

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
кафедра електронних систем

кваліфікаційна робота магістра

На тему: Електронний прилад для моніторингу стану навколишнього середовища

Студента 2 курсу

Бігана Івана Михайловича

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник кандидат фіз.-мат. наук Заяць Тарас Михайлович

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Голова ЕК:

Ремета Є. Ю. – в.о.зав. відділу Інституту електронної фізики НАН

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Заяць Т. М.- зав. кафедри електронних систем, доцент, заст. голови ЕК

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Юркін І. М.- доцент кафедри електронних систем

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Ужгород - 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ _____ ” _____ 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу магістра

на тему:

**ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИЛАД ДЛЯ МОНИТОРИНГУ СТАНУ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.**

Студента групи ЕС: Івана Бігана

Керівник: кандидат фіз.-мат. наук, доц. кафедри ЕС

Тарас Заяць

()

()

Ужгород - 2025

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ _____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну магістерську роботу
студенту Бігану Івану Михайловичу

1. Тема роботи: Електронний прилад для моніторингу стану навколишнього середовища

Затверджена на засіданні кафедри (протокол № 3 від 10 жовтня 2024р.)

2. Термін закінчення роботи: 10 грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи.

Створити ефективний електронний пристрій, який забезпечує постійний моніторинг якості повітря в різних середовищах. Пристрій повинен виявляти та відстежувати забруднення та шкідливі речовини у повітрі, працювати автономно та передавати дані через Wi-Fi.

Забезпечити слідуючи характеристики :

Живлення: акумулятор ємністю не менше 2000 мАг із зарядкою через USB.

Процесор: мікроконтролер із низьким енергоспоживанням.

Датчики: температура, вологість, CO₂ та інших шкідливих речовин, пил.

Зв'язок: Wi-Fi для передавання даних на сервер або мобільний додаток.

Робоча температура : 0°C - 50°C

Дисплей: екран для локального відображення даних.

4. Зміст роботи (перелік питань, що підлягають розробці).

Анотація роботи.

Пояснювальна записка:

Вступ.

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.
3. Проектно-конструкторський розділ.
 - 3.1 Синтез та аналіз структурної схеми;
 - 3.2 Синтез та аналіз електричної принципової схеми;
 - 3.3 Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів

3.4 Проектування та розрахунок друкованої плати

3.5. Розрахунок надійності пристрою

4. Техніко-економічний розділ

5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища;

Висновки.

Перелік посилань.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6.1. Структурна (функціональна) електрична схема

6.2. Електрична принципова схема.

6.3. Креслення друкованої плати

6.4. Складальне креслення

6.5. Перелік елементів.

6.6. Специфікація.

5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Н. контроль			

Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 року.

Керівник роботи _____ (доц. Заяць Т. М.)
(підпис)

Завдання прийняв на виконання _____ (Біган І.М.)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2024 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2025 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2025 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2025 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.10.2025 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної магістерської роботи.	до 10.12.2025 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (Біган І.М.)
(підпис)

Керівник роботи _____ (доц. Заяць Т. М.)
(підпис)

РЕФЕРАТ

1. Кваліфікаційна робота магістра на тему «Електронний прилад для моніторингу стану навколишнього середовища» / УжНУ; Керівник Заяць Т. М.; Студент Біган І. М., група ЕС.

Пояснювальна записка: 79 сторінок, 4 рисунків, 5 таблиць, 15 джерел, 6 додатки.

Графічна частина: 4 листи формату А1.

2. Об'єкт розробки – Електронний прилад для моніторингу стану навколишнього середовища.

Метод дослідження – аналіз існуючих аналогів і методів моніторингу, синтез структурної та електричної принципової схем приладу, а також проведення необхідних розрахунків елементної бази та параметрів системи.

У роботі виконано аналіз сучасних приладів і систем контролю параметрів мікроклімату, розроблено структурну та принципову електричну схеми електронного приладу, обґрунтовано вибір датчиків температури, вологості, атмосферного тиску, газів і пилу. Описано принцип роботи пристрою, наведено розрахунки режимів роботи елементів, а також визначено конструктивні та монтажні параметри друкованої плати.

МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ, ДАТЧИКИ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СХЕМА,
РОЗРАХУНКИ

ABSTRACT

1. Master's qualification work on the topic "Electronic Device for Environmental Monitoring" / UzhNU; Supervisor: T. M. Zayats; Student: I. M. Bihan, Group ES.

Explanatory note: 79 pages, 4 figures, 5 tables, 15 sources, 6 appendices.

Graphic part: 4 sheets in A1 format.

2. Object of development – Electronic device for environmental monitoring.

Research method – analysis of existing analogs and monitoring methods, synthesis of structural and electrical schematic diagrams of the device, as well as conducting the necessary calculations of the component base and system parameters.

The work includes an analysis of modern devices and systems for controlling microclimate parameters, development of structural and electrical schematic diagrams of the electronic device, justification of the choice of sensors for temperature, humidity, atmospheric pressure, gases, and dust. The principle of operation of the device is described, operational mode calculations of the components are presented, and the design and mounting parameters of the printed circuit board are determined.

MONITORING, SENSORS, MICROCONTROLLER, SCHEMATIC,
CALCULATIONS

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування	9
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання	24
3. Проектно-конструкторський розділ	30
3.1. Синтез та аналіз структурної схеми	30
3.2. Синтез та аналіз електричної принципової схеми	43
3.3. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми.	50
4. Економічна частина	60
5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища.	71
Висновки	76
Перелік посилань	79
 ДОДАТКИ	
Додаток А. КРМ.ЕС.12068731.001.Е1	
Додаток Б. КРМ.ЕС.12068731.001.Е3	
Додаток В. КРМ.ЕС.12068731.001.ДП	
Додаток Г. КРМ.ЕС.12068731.001.СК	
Додаток Д. КРМ.ЕС.12068731.001.ПЕ	
Додаток Е. КРМ.ЕС.12068731.001.СП	

					<i>КРМ.ЕС.12068731.001.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електронний прилад для моніторингу стану навколишнього середовища		
Розроб.		Біган І.М.					
Перевір.		Заяць Т.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Папп О.В.					
Затверд.		Заяць Т.М.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						7	79
					УжНУ, ІТФ, група ЕС, 2 курс		

Вступ

Стан довколишнього середовища є одним із ключових чинників, що визначають якість життя людини, рівень її здоров'я та безпеку. Зростання промислових навантажень, інтенсифікація транспортних потоків, активне використання побутової та електронної техніки зумовили підвищення концентрації шкідливих домішок у повітрі та загальне погіршення екологічного балансу. У сучасних умовах проблема оперативного та достовірного контролю параметрів навколишнього середовища набуває особливої актуальності, оскільки дозволяє своєчасно виявляти небезпечні відхилення та приймати відповідні заходи щодо їх усунення. Одним із найбільш ефективних шляхів вирішення зазначених проблем є створення компактних, автономних та високоточних електронних приладів, здатних здійснювати безперервний моніторинг параметрів повітря. Такі пристрої мають інтегрувати у собі сучасні сенсорні технології, мікропроцесорні системи обробки даних, а також засоби бездротової передачі інформації. У цьому контексті розробка електронного приладу для моніторингу стану довколишнього середовища є важливим інженерним завданням, що спрямоване на підвищення екологічної безпеки, забезпечення контролю якості повітря в приміщеннях і на відкритих територіях, а також створення технічних засобів для наукових досліджень.

					КРМ.ЕС.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування

Теоритичні відомості

Моніторинг довкілля є складним багатокомпонентним процесом, який вимагає застосування широкого спектра вимірювальних приладів та лабораторного обладнання. Основна мета використання таких засобів полягає у своєчасному виявленні змін у стані навколишнього середовища, оцінці рівня його забруднення, прогнозуванні можливих ризиків для здоров'я людини та екосистем, а також у формуванні достовірної наукової бази для прийняття управлінських рішень. Кожна група приладів має своє функціональне призначення та дозволяє досліджувати окремі складові довкілля – атмосферу, воду, ґрунт чи біоту.

