрема, річ йде про реалізацію таких поставлених характеристик: високої ємності акумулятора; високої потужності інвертора; високої потужності зарядного блоку,

Ємність акумуляторної збірки повинна складати таке значення у Вт·год, що давала би змогу використовувати розроблюваний пристрій зарядної станції протягом щонайменше 24 годин безперервно від повного 100%-го зарядку при довготривалій середній вихідній потужності споживання у 200 Вт·год;

Значення у 200 Вт·год було обрано з тієї причини, тому що це типове середня значення споживання домашнього господарства при використанні таких споживачів: сучасний енергоефективний холодильник (з морозильною камерою); 2 - 3 світлодіодні лампи загального призначення; 1 - 2 використовувані зарядні блоки для заряджання мобільних пристроїв швидкою зарядкою (18 Вт).

Для реалізації поставленої задачі у визначений мінімальний час роботи зарядної станції на віддачу визначеної кількості електроенергії, мінімальна ємність акумуляторної пристрою повинна складати значення, що визначається за формулою 2.1 нижче:

$$C_{\min} = P \cdot t, \quad (2.1)$$

де  $C_{\min}$  – мінімальна задовільна ємність акумуляторної збірки зарядної станції;

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P$  – загальна середньозважена потужність споживання електроенергії включеними споживачами;

$t$  – кількість часу у годинах, протягом якого акумуляторна збірка зарядної станції повинна віддавати вказану потужність  $P$ .

$$C_{\text{мін}} = 200 \cdot 24 = 4800 \text{ (Вт)}. \quad (2.2)$$

Мінімальна ємність акумуляторної пристрою зарядної станції повинна складати як мінімум 4800 Вт, щоб задовільнити поставлену мету. В подальших розрахунках дане значення ємності бути братися за типове / загальне, тобто:

$$C = C_{\text{мін}}. \quad (2.3)$$

Максимальна тривала потужність інвертора напруги зі змінної у постійну повинна складати близько 2 кВт для забезпечення можливості включення та використання практично будь-якого домашнього споживача. Хоча б тільки одного одночасно. Пікова ж потужність інвертора, для того, щоб витримувати навантаження при запуску деяких потужних пристроїв, повинна складати подвійне значення відносно тривалого максимального споживання, тобто 4 кВт. Даної потужності повинно вистачити для реалізації задоволення по включенню практично будь-якого пристрою.

Звідси маємо такі розрахунки за формулою 2.4 нижче:

$$P_{\text{пik}} = 2 \cdot P_{\text{макс.сп.}}, \quad (2.4)$$

де  $P_{\text{пik.сп.}}$  – пікова потужність навантаження, яку може витримати інвертор напруги протягом короткого проміжку часу (2-5 с), для того, щоб запустити техніку, що має високі пикові струми;

$P_{\text{макс.сп.}}$  – максимальна потужність навантаження, яку може витримати інвертор напруги протягом тривалого (постійного) часу при нормальних умовах експлуатації.

Звідси маємо такі розрахунки за формулами 2.5-2.6 нижче:

$$P_{\text{макс.сп.}} = 2 \text{ (кВт)}, \quad (2.5)$$

$$P_{\text{пik.сп.}} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ (кВт)}. \quad (2.6)$$

Зокрема також слід наголосити, що інвертор обов'язково повинен працювати по технологією утворення ідеальної синусоїди з правильною частотою та вихідною напругою, що відповідає аналогічним параметрам електропостачання міської мережі.

Швидкість, або потужність, заряджання акумуляторним блоком від мережі акумуляторної збірки зарядної станції від 0% до 100% ємності повинна складати рівний або менший час типового часу наявності електроенергії у мережі, коли світло з'являється за графіком (чергою) відключень. Оскільки електроенергія, під час виникнення нестабільної ситуації у інфраструктурі енергопостачання побутових споживачів, надається приблизно 2-4 години до наступного чергового відключення, швидкість заряджання зарядної станції повинна складати значення за формулами 2.7-2.8 нижче:

$$P_{\text{опт.зр.}} = C \cdot \frac{1}{t_{\text{опт}}}, \quad (2.9)$$

$$P_{\text{мін.зр.}} = C \cdot \frac{1}{t_{\text{мін}}}, \quad (2.10)$$

де  $P_{\text{опт.зр.}}$  – оптимальна / ідеальна потужність заряджання зарядного блоку;  
 $P_{\text{мін.зр.}}$  – мінімальна / гранично допустима потужність заряджання зарядного блоку;

$C$  – ємність акумуляторної збірки зарядної станції;

$t_{\min}$  – мінімально велика кількість часу у годинах, протягом якого акумуляторна збірка зарядної станції повинна бути заряджена від 0% до 100%;

$t_{\text{opt}}$  – оптимально мала кількість часу у годинах, протягом якого акумуляторна збірка зарядної станції повинна бути заряджена від 0% до 100%;

Звідси маємо такі розрахунки за формулами 2.11-2.12 нижче:

$$P_{\text{опт.зр.}} = 4800 \cdot \frac{1}{2} = 2400 \text{ (Вт)}, \quad (2.11)$$

Оптимальна потужність зарядного блоку пристрою зарядної станції повинна складати близько 2400 Вт, щоб задовільнити умовам при найменшому можливому часі надання електроенергії, у кількості близько двох годин, під час чергових відключень.

$$P_{\text{мін.зр.}} = 4800 \cdot \frac{1}{4} = 1200 \text{ (Вт)}. \quad (2.12)$$

Мінімальна потужність зарядного блоку пристрою зарядної станції повинна складати близько 1200 Вт, щоб задовільнити умовам при найбільшому можливому часі надання електроенергії, у кількості близько чотирьох годин, під час чергових відключень.

Конфігурація акумуляторної збірки повинна бути самою оптимальною з точки зору затрачуваних коштів, розрахункових струмів та отримуваної кінцевої ємності. Враховуючи той факт, що пристрій зарядної станції розраховується на роботу з достатньо великими значеннями потужності заряджання та розряджання, струм, що буде пропускатися через збірку буде мати не малі значення. Саме тому потрібно підібрати таку конфігурацію послідовно розташованих акумуляторних елементів, щоб утворити схему, при якій ці самі струми пропускання були б оптимально мінімальними, при чому б кількість

аккумуляторних елементів складала б оптимально зручне значення. Основними типовими конфігураціями аккумуляторних збірок, як зазначалося в попередньому розділі, є конфігурації 4S ( $\approx 12$  В), 8S ( $\approx 24$  В), 12S ( $\approx 36$  В) та 16S ( $\approx 48$  В), серед яких буде проведено пошук оптимальної саме для даного випадку за формулою 2.13 нижче. Слід зазначити, що конфігурації аккумуляторної збірки з послідовно-паралельним розташуванням аккумуляторних елементів розглядатися не буде у зв'язку з відсутністю потреби у такій конфігурації та браку коштів.

$$A_i = \frac{P_{\text{макс.сп.}}}{U_{\text{конф } i}}, \quad (2.13)$$

де  $A_i$  – струм пропускання збірки зарядної станції при напрузі  $i$ -ої конфігурації аккумуляторної збірки;

$P_{\text{макс.сп.}}$  – максимальна потужність навантаження, яку може витримати інвертор напруги протягом тривалого (постійного) часу при нормальних умовах експлуатації;

$U_{\text{конф } i}$  – номінальна напруга  $i$ -ої конфігурації аккумуляторної збірки.

Звідси маємо такі розрахунки за формулами 2.14-2.17 нижче:

$$A_1 = \frac{2000}{12} \approx 167 \text{ (A)}, \quad (2.14)$$

Розрахункове значення пропускнуго струму аккумуляторної збірки зарядної станції при 12 В буде складати близько 167 А.

$$A_2 = \frac{2000}{24} \approx 83 \text{ (A)}, \quad (2.15)$$

Розрахункове значення пропускнуго струму аккумуляторної збірки зарядної станції при 24 В буде складати близько 83 А.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_3 = \frac{2000}{36} \approx 56 \text{ (A)}, \quad (2.16)$$

Розрахункове значення пропускового струму акумуляторної збірки зарядної станції при 36 В буде складати близько 56 А.

$$A_4 = \frac{2000}{48} \approx 42 \text{ (A)}, \quad (2.17)$$

Розрахункове значення пропускового струму акумуляторної збірки зарядної станції при 48 В буде складати близько 42 А.

Отримавши розрахункові значення пропускового струму акумуляторної збірки зарядної станції для різних конфігурацій цієї самої акумуляторної збірки, можна зробити заключення, що самою оптимальною конфігурацією буде конфігурація 8S і це є так з декількох причин, таких як:

1) дана конфігурація потребує використання лише 8-ми акумуляторних елементів, розташованих послідовно, що є оптимальною кількістю під час збірки зарядної станції;

2) конфігурація 8S дозволяє зібрати акумуляторну збірку з номінальною напругою близько 24 В, що вкладається у межі 12-30 В, в яких працює переважна кількість електронної техніки і дозволяє використовувати різноманітні компоненти найвищого спектру кількості;

3) при очікуваній максимальній постійній вихідній потужності інвертора напруги у 2 кВт, максимальний струм пропускання буде складати близько 83-ох А, що дозволить використовувати у збірці кабелі не занадто високого калібру, близько 4 AWG, що теж впливає ну зручність збірки та надійність системи.

Для визначення точного значення струму пропускання акумуляторної збірки зарядної станції потрібно розрахувати дане значення за точним значенням напруги акумуляторної збірки при використанні конкретних типів акумуляторів. Зокрема для досягнення самих оптимальних параметрів збірки зарядної станції, з точки зору витрачених коштів та вихідних характеристик, самим оптимальним

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

типом хімії акумуляторних елементів для створення акумуляторної збірки буде літій-залізо-фосфат (LiFePO<sub>4</sub>). Номінальна напруга одного акумуляторного елемента з даною хімією є значення у 3.2 В. Звідси можна розрахувати точне значення струму протікання з формулою 2.18 нижче:

$$A = \frac{P_{\text{макс.сп.}}}{s \cdot U_{\text{а.е.}}}, \quad (2.18)$$

де  $A$  – струм пропускання збірки зарядної станції;

$P_{\text{макс.сп.}}$  – максимальна потужність навантаження, яку може витримати інвертор напруги протягом тривалого (постійного) часу при нормальних умовах експлуатації;

$s$  – кількість акумуляторних елементів, розташованих послідовно;

$U_{\text{а.е.}}$  – номінальна напруга одного акумуляторного елемента (визначеної хімії);

Звідси маємо такі розрахунки за формулою 2.19 нижче:

$$A = \frac{2000}{8 \cdot 3.2} = \frac{2000}{25.6} \approx 78 \text{ (A)}. \quad (2.19)$$

Пропускна здатність BMS-плати у амперах, пристрою зарядної станції, повинна відповідати заданим потребам відповідно до потужності заряджання та розряджання акумуляторної збірки. Якщо можливості BMS-плати не будуть відповідати хоча б заданому мінімуму, то вона може стати слабкою ланкою усієї збірки, не даючи повністю розкриватися іншим компонентам пристрою і, крім цього, створюючи серйозну небезпеку пожежі та короткого замикання, яке може статися через її перевантаження та вихід з ладу. Саме тому розраховувати значення потужності, або пропускної здатності, BMS-плати потрібно зі значним запасом задля нівелювання можливості виникнення перевантаження, загоряння

та замикання. Розраховується дане значення потужності у амперах (А) за формулою 2.20 нижче:

$$A_{BMS} = \frac{P_{\text{макс.сп.}}}{U_{\text{а.з.}}}, \quad (2.20)$$

де  $A_{BMS}$  – максимальний постійний струм пропускання BMS-плати під час заряджання і/або розряджання акумуляторної збірки;

$U_{\text{а.з.}}$  – номінальна напруга акумуляторної збірки (визначеної хімії);

$P_{\text{макс.сп.}}$  – максимальна потужність навантаження, яку може витримати інвертор напруги протягом тривалого (постійного) часу при нормальних умовах експлуатації.

Звідси маємо такі розрахунки за формулою 2.21 нижче:

$$A_{BMS} = \frac{2000}{25,6} \approx 78 \text{ (А)}. \quad (2.21)$$

Отримавши розрахункове значення пропускну здатності BMS-плати, згідно сказаної раніше тези, що по характеристиці потужності BMS-плати повинен бути значний запас, отримане значення можна сміло підняти / округлити до цілих 100 А, що надасть повну впевненість у довговічності та надійності такої BMS-плати. Тому, звідси, кінцеве значення струму пропускання BMS-плати буде мати значення за 2.22 формулою нижче:

$$A_{BMS} = 100 \text{ (А)}. \quad (2.22)$$

Для того, щоб зарядна станція була максимально функціональним пристроєм, тобто дозволяла б використовувати себе у будь-яких ситуаціях з будь-якими умовами, зокрема для підключення до неї для живлення чи заряджання будь-якої техніки та електроніки, вона повинна бути оснащена як

можна більшим набором усе можливих та загально розповсюджених вхідних та вихідних конекторів. Зокрема, до складу вхідних та вихідних інтерфейсів зарядної станції повинні входити: вихідні USB-конектори типу А та С; вхідні / вихідні сокети та конектори роз'єму XT60; один або декілька портів припалювача; євро вилка типу F на виході інвертора напруги.

Повинен бути простий та зручний прикладний інтерфейс для моніторингу стану параметрів зарядної станції. Завдяки наявності такої оболонки користувач завжди буде в курсі усіх фізико-технічних параметрів системи, що надасть можливість повного та детального відстеження «здоров'я» збірки пристрою зарядної станції.

Необхідна наявність достатньої кількості надійних запобіжних систем, щоб мати можливість вберегти систему від часткового чи повного виходу з ладу у максимально великому спектрі можливих сценарії негативного розвитку подій. Зокрема, для забезпечення найбезпечнішого прямого підключення зарядної станції до домашнього господарства в якості джерела електроенергії. Для реалізації такої системи необхідний такий електромеханічний пристрій як автоматичний ввід резерву (АВР), або трьох позиційний перемикач.

## 2.2 Визначення взаємодії компонентів апаратно-програмного комплексу

Для того, щоб реалізувати розроблювану систему, створювану окремими компонентами, що були розглянуті раніше, пристрій потрібно коректно зібрати відповідно до схеми з'єднань і взаємодій усіх компонентів зарядної станції. Зокрема річ йде про коректне підключення та з'єднання усіх клем та кабелів, а також дотримання техніки безпеки при роботі зарядженими електропровідними матеріалами.

На рисунку 2.1 зображено спрощену повну схему з'єднань усіх основних компонентів апаратно-програмного пристрою. Згідно цієї схеми буде проводитися деталізація взаємодії компонентів між собою та їх особливостей.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





електричній схемі акумуляторного блоку. Зокрема це контакти В- та Р-. Дані контакти мають таке призначення:

- контакт В- (скорочення від Battery) використовується для з'єднання BMS-плати через силовий кабель до загального мінусу акумуляторної збірки;
- контакт Р- (скорочення від Power) використовується для з'єднання BMS-плати через силовий кабель, або прямо на клему контакту, мінусових кабелів пристроїв навантаження та заряджання. Плюсові ж кабелі цих пристроїв з'єднуються прямо з загальною плюсовою клемою акумуляторної збірки.