Нижче наведено основні прилади та обладнання, які використовуються у системі екологічного контролю.

ЯМР-спектрометри

Ядерно-магнітний резонанс (ЯМР) є одним з найточніших методів аналізу складу органічних і неорганічних речовин. Використання ЯМР-спектрометрів у моніторингу довкілля дозволяє визначати присутність органічних забруднювачів, токсичних сполук, а також простежувати динаміку змін у складі атмосферних газів. Зокрема, спектроскопія може виявляти навіть незначні концентрації шкідливих викидів у повітрі, таких як леткі органічні сполуки, що часто виникають унаслідок промислової діяльності. Завдяки високій чутливості прилади цього класу застосовуються як у лабораторних дослідженнях, так і у спеціалізованих польових експедиціях. Їхні результати дозволяють не лише ідентифікувати окремі забруднювачі, але й оцінювати складні хімічні взаємодії у природних середовищах.

Термометри

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура є базовим параметром, від якого залежать фізичні, хімічні та біологічні процеси у природі. Для її вимірювання у моніторингових дослідженнях застосовують як традиційні рідинні, так і сучасні цифрові термометри, здатні фіксувати зміни з високою точністю. Особливого значення набувають вертикальні вимірювання температури в атмосфері, оскільки вони дозволяють досліджувати теплову стратифікацію повітряних мас. Такі спостереження важливі для аналізу кліматичних процесів, прогнозування погодних умов, а також для визначення швидкості поширення забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери. Систематичні дані про температуру дають змогу оцінювати тепловий баланс екосистеми та робити висновки щодо впливу антропогенних факторів на локальний і глобальний клімат.

Гігрометри

Гігрометри призначені для вимірювання відносної вологості повітря – одного з ключових параметрів, що характеризує стан атмосфери. Вологість безпосередньо впливає на процеси випаровування, конденсації, утворення хмар та опадів, а також визначає умови життєдіяльності багатьох видів рослин і тварин. У моніторингових системах гігрометри дозволяють виявляти порушення у вологообміні, які можуть бути спричинені зміною клімату або техногенними викидами. Наприклад, збільшення вологості повітря у промислових районах часто пов'язане з утворенням аерозолів, що змінюють локальний мікроклімат. Сучасні електронні гігрометри забезпечують не лише точні вимірювання, а й можливість автоматичної передачі даних у бази спостережень.

Хроматографи

Хроматографічний аналіз є одним із найважливіших методів дослідження складу речовин. У сфері екологічного моніторингу він застосовується для

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

визначення пестицидів та їхніх метаболітів у воді, ґрунті та харчових продуктах. Завдяки високій роздільній здатності хроматографи дозволяють відокремлювати і точно ідентифікувати навіть складні суміші органічних та неорганічних сполук.

Використання цього методу особливо актуальне у сільськогосподарських регіонах, де надмірне застосування пестицидів може призвести до накопичення шкідливих речовин у природних середовищах. Отримані результати допомагають встановлювати рівень забруднення та прогнозувати його вплив на здоров'я людини і біосферу в цілому.

Прилади для моніторингу стану довколишнього середовища

AM103-868M датчик моніторингу навколишнього середовища IAQ Milesight

Даний прилад є одним із сучасних приладів, що використовується для моніторингу стану довкілля у внутрішніх приміщеннях, є AM103-868M — багатофункціональний компактний датчик, розроблений для вимірювання основних параметрів мікроклімату, таких як температура, відносна вологість та концентрація вуглекислого газу (CO₂).