Також будь-яка сучасна модель BMS-плати має у складі своєї схемотехніки конектор (або сукупність посадочних місць) для під'єднання спеціальних балансуєчих кабелів, які з'єднуються з клемою плюсових контактів акумуляторних елементів (окрім самого першого, що з'єднується з загальним мінусовим контактом акумуляторної збірки, та самого останнього, що з'єднується разом з передостаннім кабелем із загальним плюсовим контактом акумуляторної збірки). Це робиться для того, щоб забезпечити контроль BMS-плати над розбіжністю значень напруг акумуляторних елементів акумуляторної збірки та коригувати цю розбіжність в процесі роботи, зокрема під час процесу заряджання. Деталізоване зображення з'єднання BMS-плати з акумуляторною збіркою та компонентами навантаження зображено на рисунку 2.3.

Наявність системи балансування напруги комірок є визначним фактором у забезпеченні довговічності роботи акумуляторних комірок та максимального подовження строку їх служби, що є дуже важливим для даного пристрою фактором. Без даної системи акумуляторний блок може дуже швидко стати деградувати, що призведе до стрімкого зменшення ємності акумуляторних комірок та до ризику того, що батарея стане не придатною до подальшого використання, або ж й до пожежної небезпеки при продовженні їх використання у такому стані.



## 2.3 Призначення та зв'язок програмного забезпечення на EPS32 у загальній структурі пристрою з BMS-платою. Напрямок розробки

Розробка спеціалізованого програмного забезпечення, для його використання разом із мікроконтролерною системою EPS32, це необхідний етап роботи над розробкою розглядуваного пристрою з надання енергозабезпечення для побутових споживачів. Зокрема, безпосереднє призначення чи задача розроблюваного програмного забезпечення полягає у наданні користувачу пристрою зарядної станції можливості повноцінного відслідковування усіх фізико-технічних параметрів системи у реальному часі із застосуванням суб'єктивно приємної для очей кольорової 2D-графіки, до складу якої повинні входити:

- 1) панель для відображення поточного значення залишкової ємності акумуляторної збірки зарядної станції;
- 2) стовпчики для відображення поточного значення напруги для кожної із послідовних акумуляторних комірок;
- 3) панель для відображення поточного значення струму заряджання / розряджання комірок акумуляторного блоку;
- 4) панелі для відображення поточних станів тих чи інших підсистем та процесів, що відбуваються / протікають у системі пристрою.

Необхідні графічні елементи повинні бути виконанні із застосування доцільних ліній та форм, що лаконічно та правильно розташовані одне відносно одного, утворюючи стриманий, але приємний дизайн, де кожна секція призначена для відображення визначеного фізико-технічного параметру системи. Кожний параметр системи, що характеризує той чи інший її показник, що буде зніматися з системи завдяки платі BMS, повинен відображатися у зручному для сприйняття вигляді, що не потребує прикладання додаткових зусиль для ідентифікації та надмірного часу порозуміння відображуваної інформації. Це все є необхідними вимогами для створення зручного та корисного

візуального інтерфейсу з використанням відповідного пристрою для відображення усієї інфографіки.

Безпосередній показ усієї розроблюваної інфографіки повинен відбуватися із застосування зовнішнього пристрою відображення цифрової картинки. Це буде реалізовано із застосування невеликого за розмірами цифрового дисплею з розпаяною мікросхемою драйверу та готовою бібліотекою, розробленою спільнотою програмістів на мікроконтролерних системах Arduino / ESP32, для спрощення розробки та підвищення якості та продуктивності кінцевого програмного компоненту розроблюваної системи пристрою зарядної станції.

Дизайн структури моделі загальної інформації панелі буде складатися з розташованих одне відносно одного блоків / панелей, спрощений вигляд якої зображений на рисунку 2.4.

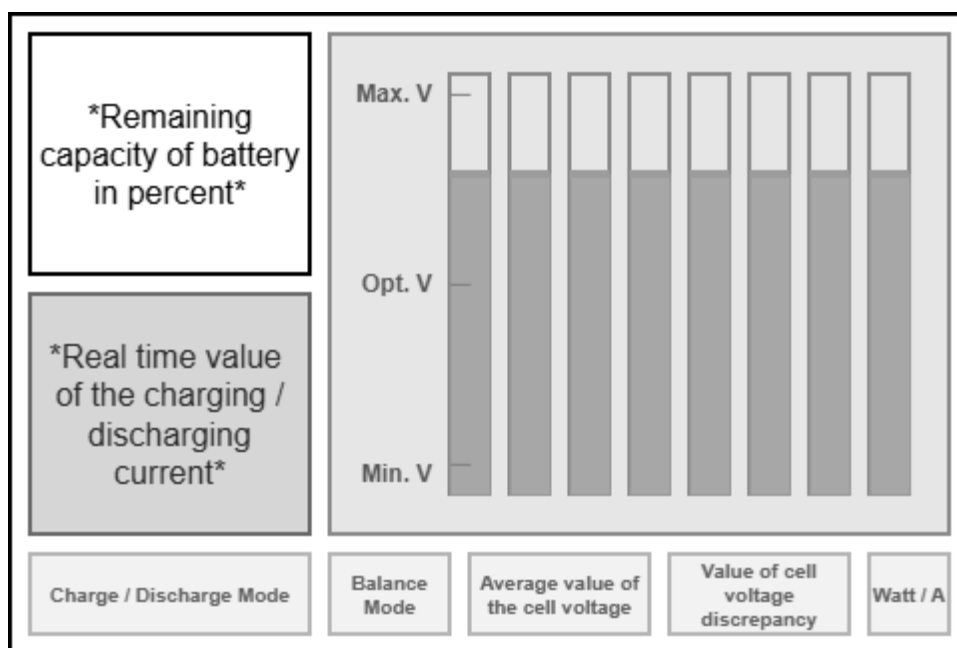


Рисунок 2.4 – Спрощений дизайн моделі загальної інформаційної панелі

Щоб задовільнити поставленій меті з розташування на одному екрані дисплею значної кількості графічних елементів та інформаційних показників, по апаратно-просторові показники повинні відповідати певним мінімальним значенням, зокрема:

- 1) значення ширини кожної сторони матриці повинне бути не менше трьохсот двадцяти пікселів (320×320 як мінімум);
- 2) довжина діагоналі повинна складати не менше трьох дюймів;
- 3) розрядність кольору не менше восьми біт;
- 4) матриця повинна мати можливість апаратного оновлення не менше як двадцять чотири рази на секунду, тобто максимальна частота оновлення екрану повинна бути не менше 24 Гц.

Основною бібліотекою для узгодження зв'язку між мікроконтролерною системою ESP32 та цифровим дисплеєм, що буде виконувати роль інформаційної панелі, буде розроблена спільнотою програмна бібліотека під назвою TFT\_eSPI. TFT\_eSPI – це програмна бібліотека, що дозволяє встановлювати обмін даним між мікроконтролерною системою сімейства ESP та різноманітними рідкокристалічних дисплеями з типом матричного дисплея TFT (Thin Film Transistor). Бібліотека розроблена для сумісної роботи з широким спектром різних дисплейних драйверів та будь-якої роздільної здатності матриці. Завдяки її широким можливостям з роботи з різними дисплеями та за багатьма функціями для створення графіки та її передавання на дисплей, вона була обрана для застосування у даній роботі, як сама функціональна та сама ефективна серед доступних.

Цифровим апаратним інтерфейсом ESP32 для встановлення зв'язку між мікроконтролерною системою та TFT-екраном буде застосований так званий SPI, або SPI-шина (Serial Peripheral Interface). SPI-шина – це послідовний синхронний повно-дуплексний стандарт передачі даних. Він використовується для простого сполучення мікроконтролерної системи та периферії, що до неї під'єднують. У даному випадку, даний інтерфейс є самим простим та ефективним засобом для з'єднання ESP32 та TFT-екрану, так як він забезпечує необхідну швидкість передачі даних для забезпечення високої швидкості оновлення екрану за прийнятною кількістю застосовуваних пінів плати ESP32. Зокрема SPI-шина може забезпечити швидкість передачі даних до 80 MHz ( $80 \cdot 10^6$  біт·с) при

чотирьох задіяних за схемою підключення пінів. Саме тому дана шина, та по сумісництву, протокол, було обрано для застосування для утворення з'єднання між ESP32 та TFT-екраном, а також тому, що шина SPI, це найпоширеніший засіб утворення з'єднання між мікроконтролером та драйвером екрану, із-за чого він частіше всього зустрічається серед готових рішень. Схему даного з'єднання ESP32 та TFT-дисплею по SPI-шині зображено на рисунку 2.5.

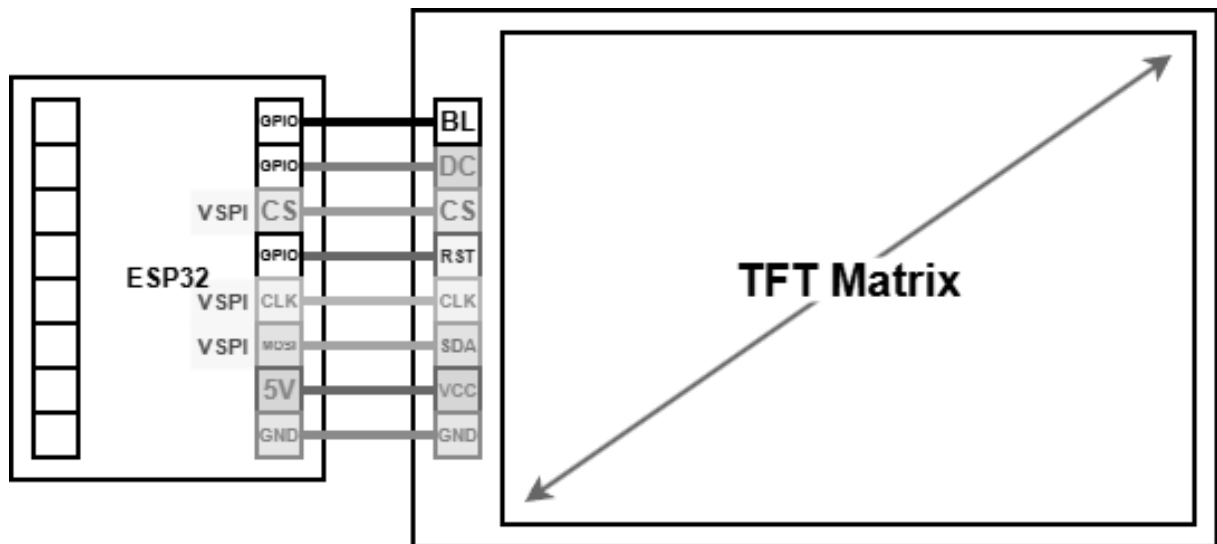


Рисунок 2.5 – Схема з'єднання ESP32 та TFT-дисплею по SPI-шині

Отримання інформаційних показників, для їх подальшого відображення на цифровій панелі / екрані буде відбуватися через опитування ESP32 BMS-плати регулярними запитами, з періодом запиту в одну секунду. При надходженні запиту на відправку інформації згідно показників системи від ESP32 програмне забезпечення BMS-плати формує відповідний звіт та відправляє його по каналу зв'язку назад до ESP32. В свою чергу, мікроконтролер, після отримання необхідних даних про показники системи, використовує їх для відображення на інформаційній панелі для обробки цієї інформації кінцевим користувачем. Відбувається влаштування зв'язку пристрій-програма-користувач, або машина-людина, завдяки цифровому інтерфейсу.

Спілкування пристроїв мікроконтролерної системи ESP32 та BMS-плати буде відбуватися у формі обміну інформації по фізичним каналам зв'язку з

використанням кабелів та відповідних інтерфейсів / протоколів з застосуванням спеціальної програмної бібліотеки, що дозволяє повністю узгодити спілкування пристроїв.

Фізичним апаратним інтерфейсом для обміну інформацією між ESP32 та BMS-платою був обраний протокол UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) у зв'язку з обмеженнями та спрощуваннями з боку BMS-плати. UART – це фізичний асинхронний протокол передачі даних між двома цифровими пристроями. Його основою перевагою є те, що для його роботи необхідно всього два контакти / піни на обох пристроях: TX (передача) та RX (прийом), тобто тут відсутній контакт / пін узгодження тактового сигналу, що спрощує з'єднання пристроїв.

За допомогою протоколу UART, мікроконтролерна система ESP32 буде регулярно опитувати BMS-плату на отримання актуальних показників системи, а саме:

- значення залишкової ємності акумуляторної збірки у відсотках;
- поточне значення напруги акумуляторної збірки у вольтах;
- поточна значення напруги на кожній акумуляторній комірці збірки у вольтах;
- поточне значення струму заряджання / розряджання акумуляторної збірки у амперах;
- поточне значення кількості спрацьованих циклів акумуляторної збірки;
- поточне найвище, найнижче значення напруги однієї з акумуляторних комірок, а також найбільша розбіжність у напрузі серед комірок у вольтах.

На текстоліті BMS-плати наявний розпаяний чотирьох-контактний конектор типу JST 1.25mm, де два крайніх кабелі, це плюс та мінус напруги акумуляторної збірки, а два центральних, це контакти протоколу UART – TX та RX. Зокрема, даний конектор і призначений для спілкування та обміну даними із зовнішніми пристроями, використовуючи протокол UART. За допомогою даного конектору на BMS-платі та протоколу UART можна налагодити обмін даними, а

са́ме опитування BMS-плати за допомогою ESP32 на актуальні значення фізико-технічних показників з давачів системи. Також даний конектор можна використовувати для безпосереднього живлення плати ESP32 від акумуляторної збірки пристрою зарядної станції, використовуючи відповідний понижуючий перетворювач напруги, що буде перетворювати напругу акумулятора на напругу, необхідну для нормальної роботи ESP32, а саме 5 В. Схему даного з'єднання ESP32 та BMS-плати по UART-протоколу зображено на рисунку 2.6.

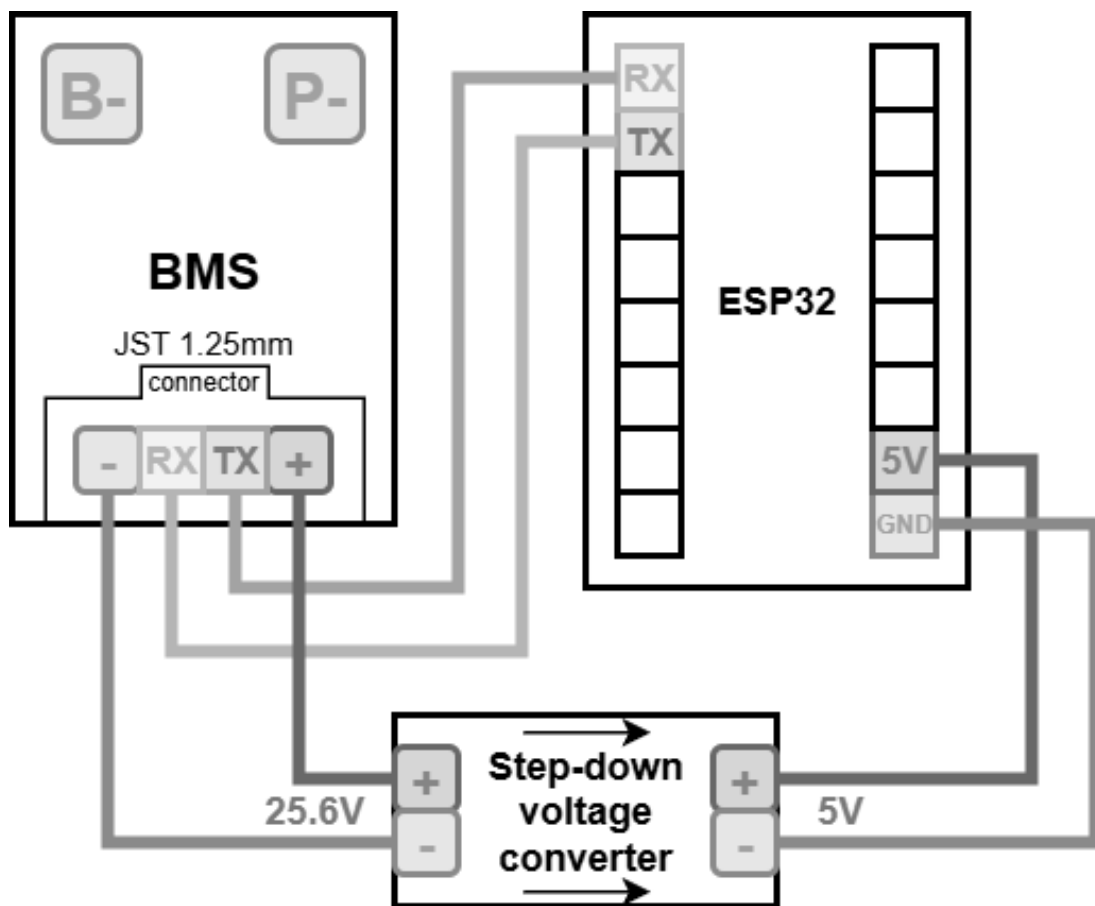


Рисунок 2.6 – Схема з'єднання ESP32 та BMS-плати по UART-протоколу

Загалом, підсумовуючи описані схеми з'єднань мікроконтролерної системи EPS32, BMS-плати та TFT-дисплею, можна утворити деталізовану схему з'єднань, зображену на рисунку 2.7 т нижче, яка в повній мірі описує загальне підключення усіх загаданих пристроїв.

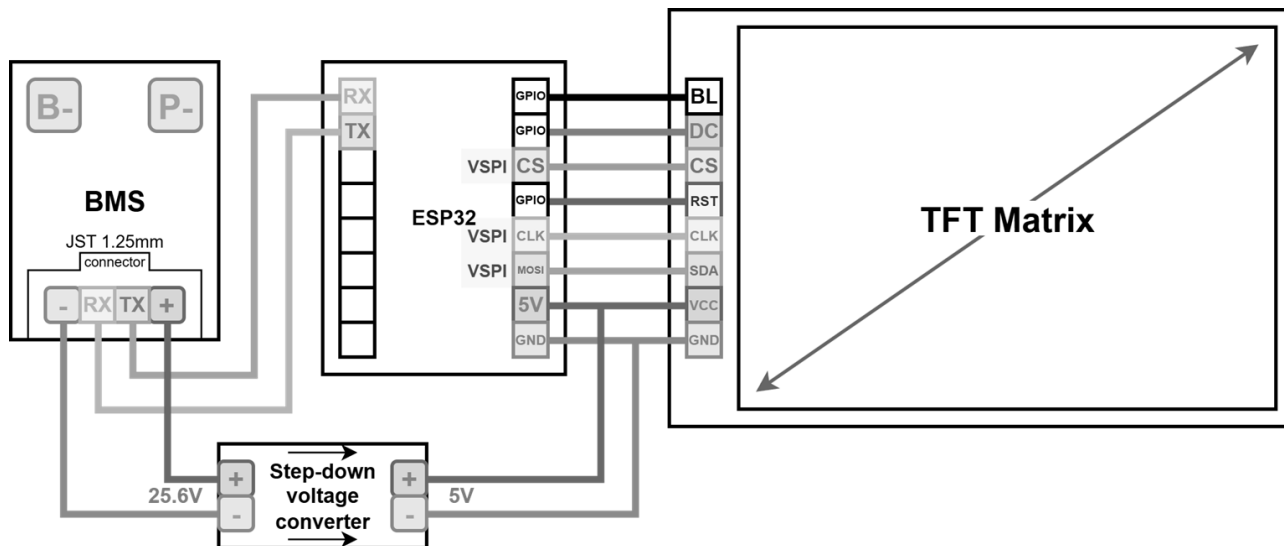


Рисунок 2.7 – Загальна деталізована схема з’єднання ESP32, BMS-плати та TFT-дисплею

Для безпосереднього написання програмного коду програмного забезпечення проекту, тобто для процесу, саме, програмування, необхідне відповідне для поточних умов та задача інтегроване середовище розробки, воно ж відоме як IDE. Інтегроване середовище розробки (Integrated development environment, IDE) – це комплексне програмне рішення для розробки різноманітного програмного забезпечення. Таке програмне рішення зазвичай складається з редактора написання та редагування коду, інструментів для автоматизації складання та відлагодження програм [29].

Для написання безпосереднього програмного забезпечення проекту, що представляє собою простий графічний користувацький інтерфейс для відстежування фізико-електричних показників системи, було обрано використовувати два сучасних IDE для розробки програмного забезпечення для мікроконтролерних системи: Arduino IDE та Visual Studio Code, зокрема спеціальну оболонку, створену спільнотою розробників користувацьких рішень, що має назву PlatformIO IDE, яке, як і виходить з назви, представляє собою інтегроване середовище розробки, всередині Visual Studio Code [30].

Arduino IDE, як інтегроване середовище розробки, особливо виділяється своїм суб’єктивно приємним, до новачків у даній сфері, користувацьким

інтерфейсом та інструментами для налагоджування проекту та встановлення коректного зв'язку між програмою використовуваним мікроконтролером. [31] Ці показники роблять його оптимальним рішенням для програмістів початково рівня, які тільки розпочинають свій шлях з навчання написання програми для їх роботи на одноплатних мікроконтролерних системах.

Visual Studio Code та PlatformIO IDE представляють собою інтегровані середовища розробки просунутого рівня, для програмістів високого рівня, яким потрібне середовище з великою кількістю налаштувань параметрів з можливістю мати повний контроль над процесом програмування, завантаження та роботи програми на використовуваному мікроконтролері. [32] Використовуючи дані IDE розробник можна отримати змогу розробити складне та багатозадачне програмне забезпечення, використовуючи усі можливості апаратного забезпечення обраного одноплатного мікроконтролера.

Використовуючи Arduino IDE, було закладено фундамент програмного забезпечення проекту, а також був проведений процес базового ознайомлення / навчання з роботи з мовою програмування, що представляє собою оптимізовану та налагоджену версію C++ для роботи з мікроконтролерними системи на базі Arduino, ESP32, ESP8266 та інших. [33] Після того, як основу проекту було закладено, був проведений перехід до інтегрованого середовища розробки Visual Studio Code, зокрема PlatformIO IDE, в якому було продовжено та закінчено роботу на програмним середовищем проекту. Таким чином був проведений процес програмування програмного забезпечення розроблюваного проекту.

Використання декількох інтегрованих середовищ розробки під час розробки програмного забезпечення розроблюваного пристрою дало змогу ознайомитися та опанувати різні можливості мови програмування та здібностей одноплатної мікроконтролерної системи ESP32 з різних боків, що створило підґрунтя для прискореної процесу роботи над проектом та покращило його кінцеву якість. Це стало невід'ємним позитивним показником, що корисно відобразився на усій виконаній роботі.



### 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ФУНКЦІЄЮ БОРТОВОГО МОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

3.1 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу

Після того, як було закінчено визначення та підрахунок усіх параметрів головних компонентів розроблюваного пристрою, а також моделювання необхідних з'єднань для утворення цільної системи, можна перейти до безпосереднього відбору реальних компонентів та складових пристроїв, що можна знайти у продажі, для їх збірки у готове рішення зарядної станції.

Першим компонентом у пошуку та купівлі є акумуляторна збірка, зокрема акумуляторний елемент, з яких вона буде складатися. Беручи до уваги розрахований параметр мінімальної ємності однієї комірки,  $C_{\min}$ , у значенні не менше як 200 А·год, а також те, що хімія даної комірки повинна бути строго  $\text{LiFePO}_4$ , можна шукати підходящий продукт.

Виконавши проведення аналізу роздрібного ринку акумуляторних комірок в межах українських та закордонних магазинів, були знайдені оптимальні комірки найвищого класу якості. Даними комірками стали одиниці марки EVE моделі LF230, зовнішній вигляд яких представлений на рисунку 3.1. Дана модель представляє собою комірки призматичного типу, якості класу А, що має такі представленні характеристики:

- номінальна ємність: 230 А·год;
- розміри: 204.6Д·173.9Ш·53.85Г мм;
- довжина з врахуванням клем: 207.2 мм;
- максимальний тривалий струм розрядження: 230 А (1 С);
- максимальний тривалий струм зарядження: 115 А (0.5 С);
- вага: 4.14 кг;
- кількість циклів: >4000 (25 °С), >2000 (45 °С).

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд LiFePO<sub>4</sub> комірки моделі EVE LF230 [45]

Дана модель LiFePO<sub>4</sub> комірки була обрана як самий оптимальний варіант з точки зору ємності, фізико-хімічних властивостей та ціни, зокрема у 37.96 євро, по курсу євро на момент покупки 47.89 гривень. Загалом, в перерахунку на 8 куплених комірок, загальна вартість комірок склала 303.68 євро, або 14886.28 гривень, з врахуванням вартості доставки та без митного декларування, якому дані комірки не підлягали на момент замовлення.

Інвертор напруги з постійної у змінну, за розрахованими параметрами повинен мати показники постійної витривалості та пікової потужності,  $P_{\text{пик.сп.}}$  та  $P_{\text{макс.сп.}}$ , близько 2 кВт та 4 кВт відповідно. Це необхідно для того, щоб утворювана з ним зарядна станція мала можливість забезпечувати живленням навіть самі потужні побутові споживачі, такі як: мікрохвильова піч, водяний бойлер, або пральна машина.

Виконавши проведення аналізу роздрібного ринку інверторів напруги в межах українських та закордонних магазинів, був знайдений оптимальний варіант даного типу пристрою. Даним пристроєм став інвертор марки Nouli моделі HPWD0020U, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 3.2. Дана модель представляє собою класичний «автомобільний» інвертор напруги, який, зокрема може показати значні можливості продуктивності, ефективності, надійності, що представленні такими характеристиками:

- номінальна вхідна напруга: 24 В (постійна);
- мінімальна вхідна напруга: 20 В;
- максимальна вихідна напруга: 30 В;
- вихідна напруга та її частота: 220 В та 50 Гц (змінна);
- максимальне тривале навантаження: 2 кВт;
- максимальне пікове навантаження: 4 кВт (протягом п'яти секунд);
- розміри: 328Д·150Ш·70Г мм;
- вага: 2.6 кг.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд інвертора напруги моделі HOULI HPWD0020U [46]

Дана модель інвертора була обрана як самий оптимальний варіант з точки зору потужності, якості та ціни, зокрема у 4104.61 гривень з врахуванням вартості доставки та без митного декларування, якому даний інвертор не підлягав на момент замовлення.

					КвРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зарядний пристрій, за розрахованими параметрами повинен мати показник потужності / швидкості заряджання акумуляторної збірки за мінімальним та оптимальним значення,  $P_{\min.зр.}$  та  $P_{opt.зн.}$ , близько 1.2 кВт та 2.4 кВт відповідно. Це необхідно для того, щоб досягти швидкості заряджання акумуляторної збірки, яке б забезпечувала повне заряджання батареї за 2.5 та 5 годин відповідно.

Виконавши проведення аналізу роздрібного ринку зарядних блоків у категорії, що підлягають у використанні для заряджання сформованої акумуляторної збірки, в межах українських та закордонних магазинів, був знайдений оптимальний варіант даного типу пристрою. Даним пристроєм став зарядний блок марки AFU моделі AF900-20225B, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 3.3. Дана модель представляє собою просунутий зарядний пристрій для заряджання акумуляторний 8S-збірок з комірками хімії  $\text{LiFePO}_4$ , з чудовими характеристиками:

- вихідний струм заряджання: 25 А;
- вихідна напруга заряджання: 29.2 В;
- вихідна потужність заряджання: 730 Вт ;
- розміри: 212Д·93.5Ш·60Г мм;
- вага: 1.2 кг.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд зарядного пристрою моделі AFU AF900-20225B [47]

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дана модель зарядного пристрою була обрана як самий оптимальний варіант з точки зору потужності (швидкості заряджання) та ціни, а саме у 2225.66 гривень з врахуванням вартості доставки та без митного декларування, якому даний інвертор не підлягав на момент замовлення. Хоча фактично даний зарядний блок не підходить по розрахованим параметрам мінімальної та оптимальної потужності, що були розраховані у попередньому розділі, дана модель обрана з причини браку асортименту зарядних пристроїв у класі потужності більше одного кіловату.

BMS-плата, за розрахованими параметрами повинна мати показник витривалого протікання струму,  $A_{BMS}$ , не менш ніж 78 А. Це необхідно для того, щоб забезпечити можливість роботи інвертора напруги не менше ніж 2 кВт постійної тривалої потужності, без можливості виходу з ладу плати BMS, що не буде робити її вузьким місцем у всій системі та еkleктичній схемі зокрема.