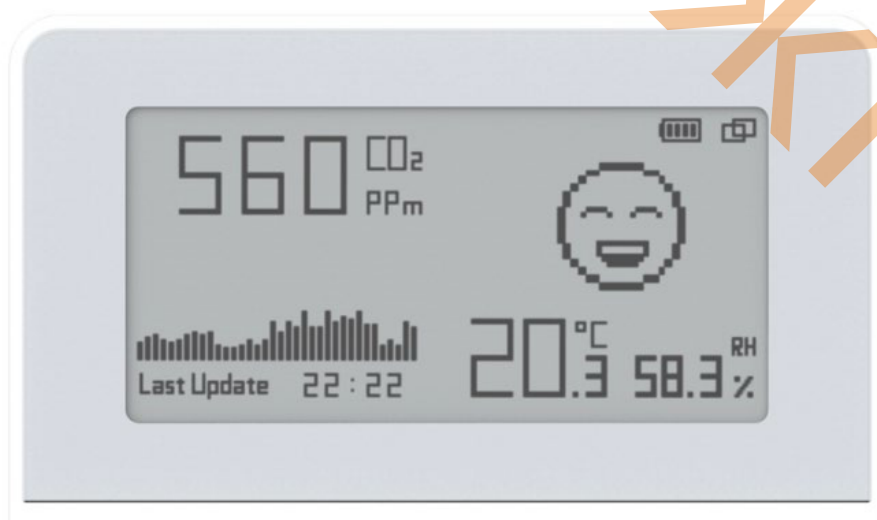


рис.1. AM103-868M

Даний пристрій належить до класу інтелектуальних сенсорних модулів, що інтегрують одразу кілька вимірювальних каналів у єдиному корпусі, забезпечуючи комплексну оцінку стану навколишнього середовища.

Загальна характеристика пристрою

Конструктивно АМ103-868М являє собою компактний модуль із вбудованим екраном E-ink (електронне чорнило), на якому у реальному часі відображаються значення вимірюваних параметрів. Такий тип дисплея характеризується низьким енергоспоживанням і високою контрастністю, що дозволяє зчитувати дані навіть за слабкого освітлення. Крім цифрових показників, на екрані також присутній індикатор-комфортметр — стилізоване зображення смайлика, що відображає рівень комфортності мікроклімату на основі сукупності температури, вологості та концентрації CO₂.

Принцип дії та функціональні можливості

Основу роботи пристрою складає сукупність високоточних сенсорів:

- **Датчик температури** — забезпечує вимірювання температури повітря з точністю до $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$;
- **Датчик вологості** — визначає відносну вологість у діапазоні від 0 до 100 % із високою стабільністю показань;
- **Датчик CO₂** — працює на основі інфрачервоного (NDIR) принципу, що гарантує точність вимірювання концентрації вуглекислого газу навіть у змінних умовах вентиляції.

Результати вимірювань не лише відображаються локально на екрані, але й можуть передаватися дистанційно завдяки технології LoRaWAN® (Long Range Wide Area Network). Цей протокол зв'язку характеризується великою

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

дальністю передачі (до декількох кілометрів) і мінімальним енергоспоживанням, що є критичним для пристроїв автономного живлення.

Енергозбереження та автономність

Пристрій AM103-868M живиться від двох змінних батарей стандартного типу, і завдяки використанню енергоефективних компонентів здатен функціонувати понад 3 роки без заміни елементів живлення. Це особливо важливо при розгортанні системи моніторингу у великій кількості приміщень (офіси, школи, лікарні), де технічне обслуговування кожного сенсора ускладнене або потребує додаткових витрат.

Комунікаційні можливості

Датчик має вбудований модуль LoRaWAN, що дозволяє йому інтегруватися у бездротові мережі Інтернету речей (IoT). У поєднанні зі шлюзом Milesight або іншими сумісними пристроями LoRaWAN, дані з сенсора можуть передаватися на віддалений сервер чи у хмарне сховище, де здійснюється їх подальший аналіз, обробка та візуалізація. Для налаштування пристрою передбачено **вбудований NFC-модуль**, що спрощує початкову конфігурацію без необхідності підключення дротів чи використання додаткових інтерфейсів.

Застосування та сфери використання

Прилад AM103-868M призначений переважно для моніторингу мікроклімату у закритих приміщеннях — офісах, навчальних аудиторіях, магазинах, медичних закладах, лабораторіях тощо. Його основне завдання полягає у створенні умов для підтримання оптимального рівня комфорту та безпеки для людей, а також у забезпеченні енергоефективного управління системами вентиляції та кондиціонування. Висока точність та стабільність вимірювань

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

робить пристрій придатним не лише для побутових чи комерційних потреб, але й для наукових досліджень, де важливим є тривале спостереження за зміною параметрів мікроклімату.