Виконавши проведення аналізу роздрібного ринку плат керування акумуляторами у категорії, що підлягають у використанні разом 8S акумуляторною збіркою акумуляторних комірок, в межах українських та закордонних магазинів, був знайдений оптимальний варіант даного типу пристрою. Даним пристроєм стала BMS-плата марки JKONG (або просто JK) моделі V1A8S10P, зовнішній вигляд якої представлений на рисунку 3.4. Дана модель представляє собою надійний та зарекомендувавший себе пристрій для керування процесами заряджання та розряджання акумуляторних комірок акумуляторних збірок до 8S включно, з комірками хімії LiFePO<sub>4</sub>. Її репутація підтверджується такими представленими характеристиками:

- тривалий струм заряджання / розряджання (протікаючий): 100 А;
- струм балансування: 1 А;
- захист від короткого замикання: Так;
- рахівник напрацьованих циклів: Так;
- розміри: 153Д·126Ш·18Г мм;
- вага: 1 кг.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

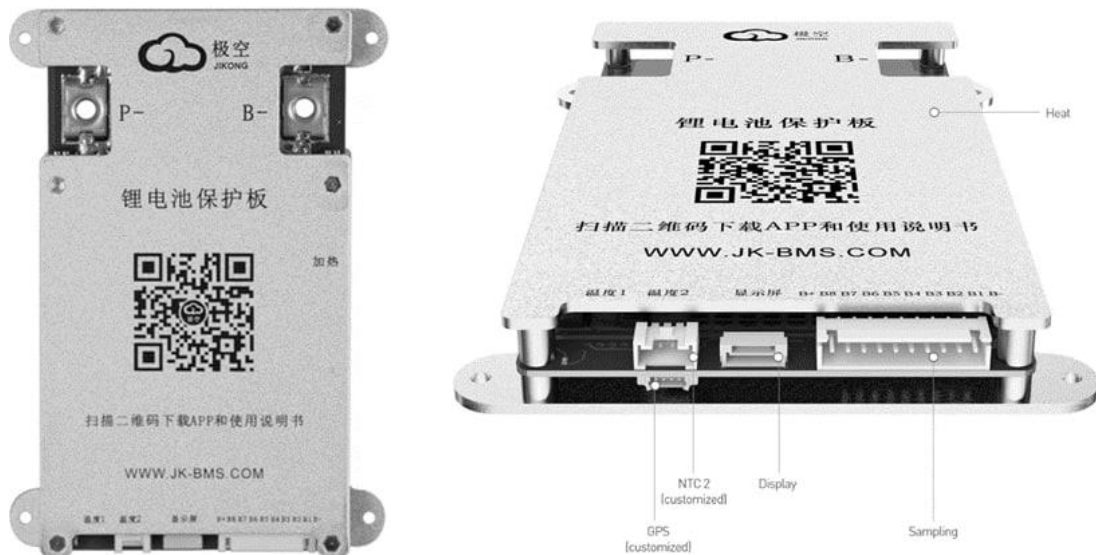


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд BMS-плати моделі JK B1A8S10P [48]

Дана модель BMS-плати була обрана як самий оптимальний варіант з точки зору тривалого протікаючого струму та ціни, а саме у 942.57 гривень з врахуванням вартості доставки. Також даний пристрій був обраний з тієї причини, що він надає можливість опитування внутрішніх датчиків, наявних у складі BMS-плати за допомогою провідного (порт GPS) та безпроводного (Bluetooth) інтерфейсу, що необхідно для повноти реалізації користувацького інтерфейсу з використання системи інтернету речей.

Мікроконтролер, що буде виконувати роль зв'язувача між BMS-платою, датчиками та екраном, як було зазначено у попередньому розділі, був обраний від серійного сімейства потужних, енергоефективних та багатфункціональних 32-бітних мікроконтролерів, виробництвом Espressif Systems, а саме одноплатний мікроконтролер ESP32.

Проаналізувавши наявні та доступні до покупки варіанти кристалів та сумісних плат розширення задля полегшення процесу розробки та подальшої збірки було обрано варіацію одноплатної мікроконтролерної системи на базі драйверу CP2102, що, разом з відповідною платою розширення має зовнішній вигляд представлений на рисунку 3.5 та такі характеристики, необхідні для реалізації проекту, що представлені нижче:



використання наявного у власності користувача його власного зарядного з USB-портами, що підтримують швидку зарядку. Також, це робить розроблювану систему краще, як пристрій, що дозволяє жити та заряджати широкий спектр пристроїв, використовуючи джерела змінної та постійної напруги.

Проаналізувавши наявний та доступний до покупки спектр плат заряджання з USB-портами Type-A та Type-C з потужністю 20-100 Вт, які могли би справно функціонувати при вхідній напрузі акумуляторної збірки в діапазоні 25.6-29.2 В, були підібрані та придбані три плати заряджання, що зображені на рисунках 3.6-3.8 та представленні далі. Вони не мають фактичного виробника та назви моделі, тому вони будуть представлені та охарактеризовані, використовуючи загальну видану марку:

Перший модуль:

- тип наявних портів: USB Type-A;
- кількість наявних портів: 4;
- вихідна потужність на один порт: до 24 Вт;
- вольт-амперні типи заряджання: 5 В / 3.4 А, 9 В / 2.5 А, 12 В / 2 А;
- протоколи заряджання: DCP, BC1.2, Apple, Samsung, FCP/SCP, AFC, SFCP, QC2.0, QC3.0, MTK PE1.1/PE2.0;
- вхідна напруга: 6-32 В;
- вхідний конектор живлення: DC5521.

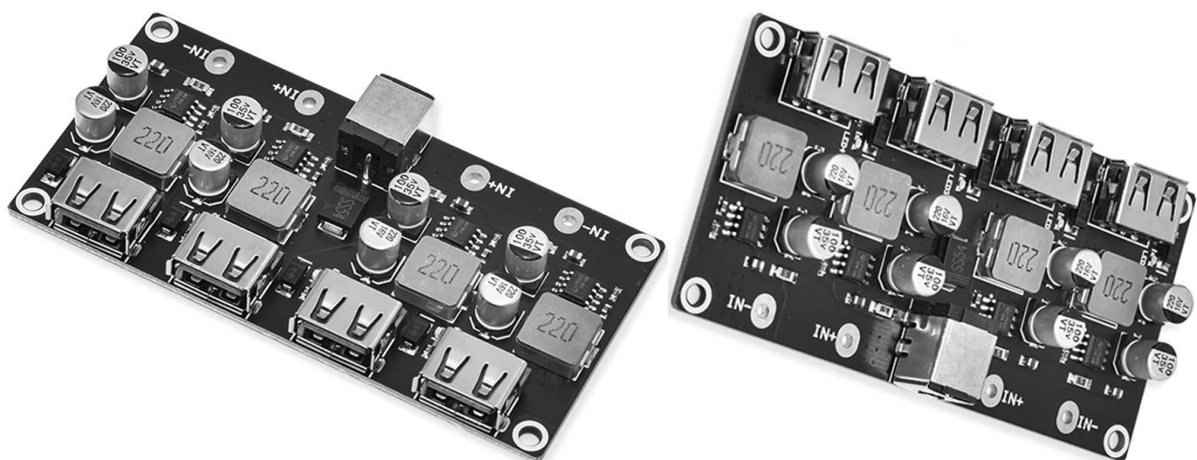


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд першої плати заряджання з USB-портами [50]

Даний модуль найкраще підходить для заряджання живлення низькопотужних пристроїв, що не потребують потужність у значенні більше ніж 24 Вт. До таких пристроїв можна віднести: світлодіодні стрічки, настільні вентилятори, смарт-годинник, смартфони та інше.

Другий модуль:

- тип наявних портів: USB Type-C;
- кількість наявних портів: 4;
- вихідна потужність на один порт: до 65 Вт;
- вольт-амперні типи заряджання: 5 В / 3 А, 9 В / 3 А, 12 В / 3 А, 15 В / 3 А, 20 В / 3.25 А, 3.3-16 В / 3.25 А, 3.3-21 В / 3 А;
- протоколи заряджання: PD2.0, PD3.0 (PPS), DCP, BC1.2, Apple, Samsung, FCP/SCP, AFC, SFCP, QC2.0, QC3.0, MTK PE1.1/PE2.0;
- вхідна напруга: 12-30 В;
- вхідний конектор живлення: DC5521.

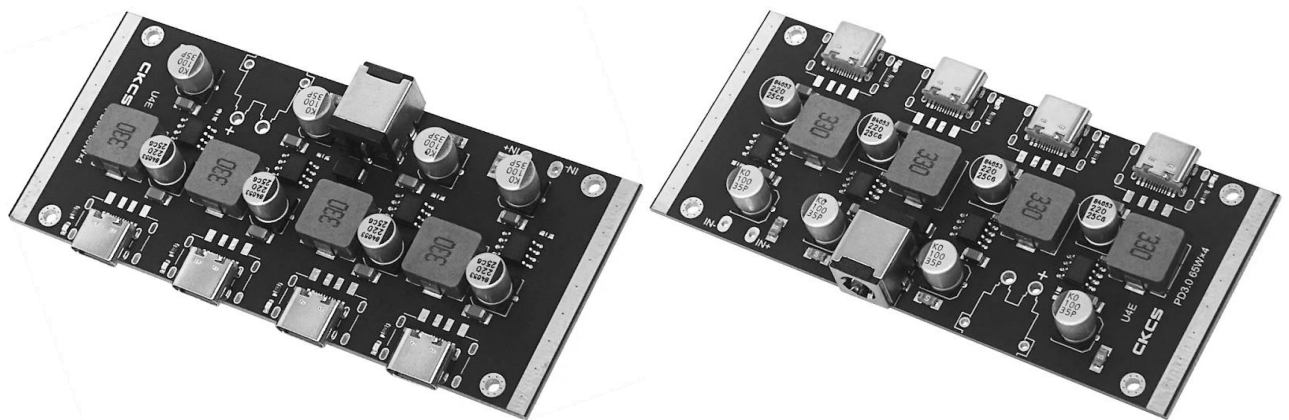


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд другої плати заряджання з USB-портами [51]

Даний модуль найкраще підходить для заряджання та живлення середньо потужних пристроїв, що потребують достатньо великої потужності у значенні до 65 Вт. До таких пристроїв можна віднести: бізнес-ноутбуки, настільні монітори, телевізори, портативні ігрові системи, потужні смартфони та інше.

Другий модуль:



### 3.2 Опис процесу збірки пристрою з підібраних компонентів

Після того, як з пошуком, підбором та покупкою усіх самих необхідних компонентів для утворення системи було закінчено, є можливим перейти до процесу збірки, при якому усі зібрані компоненти піддаються процесу поєднання та взаємного з'єднання, щоб у кінці утворити фінальній пристрій зарядної станції. Він буде складатися з декількох етапів:

- 1) утворення восьми акумуляторних елементів в одну акумуляторну збірку, що буде виконувати роль батареї;
- 2) з'єднання BMS-плати з акумуляторною збіркою;
- 3) з'єднання BMS-плати та акумуляторної збірки із інвертором напруги, зарядним блоком та додатковою периферією, зокрема ESP32;

Початок процесу збірки повинен бути початий із утворення акумуляторної збірки, що буде утворена шляхом послідовного з'єднання восьми придбаних комірок літій-залізо-фосфатних акумуляторних елементів EVE LF230. У комплекті поставки з даними комірками поставляються вісім спеціальних надійних струмопровідних шин / перемичок, що повинні бути накладенні на шпильки контактів акумуляторних комірок для утворення послідовної схеми підключення, що повинно скласти їх напруги до суми. Даний процес зображений на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Вигляд з'єднання двох акумуляторних комірок з використанням металевої струмопровідної шини

Даний процес необхідно провести з усіма восьми комірками. Проте, в особливому необхідно застосувати перемичку довжиною відмінною від стандартної. Дана особливість буде описана далі. Зовнішня різниця між різними шинами зображена на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Зовнішня різниця між двома перемичками різної довжини

Процес збірки акумуляторних елементів міг би бути надзвичайно простим, якщо б у даній технології не було би однієї важливої деталі. Як було раніше описано у першому розділі під час опису особливостей експлуатації  $\text{LiFePO}_4$  акумуляторних комірок, для їх довгої та якісної експлуатації, під час їх роботи необхідно щоб на великі стінки їх оболонки створювався значний тиск. Це необхідно для того, щоб запобігти, або, хоча б, сповільнити процес деградації електроліту, під час якого певний відсоток хімічного та електрично активного втрачає свою здібність до перебігу хімічної реакції, що дозволяє зберігати і накопичувати електричну енергію.

Для того, щоб запобігти процесу деградації акумуляторних комірок, необхідно створити тиск на великі бічні сторони оболонок комірок. Це, зокрема можна зробити одним простим та в міру надійним способом, а саме – зібрати комірки до купи, розташували їх одне-відносно-одного великими бічними сторонами, а по боках першої та останньої комірки у купі розташувати лист міцного матеріалу. Після, як буде виконане з'єднання між цими листами, наприклад, з використанням товстих металевих шпильок та виконане надійне затягування, утвореного таким чином тиску на комірки повинно вистачити

для гарантування найкращих умов їх експлуатації та найбільшого подовження ресурсу роботи. Так і працює конструкція для стиску акумуляторних комірок.

Для даного конкретного випадку розробки даного проекту, для виконання конструкції для стиску акумуляторних комірок було вирішено використати два листи деревини товщиною з пів сантиметра. А в якості з'єднувальних елементів товсті шпильки, шайби та гайки типу М6. Повну схему розміток та розмірів даної конструкції зображено на рисунку, що зображений у додатку А. Проте зовнішній вигляд результату збірки даної конструкції зображено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд готової конструкції для стиснення комірок

Для того, щоб створити як можна надійну фіксацію гайок на шпильках клем акумуляторних комірок, було застосовано спеціальний рідкий фіксатор, що використовується для збільшення надійності подібних з'єднань. У даному випадку був застосований так званий «синій» фіксатор різьби фірми ZOLLEX, який був тонким шаром нанесений на основу різьби кожної клеми, після чого на кожну шпильку було закручено гайку для фіксації, під якої було розташовані:

струмопровідна шина; клема балансуєчого кабелю від BMS-плати; клема температурного датчика DS18B20, що повинен бути використаний для відслідковування температури на кожній плюсовій клемі кожної комірки.

Після того, як конструкція для стиснення комірок була зібрана та усі шини надійно закручені на шпильки клем комірок, їх можна з'єднувати з платою BMS. Принцип та послідовність даного з'єднання було раніше описано у першому розділі. Далі буде тільки описаний та зображений загальний результат даного з'єднання, зокрема це зображено на рисунках 3.12-13.

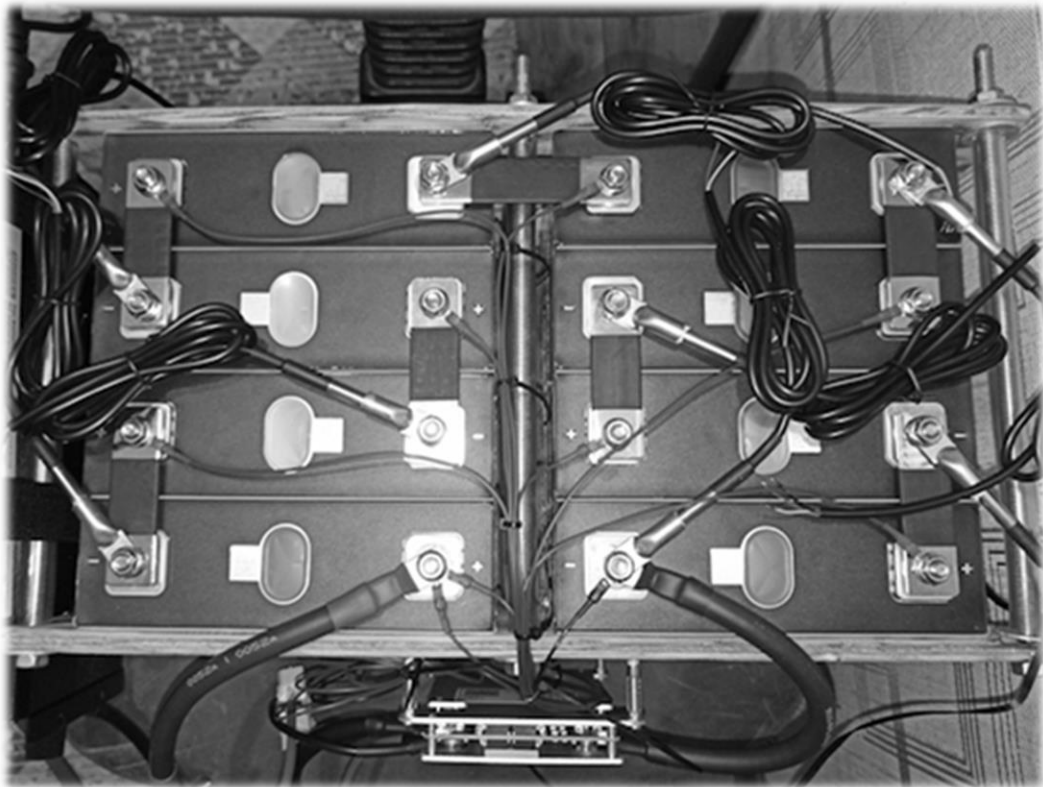


Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд кінцевого з'єднання акумуляторних комірок та периферійних кабелів (вид зверху)

Кабелі від BMS-плати повинні надходити від конектора балансуєчих кабелів з відповідним шлейфо-подібним розгалужувачем. Кінці даних кабелів були з'єднані з спеціальними відповідними клемами типу М6 шляхом пайки, після чого були накручені на клеми акумуляторних комірок. Штекер був з'єднаний з портом для підключення на платі BMS.



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд кінцевого з’єднання акумуляторних комірок та периферійних кабелів (вид по центру)

Процес підключення інвертора напруги та зарядного блоку нічим особливим не виділяється, за тим виключенням, що, для того, щоб знизити навантаження на клему P- BMS-плати та загального плюсового контакту акумуляторної збірки, з якими повинні з’єднуватися дані пристрої, було застосовано декілька силових кабелів калібру 4 AWG. Вони розраховані на те, щоб витримувати силу струму, що протікає через них у значенні близько 100 А. Дані кабелі повинні зменшити кінетичне навантаження на силові клеми системи, щоб збереже усі з’єднання від можливості небажаного розтягування, або, гірше, – відриву. Разом з тим, до силових клем був під’єднаний спеціальний розгалужувач на конектори типу XT60(M) для можливості під’єднання до напруги акумуляторної збірки будь-яких додаткових навантажень, або інших електронних пристроїв, використовуючи самий розповсюджений, надійний, потужний та зручний DIY двох-контактний конектор-живлення.

Використовуючи розгалужувач конекторів типу XT60, було виконано підключення трьох вище згаданих плат зарядки USB, використовуючи кабелі з XT60(F) на DC5521(25), що забезпечило надійне з’єднання даних модулів з електричною схемою пристрою зарядної станції.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

BMS-плата була розташована на спеціально підготовлених посадочних місцях, – бонках типу МЗ, з використанням відповідних металевих гвинтів, теж типу МЗ. Розташування було зафіксовано на лицьовій стороні конструкції для стиску акумуляторних комірок, де BMS-плата мала найменшу відстань до загальних мінусового та плюсового контакту батареї. Також, біля плати BMS були розташовані посадочні місця під дві плати розширення ESP32, з самими одноплатними мікроконтролерними системами. Це було зроблено з ціллю мінімізації відстані для усіх з'єднань, необхідних для утворення усієї розроблюваної системи.

В кінці процесу збірки, в результаті був успішно зібраний пристрій забезпечення енергозабезпечення, що належить до типу саморобної зарядної станції, кінцевий зовнішній вигляд якої представлений на рисунку 3.14.



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд кінцевої збірки, що включає наявність та з'єднання усіх головних компонентів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Програмне забезпечення розроблюваного проекту отримало свою реалізацію у вигляді двох загальних інформаційних «екранів», що відображаються на 3.5” TFT-дисплеї з використанням одноплатної мікроконтролерної системи ESP32 на драйвері CP2102. Інформаційні екрани відображають фізико-електричні показники системи в реальному часі, які отримує ESP32, надсилаючи регулярні запити до BMS-плати завдяки спеціально налаштованому надійному провідному з’єднанню.

Перший інформаційний екран представляє собою звіт по сукупності різноманітних показників системи, таких як: залишковий відсоток ємності акумуляторної збірки; напруга акумуляторної збірки; середнє значення напруги комірок; найбільша розбіжність напруги на акумуляторних комірках; найменше значення напруги однієї із комірок; найбільше значення напруги однієї із комірок; поточне значення сили струму у А, що проходить через систему в процесі заряджання / розряджання; поточне значення потужності у Вт, що проходить через систему в процесі заряджання / розряджання. Зовнішній вигляд даного інформаційного екрану зображено на рисунку 3.15.

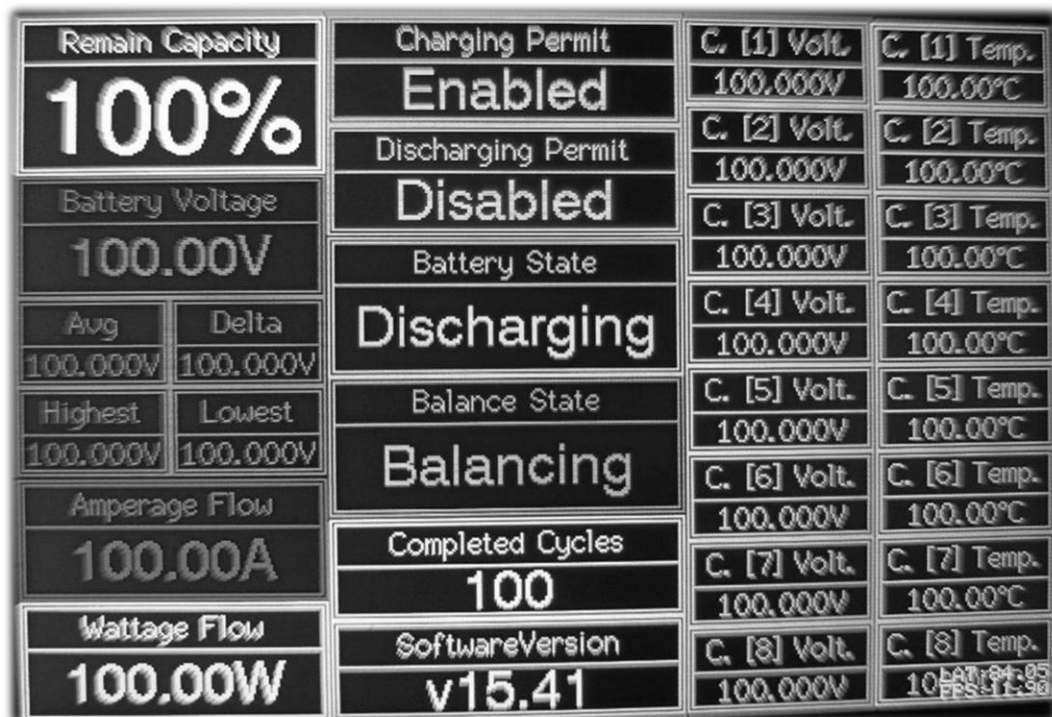


Рисунок 3.15 – Вигляд першого основного інформаційного екрану

Другий інформаційний екран представляє собою сукупність вертикальних шкал, що відображають поточне значення напруги кожної комірки у системі. Кожна шкала має інформаційні позначки та бирки, що вказують на поточний рівень напруги комірки, згідно з заповненням шкали. Зовнішній вигляд даного інформаційного екрану зображено на рисунку 3.16. Даний екран дозволяє з найбільшою точністю відслідковувати значення напруги на кожній комірці зі зручною графічною візуалізацією в кольорі та з доцільним та виділеним текстом. Це дозволяє прикладати мінімум розумних розпізнавання та обробки значень, що відображає інформаційний екран.

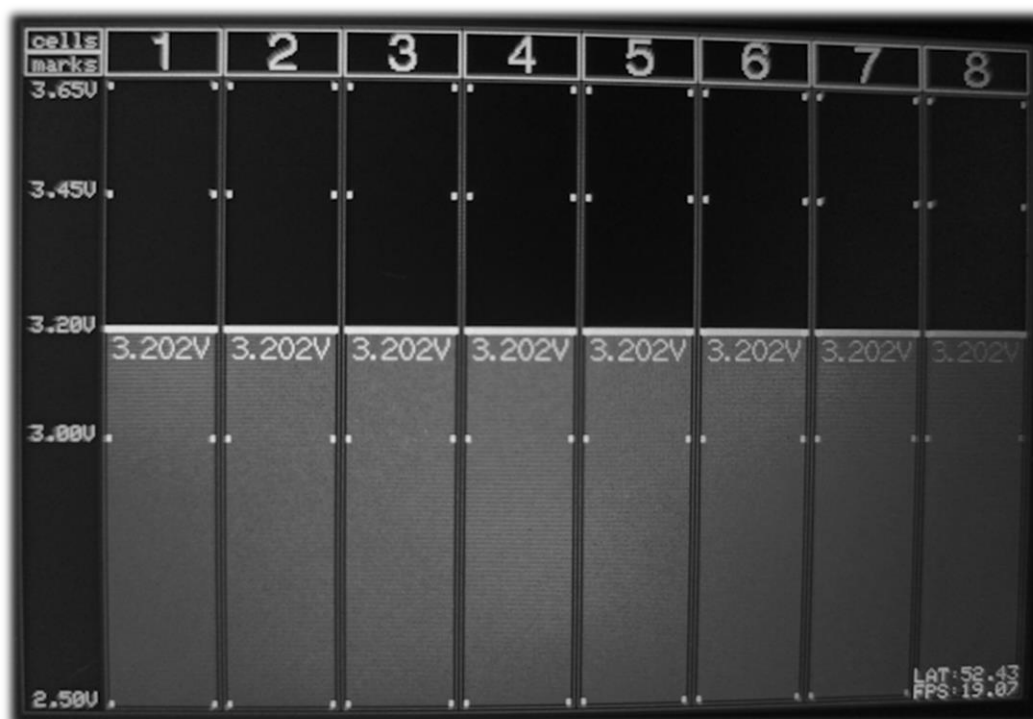


Рисунок 3.16 – Вигляд другого основного інформаційного екрану

Результатом роботи над програмним забезпеченням розроблюваної системи стали зручні та інформаційні екрани, що в повній мірі дозволяють спостерігати та відслідкувати зміну значень фізико-електричних показників системи у реальному часі, надаючи користувачу пристойною найкращий користувацький доступ використання зарядної станції.





інструментів. Дана витрачена сума може вважатися одним з успіхів даного проекту, так як готові рішення від популярних брендів, що мають схожі характеристики з кінцевим пристроєм, будуть мати ціну, що перевищує отриману від чотирьох до семи разів. Це є беззаперечним досягненням даного проекту, так як була досягнута можливість спроектувати та зібрати пристрій з забезпечення енергозабезпечення з використанням якісних компонентів та матеріалів, характеристики якого практично не поступаються готовим рішенням на ринку зарядних станцій, таким як BLUETTI, EcoFlow, Anker або Fossibot.

### 3.4 Висновки до розділу

У третьому розділі був проведений процес пошуку, відбору та купівлі усіх основних та супутніх компонентів та матеріалів, необхідних для подальшої збірки кінцевого пристрою. Було детально описано весь процес збірки з усіма проміжними етапами та викликами, що виникли під час виконання даного процесу. Також був проведений підрахунок кінцевої суми коштів, що були витрачені на проектування та реалізацію проекту за усіма застосованими компонентами. Розробка спеціального програмного забезпечення, адаптованого для використання з ESP32, надала кінцевому пристрою зручності та збагатила якість користувацького досвіду завдяки зручному та корисному екрану з графічним інтерфейсом. Процес роботи реалізацією розроблюваного проекту у реальність був успішно закінчений.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було здійснено ознайомлення з теоретичною інформацією та набуто практичних навичок з проектування та подальшої збірки саморобного пристрою зарядної станції. Були опановані вміння з розробки електричних схем, проектування конструкцій та прикладної збірки. Також були засвоєні знання з принципу роботи зарядних станцій, їх топології, схемотехніки та складових компонентів.

У першому розділі проведено аналіз ситуації, що актуалізувала поставлену задачу. Був проведений пошук наявної інформації та відомостей, пов'язаної з усіма складовими та важливими аспектами типової зарядної станції: принцип роботи літій-іонних акумуляторів, інверторів напруги, зарядних пристроїв, плат керуванням акумулятором. Були знайдені підходи до вирішення задачі та подальший напрям роботи.

У другому розділі проведено визначення необхідних та другорядних апаратних та програмних підсистем апаратно-програмного комплексу. Було проведено визначення взаємодії усіх компонентів системи. Також було обґрунтовано потребу у реалізації спеціального програмного забезпечення у вигляді графічного користувацького інтерфейсу .

У третьому розділі був проведений опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу. Також, був проведений детальний опис процесу збірки пристрою з підібраних компонентів. В кінці, було підраховано повну вартість розробленого пристрою за усіма компонентами.

В результаті було розроблено повнофункціональний пристрій, призначений для забезпечення електроенергією побутових споживачів в часи зникнення струму у міській мережі під час чергових та аварійних відключень.

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Dejan B., Ivan J., Tomo P., Nataša K., Stevan Č. An Internet of Things System for Environmental Monitoring Based on ESP32 and Blynk / D. Babic та ін. *2022 26th International Conference on Information Technology (IT)*, м. Zabljak, Montenegro, 16–19 лют. 2022 р. 2022.  
URL: <https://doi.org/10.1109/it54280.2022.9743538> (дата звернення: 01.04.2026).
2. Arhun S., Dvadenko V., Hnatov A. Optimized control system for a booster lithium-iron-phosphate battery. *Vehicle and electronics. Innovative technologies*. 2024. № 26. С. 44–54. URL: <https://doi.org/10.30977/veit.2024.26.0.1> (дата звернення: 31.03.2026).
3. Bae H., Kim Y. Technologies of lithium recycling from waste lithium ion batteries: a review. *Materials Advances*. 2021.  
URL: <https://doi.org/10.1039/d1ma00216c> (дата звернення: 01.04.2026).
4. Bahach R. Research of electric vehicle battery packs and charging stations based on an active three-phase rectifier. *Vehicle and electronics. Innovative technologies*. 2023. № 24. С. 62–71.  
URL: <https://doi.org/10.30977/veit.2023.24.0.2> (дата звернення: 31.03.2026).
5. Bahach R., Hnatov A., Arhun S. Simulation modeling of the LTC4020 charging controller for lithium-ion batteries. *Vehicle and electronics. Innovative technologies*. 2024. № 26. С. 25–35.  
URL: <https://doi.org/10.30977/veit.2024.26.0.3> (дата звернення: 31.03.2026).
6. Chaofeng Z., Shulei C., Zaiping G., Shi-Xue D. Beyond Lithium-Ion Batteries / . *Advanced Functional Materials*. 2024. Т. 34, № 5.  
URL: <https://doi.org/10.1002/adfm.202308001> (дата звернення: 01.04.2026).
7. Nan P., Xuning G., Huicong Y., Zhenqiang G. Challenges and development of lithium-ion batteries for low temperature environments / . *eTransportation*. 2022. Т. 11. С. 100145. URL: <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2021.100145> (дата звернення: 01.04.2026).

8. Oksenysh R. etc. Comparative analysis of lithium-iron-phosphate and sodium-ion energy storage devices / *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2025. Т. 2, № 25. С. 71–81. URL: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-8> (дата звернення: 31.03.2026).