Переваги аналога

Основними перевагами датчика AM103-868M є:

- поєднання кількох вимірювальних функцій в одному пристрої;
- низьке енергоспоживання та тривалий термін автономної роботи;
- наявність енергоефективного E-ink-дисплея;
- можливість бездротової передачі даних за допомогою LoRaWAN®;
- простота встановлення та налаштування (через NFC).

Ці характеристики роблять AM103-868M ефективним рішенням для систем моніторингу внутрішнього середовища, орієнтованих на енергоощадність та бездротову інтеграцію у «розумні» інфраструктури.

Недоліки та обмеження

Попри значні переваги, пристрій має певні обмеження, що слід враховувати при проектуванні власного аналога. Зокрема:

- обмежений набір вимірюваних параметрів (відсутність контролю тиску, пилу, летких органічних сполук тощо);
- орієнтація виключно на внутрішні приміщення;
- залежність від наявності мережі LoRaWAN або шлюзу;
- неможливість автономного збереження великого обсягу історичних даних без підключення до хмарного сервісу.

Висновок

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таким чином, **AM103-868M** є яскравим прикладом сучасного інтелектуального сенсора для моніторингу внутрішнього середовища, який поєднує точність, енергоефективність і простоту експлуатації. Аналіз цього пристрою дозволяє виділити ключові напрямки для вдосконалення при розробці власного електронного приладу моніторингу стану довкілля, зокрема — розширення спектра вимірюваних параметрів, інтеграцію нових типів сенсорів та підвищення автономності роботи.

Метеостанція Technoline WL1030 (WL1030)



Рис.1. Technoline WL1030

Серед сучасних приладів для контролю якості повітря у внутрішніх приміщеннях особливе місце займає метеостанція **Technoline WL1030**, розроблена німецькою компанією *Technoline*. Це високоточний пристрій, призначений для комплексного моніторингу основних параметрів мікроклімату — температури, вологості та концентрації вуглекислого газу (CO_2). Прилад дозволяє виявляти погіршення якості повітря та своєчасно реагувати на підвищення рівня CO_2 , забезпечуючи тим самим комфортні та безпечні умови для перебування людей у приміщенні.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Загальна характеристика та призначення

Метеостанція Technoline WL1030 призначена для **вимірювання та відображення параметрів повітряного середовища** у реальному часі. Вона може використовуватися як у побутових, так і в комерційних умовах — у житлових приміщеннях, офісах, навчальних аудиторіях, лікарнях тощо. Основною метою експлуатації пристрою є **підвищення ефективності вентиляції та запобігання негативному впливу надлишкового CO₂**, який може спричиняти сонливість, головний біль і зниження концентрації уваги.

Прилад обладнаний **інфрачервоним газовим датчиком NDIR (Non-Dispersive Infrared)**, який забезпечує високоточне вимірювання рівня вуглекислого газу у повітрі. Технологія NDIR ґрунтується на принципі поглинання інфрачервоного випромінювання молекулами CO₂ і є загальновизнаним стандартом у галузі аналітичних вимірювань повітря.

Функціональні можливості та основні технічні параметри

Метеостанція WL1030 характеризується широким набором функцій, що дозволяють користувачеві отримувати повну картину стану повітряного середовища.

Основні можливості приладу включають:

Вимірювання концентрації CO₂ у діапазоні від 400 до 5000 ppm із роздільною здатністю 1 ppm. Точність вимірювання становить ± 50 ppm, що є цілком достатнім для побутових і професійних застосувань. Датчик має функцію автоматичного калібрування, яка компенсує можливі похибки, спричинені змінами тиску чи температури. Також передбачена реєстрація мінімальних і максимальних значень CO₂ для аналізу динаміки якості повітря протягом доби.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Вимірювання температури повітря у діапазоні від 0°C до +50°C із дискретністю 0,1°C і точністю $\pm 1^\circ\text{C}$. Це дозволяє оцінити мікроклімат у приміщенні з високою точністю, а також відстежувати його зміни при провітрюванні.