9. Navid N., Hamid G., Mohsen B. Comprehensive review of lithium-ion battery materials and development challenges / N. Nasajpour-Esfahani та ін. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Т. 203. С. 114783. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114783> (дата звернення: 01.04.2026).

10. Cresce A., Xu K. Aqueous lithium-ion batteries. *Carbon Energy*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1002/cey2.106> (дата звернення: 01.04.2026).

11. Mora-Delgado C. etc. Develop of a Low Cost IoT System for the Moisture and Nutrient Soil Monitoring / *2024 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, м. Іхтара, Mexico, 11–13 листоп. 2024 р. 2024. С. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/ropec62734.2024.10877060> (дата звернення: 01.04.2026).

12. Zdolbitska N. etc. DIY Smart Auxiliary Power Supply for Emergency Use / *Advances in Artificial Systems for Logistics Engineering III*. Cham, 2023. С. 382–392. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-36115-9\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-36115-9_35) (дата звернення: 01.04.2026).

13. Chen K. etc. Emerging Thermal Safety Characteristics of Large-Capacity Lithium Iron Phosphate Lithium-Ion Batteries / *Advanced Energy Materials*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1002/aenm.202503248> (дата звернення: 01.04.2026).

14. Degen F. etc. Energy consumption of current and future production of lithium-ion and post lithium-ion battery cells / *Nature Energy*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01355-z> (дата звернення: 01.04.2026).

15. Nakamura N. etc. Future potential for lithium-sulfur batteries / *Journal of Power Sources*. 2023. Т. 558. С. 232566. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232566> (дата звернення: 01.04.2026).

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Hertzog P. E. Effectively connecting batteries to energy systems for the diy enthusiast. *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences*. 2024. Т. 19, № 11. URL: <https://doi.org/10.26782/jmcms.2024.11.00001> (дата звернення: 01.04.2026).

17. Saha N. etc. IoT-Driven Cloud-based Energy and Environment Monitoring System for Manufacturing Industry /. *Procedia CIRP*. 2026. Т. 138. С. 951–956. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2026.01.164> (дата звернення: 01.04.2026).

18. Miletiev R., Yordanov R., Iontchev E. Design of Navigation System with Wireless Connectivity. *2024 47th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Prague, Czech Republic, 15–19 May 2024. 2024. URL: <https://doi.org/10.1109/isse61612.2024.10603865> (дата звернення: 01.04.2026).

19. Buryk M. etc. Numerical modeling of electrical parameters of LiFePO<sub>4</sub> batteries / *Technology audit and production reserves*. 2024. Т. 3, № 1(77). С. 27–34. URL: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.304400> (дата звернення: 31.03.2026).

20. Duffner F. etc. Post-lithium-ion battery cell production and its compatibility with lithium-ion cell production infrastructure /. *Nature Energy*. 2021. Т. 6, № 2. С. 123–134. URL: <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00748-8> (дата звернення: 01.04.2026).

21. Zhang Y. etc. Prelithiation strategies for enhancing the performance of lithium-ion batteries /. *RSC Advances*. 2025. Т. 15, № 2. С. 1249–1274. URL: <https://doi.org/10.1039/d4ra08234f> (дата звернення: 01.04.2026).

22. Jin L. etc. Pre-Lithiation Strategies for Next-Generation Practical Lithium-Ion Batteries /. *Advanced Science*. 2021. Т. 8, № 12. С. 2005031. URL: <https://doi.org/10.1002/advs.202005031> (дата звернення: 01.04.2026).

23. Meng F. etc. Review of Lithium Production and Recovery from Minerals, Brines, and Lithium-Ion Batteries /. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Review. 2019. Т. 42, № 2. С. 123–141. URL:

<https://doi.org/10.1080/08827508.2019.1668387> (дата звернення: 01.04.2026).

24. Skosar V. Y., Burylov S. V., Dzenzerskiy V. O. Simulation of the invention process on the example of lithium-ion batteries. *Applied Questions of Mathematical Modeling*. 2021. Т. 4, № 1. С. 216–223. URL: <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2021.4.1.23> (дата звернення: 31.03.2026).

25. Bhagavath P. etc. Swappable Battery Data Management System / *Advances in Civil and Industrial Engineering*. 2023. С. 15–36. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8816-4.ch002> (дата звернення: 01.04.2026).

26. Vdovichenko O., Perepelitsyn A. Аналіз номенклатури мікроконтролерів для побудови елементів домашньої автоматизації. *Aerospace Technic and Technology*. 2024. № 5. URL: <https://doi.org/10.32620/aktt.2024.5.12> (дата звернення: 31.03.2026).

27. Vdovichenko O., Perepelitsyn A. Організація взаємодії пристроїв з доступом в інтернет на основі мікроконтролерів із обмеженою кількістю ресурсів. *Aerospace Technic and Technology*. 2023. № 6. С. 76–85. URL: <https://doi.org/10.32620/aktt.2023.6.09> (дата звернення: 31.03.2026).

28. Кучерук В., Кулаков П., Ліман В. Онлайн-сервіс Wokwi як симулятор мікропроцесорних систем. *Measuring and computing devices in technological processes*. 2023. № 2. С. 153–158. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-74-19> (дата звернення: 31.03.2026).

29. Shavolkin O. etc. Моделювання енергетичних процесів в гібридній фотоелектричній системі з акумулятором для потреб локального об'єкту / *Technologies and Engineering*. 2022. № 3. С. 28–38. URL: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.3> (дата звернення: 31.03.2026).

30. Ісак Л. Інформаційні технології. *Grail of Science*. 2023. № 30. С. 187–191. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.04.08.2023.030> (дата звернення: 19.05.2026).

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Сіняєва О. та ін. Особливості використання інформаційних технологій в освіті / *Education. Innovation. Practice.* 2023. Т. 11, № 7. С. 98–104. URL: <https://doi.org/10.31110/2616-650x-vol11i7-013> (дата звернення: 19.05.2026).

32. Ahemd M. M., Shah M. A., Wahid A. IoT security: A layered approach for attacks & defenses. *2017 International Conference on Communication Technologies (ComTech)*, Rawalpindi, Pakistan, 19–21 April 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/comtech.2017.8065757> (дата звернення: 19.05.2026).

33. Deep S. etc. A survey of security and privacy issues in the Internet of Things from the layered context / *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies.* 2020. URL: <https://doi.org/10.1002/ett.3935> (дата звернення: 19.05.2026).

34. Haghi M. A systematic review of IoT in healthcare: Applications, techniques, and trends / *Journal of Network and Computer Applications.* 2021. Vol. 192. P. 103164. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103164> (дата звернення: 19.05.2026).

35. Yu Y. Blockchain-Based Solutions to Security and Privacy Issues in the Internet of Things / *IEEE Wireless Communications.* 2018. Vol. 25, no. 6. P. 12–18. URL: <https://doi.org/10.1109/mwc.2017.1800116> (дата звернення: 19.05.2026).

36. Dhanvijay M., Patil S. Internet of Things: A survey of enabling technologies in healthcare and its applications. *Computer Networks.* 2019. Vol. 153. P. 113–131. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.03.006> (дата звернення: 19.05.2026).

37. Banerjee U. etc. DTLS: Energy-Efficient Datagram Transport Layer Security for the Internet of Things / *2017 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2017)*, Singapore, 4–8 December 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/glocom.2017.8255053> (дата звернення: 19.05.2026).

38. Farahani B., Firouzi F., Luecking M. The convergence of IoT and distributed ledger technologies (DLT): Opportunities, challenges, and

solutions. *Journal of Network and Computer Applications*. 2020. P. 102936. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102936> (дата звернення: 19.05.2026).

39. Al-Fuqaha A. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications /. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2015. Vol. 17, no. 4. P. 2347–2376. URL: <https://doi.org/10.1109/comst.2015.2444095> (дата звернення: 19.05.2026).

40. Khan I. H., Javaid M. Role of Internet of Things (IoT) in Adoption of Industry 4.0. *Journal of Industrial Integration and Management*. 2021. P. 2150006. URL: <https://doi.org/10.1142/s2424862221500068> (дата звернення: 19.05.2026).

41. Koretska V. O. Information technologies as a modern industry in the world economy. *Telecommunication and Information Technologies*. 2022. Vol. 75, no. 2. URL: <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2022.021321> (дата звернення: 19.05.2026).

42. Makoiedova V. Information technology: approaches to definition, principles of construction. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*. 2022. Vol. 2, no. 18. P. 138–149. URL: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.18.138149> (дата звернення: 19.05.2026).

43. Makoiedova V. nformation technology: approaches to definition, principles of construction. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*. 2022. Vol. 2, no. 18. P. 138–149. URL: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.18.138149> (дата звернення: 19.05.2026).

44. Mathew P. S., Pillai A. S., Palade V. Applications of IoT in Healthcare. *Cognitive Computing for Big Data Systems Over IoT*. Cham, 2017. P. 263–288. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70688-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70688-7_11) (дата звернення: 19.05.2026).

45. Зображення зовнішнього вигляду акумуляторної комірки моделі EVE LF230. URL: <https://imrbatteries.com/products/eve-lf230-230ah-3-2v-lifepo4-prismatic-battery-grade-a?srsId=AfmBOoo2Vk2xJ3PQaXledVZiVqpybu1NJD3rUpU86A-ewbugT1RGxxVI> (дата звернення: 19.05.2026).

					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

46. Зображення зовнішнього вигляду інвертора напруги моделі HOULI HPWD0020U. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005007359972028.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.5.718518024HMeZV](https://www.aliexpress.com/item/1005007359972028.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.5.718518024HMeZV) (дата звернення: 19.05.2026).

47. Зображення зовнішнього вигляду зарядного пристрою моделі AFU AF900- 20225B. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005009014690908.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.10.718518024HMeZV](https://www.aliexpress.com/item/1005009014690908.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.10.718518024HMeZV) (дата звернення: 19.05.2026).

48. Зображення зовнішнього вигляду BMS-плати моделі JK B1A8S10P. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005007199402037.html?spm=a2g0o.order\\_detail.order\\_detail\\_item.3.44d9f19cY2zyuw](https://www.aliexpress.com/item/1005007199402037.html?spm=a2g0o.order_detail.order_detail_item.3.44d9f19cY2zyuw) (дата звернення: 19.05.2026).

49. Зображення зовнішнього вигляду мікроконтролера моделі ESP32 CP2102 з відповідною платою розширення. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005006302026044.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.35.718518024HMeZV](https://www.aliexpress.com/item/1005006302026044.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.35.718518024HMeZV) (дата звернення: 19.05.2026).

50. Зображення зовнішнього вигляду першої плати заряджання з USB-портами. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005007957062631.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.155.718518024HMeZV](https://www.aliexpress.com/item/1005007957062631.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.155.718518024HMeZV) (дата звернення: 19.05.2026).

51. Зображення зовнішнього вигляду другої плати заряджання з USB-портами. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005009581551058.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.105.718518024HMeZV](https://www.aliexpress.com/item/1005009581551058.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.105.718518024HMeZV) (дата звернення: 19.05.2026).

52. Зображення зовнішнього вигляду третьої плати заряджання з USB-портами. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005009516449988.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.115.718518024HMeZV](https://www.aliexpress.com/item/1005009516449988.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.115.718518024HMeZV) (дата звернення: 19.05.2026).

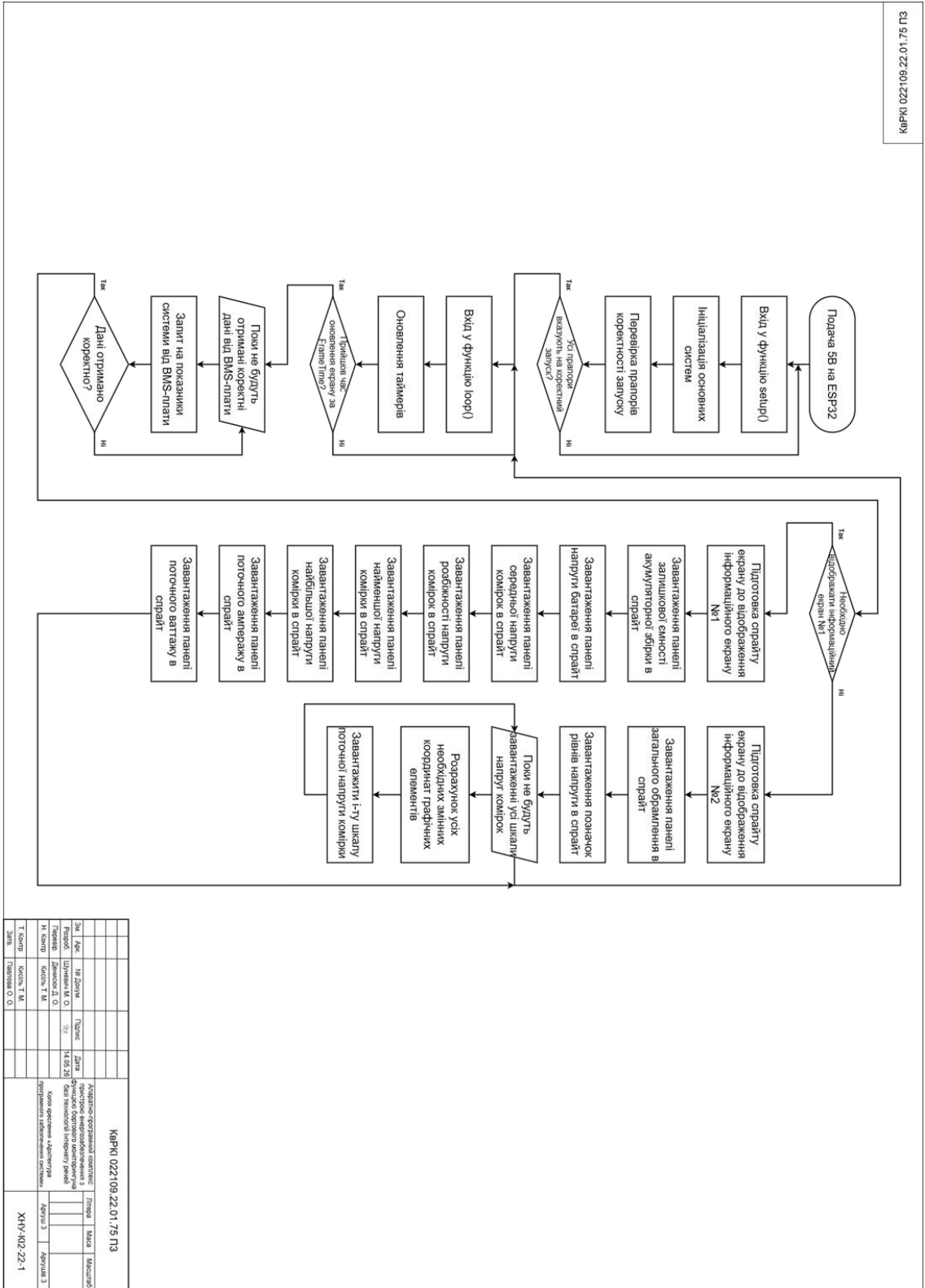
					КВРКІ 022109.22.01.75 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





# ДОДАТОК В (обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура програмного забезпечення системи»



КАРК 022109.22.01.75 ПЗ			
ЗМ. АЖ	На Дочка	Підпис	Дата
Розроб	Шурик О. О.	14.05.20	
Н. Кондр	Копица Т. М.		
		Додаток-розширення коментаря до функційної специфікації (два рівні: вхід інтерпретувати функції програмного забезпечення системи)	
Т. Кондр	Копица Т. М.	Архив 3	Архив 3
ЗМ. АЖ	Павлова О. О.	ХНУ-КІР-22-1	

## ДОДАТОК Г

(обов'язковий)

### Лістинг коду програмного забезпечення

```
#include <Arduino.h>
#include <SPI.h>
#include <TFT_eSPI.h>
#include <OneButton.h>
#include <EncButton.h>

#include "Free_Fonts.h"

#define tftWidth      480
#define tftHeight     320
#define tileWidth     480
#define tileHeight    80
#define tilesCount   4

enum ALIGNMENT { LEFT, CENTER, RIGHT };
enum FONT { SMALL = 2, MEDIUM = 4 };

uint8_t potentPin = 32;

TFT_eSPI tft = TFT_eSPI();           // Simple render system use
TFT_eSprite tile = TFT_eSprite(&tft); // Sprite system use

uint8_t buttonPin = 25;
OneButton button = OneButton(buttonPin, false);

uint8_t encCLK = 26;
uint8_t encDT = 27;
uint8_t encSW = 14;
EncButton encoder(encCLK, encDT, encSW);

uint8_t frameRateFreq = 60;
float_t frameTime = 1000 / frameRateFreq;
uint64_t lastFrameUpdateMillis = 0;

uint8_t currentFrame = 0;

uint64_t screenOutlineMillis = 0;
boolean screenOutline = true;

void drawCellsVoltage(int16_t xPanel, int16_t yPanel, int16_t
panelWidth, int16_t panelHeight, ALIGNMENT alingment);
void drawRemainCapacity(int16_t xPanel, int16_t yPanel, int16_t
panelWidth, int16_t panelHeight);

void drawInfoPanel(int16_t xPanel, int16_t yPanel, int16_t
panelWidth, int16_t panelHeight, float_t infoParameter_value, FONT
```

```

infoParameter_font, String infoTittle, String unitSymbol, uint16_t
generalColor, int8_t digitsAfterDecimalPoint);

void drawGeneralInfoPanel();

void clearScreen();
void clearTile();
float_t mapf(float x, float in_min, float in_max, float out_min,
float out_max);
uint16_t RGB565(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b);

volatile boolean screenColorState = false; // false = mono; true =
color (4-bit)

float_t currentFrameTime = 0;

IRAM_ATTR void checkTicks() {
    // include all buttons here to be checked
    button.tick(); // just call tick() to check the state.
}

IRAM_ATTR void isr() {
    encoder.tickISR();
}

void singleClick() {
    // Serial.println("singleClick() detected.");
    screenColorState = !screenColorState;
    // panelWidth--;
} // singleClick

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(921600);
    Serial.println("");
    tft.init();
    tft.setRotation(1);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE);
    tile.setColorDepth(16);

    pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP); // sets the digital pin as
output
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(buttonPin), checkTicks,
CHANGE);
    button.attachClick(singleClick);

    encoder.setBtnLevel(LOW);
    encoder.setClickTimeout(500);
    encoder.setDebTimeout(50);
    encoder.setHoldTimeout(600);
    encoder.setStepTimeout(200);
    encoder.setTimeout(1000);
}

```

```

encoder.setEncType(EB_STEP2);
encoder.setFastTimeout(30);
encoder.setEncReverse(true);
encoder.counter = 0;
attachInterrupt(26, isr, CHANGE);
attachInterrupt(27, isr, CHANGE);
encoder.setEncISR(true);

if (tile.createSprite(tileWidth, tileHeight) == nullptr)
    Serial.println("Error: Not enough free RAM for sprite!");
else
    Serial.println("Sprite created successfully");

Serial.print("Max Alloc Heap: ");
Serial.println(ESP.getMaxAllocHeap() / 1024);
Serial.print("Free Heap: ");
Serial.print(ESP.getFreeHeap() / 1024);
Serial.println(" KB");
Serial.print("Min Free Heap: ");
Serial.print(ESP.getMinFreeHeap() / 1024);
Serial.println(" KB");
Serial.print("Total Heap: ");
Serial.print(ESP.getHeapSize() / 1024);
Serial.println(" KB");

currentFrameTime = millis();
clearScreen();
}

uint16_t Y_OFFSET = 0;
uint8_t currentGlobalPanel = 0;

void loop() {
    button.tick();
    encoder.tick();
    tile.setTextSize(1);

    //clearScreen();

    if (millis() - lastFrameUpdateMillis > frameTime) { //frameTime or
1
        lastFrameUpdateMillis = millis();

        if (millis() - screenOutlineMillis > 1000) {
            screenOutlineMillis = millis();
            screenOutline = !screenOutline;
        }

        if(encoder.isHoleded()){
            currentGlobalPanel = (currentGlobalPanel > 0 ? 0 : 1);
        }
    }
}

```

```

for(size_t i = 0; i < tilesCount; i++){
    Y_OFFSET = i * tileHeight;

    clearTile();
    //Serial.println(panelWidth);

    tile.setColorDepth(screenColorState ? 1 : 16);
    //tile.drawRect(0, 0 - Y_OFFSET, tftWidth, tftHeight,
screenOutline ? TFT_BLACK : TFT_WHITE);

    switch (currentGlobalPanel)
    {
    case 0:
        drawGeneralInfoPanel();
        break;
    case 1:
        //int16_t panelWidth = 476; //476
        //int16_t panelHeight = 316; //316

        drawCellsVoltage(0, 0, tftWidth, tftHeight,
ALIGNMENT::LEFT);
        break;
    }

    float_t currentFrameRate = 1000.0 / currentFrameTime;
    int16_t xPos_frameUpdateInfo = tileWidth -
tft.textWidth("////////", 1) - 2;
    tile.setTextColor(TFT_WHITE);
    tile.setCursor(xPos_frameUpdateInfo, tftHeight -
tft.fontHeight(1) * 2 - 1 - Y_OFFSET, 1);
    tile.print("LAT:" + String(currentFrameTime));
    tile.setCursor(xPos_frameUpdateInfo, tftHeight -
tft.fontHeight(1) - 1 - Y_OFFSET, 1);
    tile.print("FPS:" + String(currentFrameRate));

    tile.pushSprite(0, Y_OFFSET);
    }
}
currentFrameTime = (micros() - lastFrameUpdateMillis*1000.0)/1000;
}

int16_t currentBarHeight = 1;
void drawCellsVoltage(int16_t xPanel, int16_t yPanel, int16_t
panelWidth, int16_t panelHeight, ALIGNMENT alingment) {
    tile.setTextSize(1);

    int16_t barsNum = 8;

    int16_t marksFont = 1;
    int16_t xPosValLabelWidth = tft.textWidth("0.00V", marksFont) + 7;

```

```

    //int16_t wholeSideWidth = (w / barsNum - 2) * barsNum + (barsNum
- 1) + (barsNum % 2 == 0 ? 1 : 0);
    int16_t wholeSideWidth = ((panelWidth - xPosValLabelWidth) /
barsNum - 2) * barsNum + barsNum + 6; // broken
    int16_t addIndentToSide = 0;
    switch (alignment)
    {
    case ALIGNMENT::LEFT:
        addIndentToSide = 2;
        break;
    case ALIGNMENT::CENTER:
        addIndentToSide = ceil((float)(panelWidth - wholeSideWidth - 1)
/ 2 + 1);
        if(barsNum < 3) addIndentToSide++; // kostil
        break;
    case ALIGNMENT::RIGHT:
        addIndentToSide = ceil((float)(panelWidth - wholeSideWidth - 1)
+ 1);
        if(barsNum < 3) addIndentToSide += 3 - barsNum; // kositl
        break;
    }

    /*
    tile.setCursor(2, tft.fontHeight(4)* 0 + 1 - Y_OFFSET, 4);
    tile.print(String(wholeSideWidth));
    tile.setCursor(2, tft.fontHeight(4)* 1 + 1 - Y_OFFSET, 4);
    tile.print(String(addIndentToSide));
    */

    int16_t potentValue = analogRead(potentPin);
    int16_t backLight = map(potentValue, 0, 4095, 0, 255);
    backLight = constrain(backLight, 0, 255);
    //Serial.println(backLight);
    analogWrite(0, backLight);

    if (encoder.turn() || encoder.click()) {
        Serial.print("turn: dir ");
        Serial.print(encoder.dir());
        Serial.print(", fast ");
        Serial.print(encoder.fast());
        Serial.print(", hold ");
        Serial.print(encoder.pressing());
        Serial.print(", counter ");
        Serial.print(encoder.counter);
        Serial.print(", clicks ");
        Serial.println(encoder.getClicks());
    }

    if(encoder.left())    currentBarHeight--;
    if(encoder.right())  currentBarHeight++;
    if(encoder.leftH())  currentBarHeight -= 10;
    if(encoder.rightH()) currentBarHeight += 10;

```

```

encoder.clear();

for (size_t i = 0; i < barsNum; i++) {
    int16_t cellsNumTitle_font = 1;
    String cellsNumTitle_text = "cells";
    int16_t cellsNumTitle_textWidth =
tft.textWidth(cellsNumTitle_text);
    int16_t cellsNumTitle_textHeight =
tft.fontHeight(cellsNumTitle_font);
    int16_t cellsNumRect_xPos = xPanel + 2;
    int16_t cellsNumRect_yPos = yPanel + 2;
    int16_t cellsNumRect_width = 36;
    int16_t cellsNumRect_height = cellsNumTitle_textHeight + 3;

    int16_t voltageMarksTitle_font = 1;
    String voltageMarksTitle_text = "marks";
    int16_t voltageMarksTitle_textWidth =
tft.textWidth(voltageMarksTitle_text);
    int16_t voltageMarksTitle_textHeight =
tft.fontHeight(voltageMarksTitle_font);
    int16_t voltageMarksRect_xPos = xPanel + 2;
    int16_t voltageMarksRect_yPos = yPanel + cellsNumRect_height +
2;
    int16_t voltageMarksRect_width = 36;
    int16_t voltageMarksRect_height = voltageMarksTitle_textHeight +
3;

    int16_t xPosValLabelWidth = addIndentToSide + xPanel +
((ceil((float_t)(panelWidth - xPosValLabelWidth) / (float_t)barsNum)
- 1) * i);
    int16_t yPosValLabelWidth = yPanel + 2;
    int16_t numWidth = ceil((float_t)(panelWidth -
xPosValLabelWidth) / (float_t)barsNum);
    int16_t numHeight = 22;
    switch (barsNum) // kostil
    {
    case 1:
        numWidth -= 4; break;
    case 2:
        numWidth -= 3; break;
    default:
        numWidth -= 2; break;
    }
    int16_t cellNum_font = 4;
    String cellNum_text = String(i + 1);
    int16_t cellNum_textWidth = tile.textWidth(cellNum_text,
cellNum_font);
    int16_t cellNum_textHeight = tile.fontHeight(cellNum_font)-3;

    int16_t minBarHeight = 1;
    int16_t maxBarHeight = panelHeight - 8 - numHeight - 1;

```

```

    currentBarHeight = constrain(currentBarHeight, minBarHeight,
maxBarHeight);

    //int16_t barPercent = map(currentBarHeight, minBarHeight,
maxBarHeight, 0, 100);
    /*
    Serial.println("currentBarHeight: " + String(currentBarHeight));
    Serial.println("minBarHeight: " + String(minBarHeight));
    Serial.println("maxBarHeight: " + String(maxBarHeight));
    */
    //Serial.println("barPercent: " + String(barPercent));

    int16_t xRect = xNum;
    int16_t yRect = yNum + numHeight + 1;
    int16_t rectWidth = numWidth;
    int16_t rectHeight = panelHeight - 4 - numHeight - 1;

    int16_t xFill = xRect + 2;
    int16_t yFill = yPanel - 4 + (panelHeight - currentBarHeight);
    int16_t fillWidth = rectWidth - 4;
    int16_t fillHeight = panelHeight + yPanel - yFill - 4;

    int16_t xFillLine = xFill - 1;
    int16_t yFillLine = yFill;
    int16_t fillLineWidth = fillWidth + 2;
    int16_t fillLineHeight = 3;

    int16_t minPosVal = 2500;
    int16_t maxPosVal = 3650;

    int16_t simpleValue = map(currentBarHeight, minBarHeight,
maxBarHeight, minPosVal, maxPosVal); // int variant of val for
simplified calculation operations
    float_t realValue = (float_t)(simpleValue / 1000.0); // real val

    int16_t labelWidth = 2;
    int16_t labelHeight = 3;

    int16_t xValLabelL = xFill;
    int16_t xValLabelR = xFill + fillLineWidth - labelWidth - 2;
    int16_t yMaxPosValLabel = yRect + 2
; // 3650 is
3.65V
    int16_t yMinPosValLabel = yRect + rectHeight - 3 - (labelHeight-
1); // 2500 is 2.5V
    int16_t yHighVarLabel = map(3450, minPosVal, maxPosVal,
yMinPosValLabel, yMaxPosValLabel); // 3450 is 3.45V
    int16_t yIdealVarLabel = map(3200, minPosVal, maxPosVal,
yMinPosValLabel, yMaxPosValLabel); // 3200 is 3.2V, -4 is
adjustment

```

```

    int16_t yLowVarLabel = map(3000, minPosVal, maxPosVal,
yMinPosValLabel, yMaxPosValLabel);    // 3000 is 3.0V, +2 is
adjustment

    int16_t xValMark = xPanel + 3;
    int16_t yMaxPosValMark = yMaxPosValLabel;
    int16_t yMinPosValMark = yMinPosValLabel -
tft.fontHeight(marksFont) + 4;
    int16_t yHighVarMark = yHighVarLabel -
tft.fontHeight(marksFont)/2;
    int16_t yIdealVarMark= yIdealVarLabel -
tft.fontHeight(marksFont)/2;
    int16_t yLowVarMark = yLowVarLabel -
tft.fontHeight(marksFont)/2;

    //tile.println(fillHeight);

    // correction gap for even number of cell bars
    if(alignment == ALIGNMENT::CENTER){
        if ((barsNum % 2 == 0) && (i > barsNum / 2 - 1) && (barsNum !=
2)) {
            xRect++;
            xFill++;
            xFillLine++;
            xValLabelL++;
            xValLabelR++;
        }
    }

    // general frame
    tile.drawRect(xPanel, yPanel - Y_OFFSET, panelWidth,
panelHeight, TFT_BLUE);

    // cells title
    tile.drawRect(cellsNumRect_xPos, cellsNumRect_yPos - Y_OFFSET,
cellsNumRect_width, cellsNumRect_height, TFT_SKYBLUE);
    tile.setTextFont(cellsNumTitle_font);
    tile.setTextColor(TFT_SKYBLUE);
    tile.drawString(cellsNumTitle_text, cellsNumRect_xPos + 1 +
((cellsNumRect_width - cellsNumTitle_textWidth) / 2),
cellsNumRect_yPos + 1 + ((cellsNumRect_height -
cellsNumTitle_textHeight) / 2) - Y_OFFSET);

    // cells voltage title
    tile.drawRect(voltageMarksRect_xPos, voltageMarksRect_yPos -
Y_OFFSET, voltageMarksRect_width, voltageMarksRect_height,
TFT_CYAN);
    tile.setTextFont(voltageMarksTitle_font);
    tile.setTextColor(TFT_CYAN);
    tile.drawString(voltageMarksTitle_text, voltageMarksRect_xPos +
1 + ((voltageMarksRect_width - voltageMarksTitle_textWidth) / 2),