Вимірювання відносної вологості у діапазоні від 20% до 95% RH із точністю $\pm 5\%$.

Прилад забезпечує фіксацію та відображення мінімальних і максимальних значень вологості, що важливо для запобігання пересушуванню або надмірному зволоженню повітря.

Індикація та система оповіщення

Однією з переваг метеостанції Technoline WL1030 є наявність зручної системи візуального інформування, яка реалізована у вигляді кольорових індикаторів, подібних до світлофора:

- Зелений колір вказує на безпечний рівень CO₂;
- Жовтий — на допустимий, але вже підвищений;
- Червоний — сигналізує про перевищення гранично допустимої концентрації.

Крім того, передбачено звукове оповіщення, яке спрацьовує при перевищенні заданих порогових значень. Користувач може самостійно програмувати рівні тривоги як для CO₂, так і для вологості повітря. Подібна функціональність особливо корисна у навчальних закладах, офісах та інших місцях масового перебування людей, де якість повітря безпосередньо впливає на самопочуття і продуктивність.

Конструктивні особливості та ергономіка

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Метеостанція має ергономічний корпус чорного кольору з високоякісного пластику та оснащена монохромним дисплеєм розміром 95×50 мм. На дисплеї відображаються всі вимірювані параметри, а також кольорові індикатори рівня CO₂. Підсвічування екрана реалізоване за допомогою білих LED-діодів із можливістю регулювання яскравості. Завдяки цьому пристрій залишається читабельним у будь-яких умовах освітлення.

Конструкція приладу передбачає енергонезалежну пам'ять, що зберігає налаштування навіть у разі відключення живлення. Метеостанція встановлюється на горизонтальній поверхні, наприклад на столі, та підключається до мережі через блок живлення 5V 1.2A з кабелем довжиною 1,8 м, що забезпечує зручність розташування пристрою в будь-якому місці приміщення.

Енергозабезпечення та технічне обслуговування

Живлення здійснюється від стандартного адаптера постійного струму, тому прилад не потребує періодичної заміни батарей. Додатковою перевагою є мінімальний час розігріву датчика — лише 1 хвилина після ввімкнення, після чого пристрій переходить у робочий режим і починає відображати точні показники.

Регулярна калібровка газового сенсора відбувається автоматично, тому експлуатація приладу не потребує спеціального технічного обслуговування чи втручання користувача.

Застосування та практичне значення

Метеостанція Technoline WL1030 може ефективно використовуватися в різних умовах:

- у житлових приміщеннях для підтримки комфортного мікроклімату;

					КРМ.ЕС.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- у навчальних закладах для контролю рівня CO₂ під час занять;
- в офісах і лабораторіях, де важливо забезпечити стабільну концентрацію кисню для ефективної роботи персоналу.

Завдяки простоті налаштування та високій точності вимірювань прилад може бути інтегрований у локальні системи моніторингу якості повітря або використовуватись як автономний вимірювальний модуль.

Переваги та недоліки

Основними перевагами Technoline WL1030 є:

- використання інфрачервоного NDIR-датчика для точного вимірювання CO₂;
- функція автоматичного калібрування;
- візуальні та звукові індикатори для оперативного сповіщення про погіршення якості повітря;
- енергонезалежна пам'ять налаштувань;
- висока точність і стабільність показань;
- зручний дисплей із кольоровими підказками.

До недоліків можна віднести:

- відсутність бездротових комунікацій (немає Wi-Fi або LoRaWAN);
- обмежений набір контрольованих параметрів (немає вимірювання атмосферного тиску, пилу чи летких сполук);
- залежність від зовнішнього джерела живлення.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Метеостанция La Crosse WS6822

Одним із сучасних пристроїв для комплексного моніторингу мікроклімату приміщень є метеостанція La Crosse WS6822, яка поєднує у собі високу точність вимірювань, зручність відображення даних та широкий набір функцій для аналізу стану навколишнього середовища. Виробник La Crosse Technology є одним із провідних європейських брендів у сфері побутових та професійних вимірювальних приладів, що забезпечує високу якість, надійність та довговічність експлуатації.