```

```

voltageMarksRect_yPos + 1 + ((voltageMarksRect_height -
voltageMarksTitle_textHeight) / 2) - Y_OFFSET);

    // cells num
    tile.drawRect(xNum, yNum - Y_OFFSET, numWidth, numHeight,
TFT_SKYBLUE);
    tile.setTextFont(cellNum_font);
    tile.setTextColor(TFT_SKYBLUE);
    tile.drawString(cellNum_text, xNum + ((numWidth -
cellNum_textWidth) / 2), yNum + ((cellNum_textHeight -
cellNum_textHeight) / 2) - Y_OFFSET);

    // bar frame
    tile.drawRect(xRect, yRect - Y_OFFSET, rectWidth, rectHeight,
TFT_BLUE);
    // bar fill
    tile.fillRect(xFill, yFill - Y_OFFSET, fillWidth, fillHeight,
TFT_BLUE);

    // current voltage-value bar line
    if(fillHeight > 0 && fillHeight <= fillLineHeight)
        tile.fillRect(xFillLine, yFillLine - Y_OFFSET, fillLineWidth,
fillLineHeight-fillLineHeight+fillHeight, TFT_SKYBLUE); // current
val outline
    else
        tile.fillRect(xFillLine, yFillLine - Y_OFFSET, fillLineWidth,
fillLineHeight, TFT_SKYBLUE); // current val outline

    // voltage labels
    tile.fillRect(xValLabelL, yMaxPosValLabel - Y_OFFSET,
labelWidth, labelHeight, TFT_ORANGE); // max left
    tile.fillRect(xValLabelR, yMaxPosValLabel - Y_OFFSET,
labelWidth, labelHeight, TFT_ORANGE); // max right
    tile.fillRect(xValLabelL, yMinPosValLabel - Y_OFFSET,
labelWidth, labelHeight, TFT_ORANGE); // min left
    tile.fillRect(xValLabelR, yMinPosValLabel - Y_OFFSET,
labelWidth, labelHeight, TFT_ORANGE); // min right
    tile.fillRect(xValLabelL, yHighVarLabel - Y_OFFSET, labelWidth,
labelHeight, TFT_ORANGE); // high left
    tile.fillRect(xValLabelR, yHighVarLabel - Y_OFFSET, labelWidth,
labelHeight, TFT_ORANGE); // high right
    tile.fillRect(xValLabelL, yIdealVarLabel - Y_OFFSET, labelWidth,
labelHeight, TFT_ORANGE); // ideal left
    tile.fillRect(xValLabelR, yIdealVarLabel - Y_OFFSET, labelWidth,
labelHeight, TFT_ORANGE); // ideal right
    tile.fillRect(xValLabelL, yLowVarLabel - Y_OFFSET, labelWidth,
labelHeight, TFT_ORANGE); // low left
    tile.fillRect(xValLabelR, yLowVarLabel - Y_OFFSET, labelWidth,
labelHeight, TFT_ORANGE); // low right

    // voltage labels
    tile.setTextFont(marksFont);

```

```

tile.setTextColor(TFT_CYAN);
tile.drawString("3.65V", xValMark+3, yMaxPosValMark - Y_OFFSET);
tile.drawString("2.50V", xValMark+3, yMinPosValMark - Y_OFFSET);
tile.drawString("3.45V", xValMark+3, yHighVarMark - Y_OFFSET);
tile.drawString("3.20V", xValMark+3, yIdealVarMark - Y_OFFSET);
tile.drawString("3.00V", xValMark+3, yLowVarMark - Y_OFFSET);

// current voltage text-value of num-ed cell
int16_t overLineValueFont = 2;
String realValue_text = String(realValue, 3) + "V";
int16_t realValue_textWidth = tile.textWidth(realValue_text,
overLineValueFont);
int16_t realValue_textHeight =
tile.fontHeight(overLineValueFont)-3;
tile.setTextFont(overLineValueFont);
tile.setTextColor(TFT_SKYBLUE);
if(fillHeight < realValue_textHeight + 4)
tile.drawString(realValue_text, xFillLine + 1 +
((fillLineWidth - realValue_textWidth) / 2), yFillLine -
realValue_textHeight - 2 - Y_OFFSET); // above
else
tile.drawString(realValue_text, xFillLine + 1 +
((fillLineWidth - realValue_textWidth) / 2), yFillLine + 2 -
Y_OFFSET); // below
}
}

void drawRemainCapacity(int16_t xPanel, int16_t yPanel, int16_t
panelWidth, int16_t panelHeight){
tile.setTextSize(1);

tile.drawRect(xPanel, yPanel - Y_OFFSET, panelWidth, panelHeight,
TFT_WHITE);
tile.drawRect(xPanel+2, yPanel+2 - Y_OFFSET, panelWidth-4,
panelHeight-4, TFT_WHITE);

tile.setTextColor(TFT_WHITE);

int16_t tittle_font = 2;
tile.setTextFont(tittle_font);
String tittle_text = String("Remain Capacity");
int16_t tittle_textWidth = tile.textWidth(tittle_text,
tittle_font);
int16_t tittle_textHeight = tile.fontHeight(tittle_font)+3;
tile.drawRect(xPanel+2, yPanel+2 - Y_OFFSET, panelWidth-4,
tittle_textHeight, TFT_WHITE);
tile.drawString(tittle_text, xPanel + (panelWidth / 2) -
(tittle_textWidth / 2), yPanel+2 - Y_OFFSET);

//int16_t infoParameter_font = 6;
//tile.setTextFont(infoParameter_font);
//tft.setFreeFont(FSS24);

```

```

    tile.setFreeFont(FSS24);
    int16_t infoParameter_value = encoder.counter; //
    String infoParameter_text = String(infoParameter_value) +
String("%");
    int16_t infoParameter_valueTextWidth =
tile.textWidth(infoParameter_text, GFXFF);
    int16_t infoParameter_valueTextHeight = tile.fontHeight(GFXFF)-14;
// to create height of "100%" symbols
    tile.drawString(infoParameter_text, xPanel + (panelWidth / 2) -
(infoParameter_valueTextWidth / 2), yPanel+2 + tittle_textHeight +
((panelHeight - tittle_textHeight) / 2) -
(infoParameter_valueTextHeight / 2) - Y_OFFSET);
    //tile.drawFastVLine(xPanel + (panelWidth / 2) -
(infoParameter_valueTextWidth / 2), yPanel+2 + tittle_textHeight +
((panelHeight - tittle_textHeight) / 2) -
(infoParameter_valueTextHeight / 2) - Y_OFFSET,
infoParameter_valueTextHeight, TFT_YELLOW);
}

void drawInfoPanel(int16_t xPanel, int16_t yPanel, int16_t
panelWidth, int16_t panelHeight, float_t infoParameter_value, FONT
infoParameter_font, String infoTittle, String unitSymbol, uint16_t
generalColor, int8_t digitsAfterDecimalPoint){
    tile.setTextSize(1);

    tile.drawRect(xPanel, yPanel - Y_OFFSET, panelWidth, panelHeight,
generalColor);
    tile.drawRect(xPanel+2, yPanel+2 - Y_OFFSET, panelWidth-4,
panelHeight-4, generalColor);

    tile.setTextColor(generalColor);

    int16_t tittle_font = 2;
    tile.setTextFont(tittle_font);
    String tittle_text = infoTittle;
    int16_t tittle_textWidth = tile.textWidth(tittle_text,
tittle_font);
    int16_t tittle_textHeight = tile.fontHeight(tittle_font)+3;
    tile.drawRect(xPanel+2, yPanel+2 - Y_OFFSET, panelWidth-4,
tittle_textHeight, generalColor);
    tile.drawString(tittle_text, xPanel + (panelWidth / 2) -
(tittle_textWidth / 2), yPanel+2 - Y_OFFSET);

    tile.setTextFont(infoParameter_font);
    String infoParameter_text = String(infoParameter_value,
digitsAfterDecimalPoint) + unitSymbol;
    int16_t infoParameter_valueTextWidth =
tile.textWidth(infoParameter_text, infoParameter_font);
    int16_t infoParameter_valueTextHeight =
tile.fontHeight(infoParameter_font) + (infoParameter_font ==
FONT::SMALL ? 5 : 0);

```

```

    tile.drawString(infoParameter_text, xPanel + (panelWidth / 2) -
(infoParameter_valueTextWidth / 2), yPanel+2 + tittle_textHeight +
((panelHeight - tittle_textHeight) / 2) -
(infoParameter_valueTextHeight / 2) - Y_OFFSET);
}

void drawGeneralInfoPanel(){
    float_t infoParameter_value = encoder.counter;

    drawRemainCapacity(0, 0, 140, 72); //50

    drawInfoPanel(0, 73, 140, 55, infoParameter_value, FONT::MEDIUM,
"Battery Voltage", "V", TFT_BLUE, 2);
    drawInfoPanel(0, 128, 70, 40, infoParameter_value, FONT::SMALL,
"Avg", "V", TFT_BLUE, 3);
    drawInfoPanel(70, 128, 70, 40, infoParameter_value, FONT::SMALL,
"Delta", "V", TFT_BLUE, 3);
    drawInfoPanel(0, 168, 70, 40, infoParameter_value, FONT::SMALL,
"Highest", "V", TFT_BLUE, 3);
    drawInfoPanel(70, 168, 70, 40, infoParameter_value, FONT::SMALL,
"Lowest", "V", TFT_BLUE, 3);
    drawInfoPanel(0, 209, 140, 55, infoParameter_value, FONT::MEDIUM,
"Amperage Flow", "A", TFT_RED, 2);
    drawInfoPanel(0, 265, 140, 55, infoParameter_value, FONT::MEDIUM,
"Wattage Flow", "W", TFT_GREENYELLOW, 2);
}

void clearScreen() {
    tft.fillRect(0, 0, tftWidth, tftHeight, TFT_BLACK);
}

void clearTile(){
    tile.fillRect(0, 0, tileWidth, tileHeight, TFT_BLACK);
}

float_t mapf(float x, float in_min, float in_max, float out_min,
float out_max) {
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
out_min;
}

uint16_t RGB565(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b) {
    return ((r & 0xF8) << 8) | ((g & 0xFC) << 3) | ((b & 0xF8) >>
3);
}

```

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

**Автор:** Максим ШУНЕВИЧ

**Співавтор:**

**Назва:** Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей

**Експерт:** Дмитро ДЕНИСЮК

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

**Коефіцієнт подібності 1:** 3.77%

**Коефіцієнт подібності 2:** 0.9%

**Мікропробіли:** 300

**Заміна букв:** 12

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2026-05-26 14:33:59.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

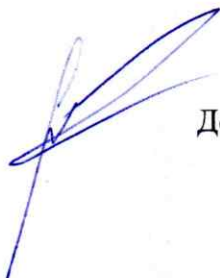
Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

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

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

**Обґрунтування:**

2026-05-26



Доцент Андрій Нічепорук

Дата

експерт

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

**Максимальне співпадіння з одним документом 8.0%**

**Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 12%**

ID: 272312 Назва: КП Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей Додано в БД: 2026-05-26 Автора: Максим ШУНЕВИЧ Керівники: Дмитро ДЕНИСЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	98107	596	8780 (9%)	60 (10%)

## Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Шуневич Максим Олексійович

Тема: Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень   4   Кількість сторінок записки   62  

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проектування, моделювання та збір апаратно-програмного комплексу пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей.

2. Виконана робота була повністю реалізована згідно поставленої задачі. Зокрема був розроблений пристрій, що дозволяє повноцінно функціонувати під час планових та аварійних відключень світла, шляхом подачі живлення для побутових споживачів за допомогою розроблюваного пристрою.

3. У першому розділі було проведено теоретичний аналіз та дослідження усієї доступної інформації, щодо відомостей про компонентну базу типової зарядної станції: з чого вони складаються, які є різновиди компонентів, як вони пов'язані між собою та які компоненти є самими оптимальними. Виконана класифікація та порівняння деяких розглянутих компонентів з ціллю набути як можна більших знань з усіх можливих характеристик та аспектів, що є необхідними при проектуванні та збірці власного саморобного пристрою з енергозабезпечення. Здійснено постановку задачі відносно поставленої теми та визначено дії стосовно розробки визначеного пристрою. У другому розділі був проведений розрахунок та вибір усіх фізико-технічних параметрів та проведений аналіз факторів, що можуть впливати на конструювання апаратно-програмного комплексу пристрою енергозабезпечення для подальшого їх використання створенні схем та відборі кінцевих компонентів, що будуть використовуватися для збірки закінченого пристрою. Було визначено

мінімальні та оптимальні значення усіх необхідних параметрів, проведено моделювання структури програмного забезпечення системи, вибір IDE для розробки програмного забезпечення пристрою, виконано узгодження зв'язків та налаштування спілкування смарт-компонентів для створення зручного та корисного прикладного цифрового інтерфейсу для організації ефективного спілкування кінцевого користувача з розробленим пристроєм забезпечення надання електропостачання для домашніх споживачів. У третьому розділі був проведений процес пошуку, відбору та купівлі усіх основних та супутніх компонентів та матеріалів, необхідних для подальшої збірки кінцевого пристрою. Було детально описано весь процес збірки з усіма проміжними етапами та викликами, що виникли під час виконання даного процесу. Також був проведений підрахунок кінцевої суми коштів, що були витрачені на проектування та реалізацію проекту за усіма застосованими компонентами. Розробка спеціального програмного забезпечення, адаптованого для використання з ESP32, надала кінцевому пристрою зручності та збагатила якість користувацького досвіду завдяки зручному та корисному екрану з графічним інтерфейсом. Процес роботи реалізацією розробленого проекту у реальність був успішно закінчений. До позитивних сторін проекту можна віднести: високі значення параметрів пристрою, зокрема потужність інвертора та ємність акумуляторної збірки.

5. До негативних сторін роботи можна віднести відсутність повноцінного корпусу для усіх компонентів проекту, а також певна некоректна робота електронних пристроїв, що живляться напряму від напруги акумуляторної батареї, під час активної роботи інвертора напруги.

6. Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Робота виконана на належному науково-технічному рівні.


8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно

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

*Мартинюк Валерій Володимирович, професор  
кафедри АКІТ та Р, д.т.н., проф.*

“27” травня 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КПС  
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Максим ШУНЕВИЧ

---

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-1

### ЗАЯВА

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

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

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

1 травня 2026 року



## РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

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

Назва кваліфікаційної роботи Апаратно-програмний комплекс пристрою енергозабезпечення з функцією бортового моніторингу на базі технологій Інтернету речей  
Автор Максим ШУНЕВИЧ  
Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
Науковий керівник: Дмитро ДЕНИСЮК

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

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

#### Підтвердження:

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

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


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,77%; та системою Anti-Plagiarism складає 10%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис  
  
Підпис  
  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дмитро ДЕНИСЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