Цей прилад призначений для вимірювання внутрішньої та зовнішньої температури, відносної вологості, а також аналізу тенденцій змін атмосферного тиску. Окрім базових параметрів, станція виконує прогноз погоди на найближчі 12 годин, що значно підвищує її функціональну цінність у побутових та офісних умовах.

Загальні особливості конструкції

Метеостанція La Crosse WS6822 оснащена кольоровим LCD-дисплеєм розміром 128×109 мм, який забезпечує високий рівень контрастності та зручність зчитування даних. Інформація подається у структурованому вигляді — відображається температура, відносна вологість, прогноз погоди, дата та час.

Завдяки великому шрифту (до 31 мм для зовнішньої температури) користувач може комфортно сприймати дані навіть з відстані. Для підвищення ергономічності передбачено підсвічування дисплея, що дозволяє працювати з пристроєм у будь-який час доби.

Важливою особливістю є можливість безперервної роботи від мережевого адаптера із регулюванням рівня яскравості підсвічування. Пристрій також має

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

індикатор рівня сигналу від зовнішнього датчика та індикатор низького заряду батареї, що забезпечує своєчасне обслуговування і стабільну роботу системи.

Функціональні можливості

Метеостанція забезпечує **комплексний моніторинг мікроклімату** за допомогою вбудованих та зовнішніх сенсорів.

Прогноз погоди. Прилад реалізує кольоровий прогноз погоди на найближчі 12 годин, що ґрунтується на аналізі зміни атмосферного тиску. Інформація подається у вигляді символічних піктограм — «ясно», «перемінна хмарність», «дощ», «гроза», «сніг» тощо. Також реалізовано сезонні іконки (весна, літо, осінь, зима), що підвищує зручність сприйняття даних користувачем.

Вимірювання температури в приміщенні. Діапазон вимірювань становить від 0°C до +37°C (або від 32°F до 99°F). Прилад дозволяє вибір одиниць вимірювання (°C/°F) та забезпечує роздільну здатність 0.1°C при точності $\pm 1^\circ\text{C}$. Система автоматично реєструє мінімальні та максимальні значення температури протягом доби, що надає змогу оцінити коливання мікроклімату. Для критичних змін передбачено звуковий сигнал, який попереджає про відхилення від заданих меж.

Вимірювання вологості повітря в приміщенні. Вологість вимірюється в діапазоні від 1% до 99% RH із роздільною здатністю 1% та точністю $\pm 5\%$. Так само, як і для температури, пристрій фіксує мінімальні та максимальні значення протягом доби, а також відображає тенденцію змін вологості, що допомагає користувачу відслідковувати стабільність умов у приміщенні.

Вимірювання зовнішньої температури. За допомогою бездротового датчика станція може вимірювати температуру в діапазоні від -40°C до +60°C (або від -40°F до 140°F). Роздільна здатність становить 0.1°C, а точність – $\pm 1^\circ\text{C}$ при

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

температурі від 0°C до +50°C та $\pm 1.5^\circ\text{C}$ при нижчих значеннях. Частота оновлення даних — кожні 50 секунд. Передбачено індикацію тенденції зміни температури та можливість встановлення порогів сигналізації.

Вимірювання зовнішньої вологості. Зовнішня вологість вимірюється в тому ж діапазоні — 1% до 99% RH, з аналогічною точністю $\pm 5\%$. Прилад демонструє тенденцію змін цього параметра, фіксує екстремальні значення за добу та подає звукове сповіщення у разі перевищення допустимих меж.

Додаткові функції

Метеостанція має радіокеровані годинник і календар, які автоматично синхронізуються з еталонним часом. Користувач може обрати 12- або 24-годинний формат відображення. Функція будильника з повтором сигналу (snooze) робить пристрій багатофункціональним, поєднуючи вимірювальні та побутові можливості.

Календар відображає дату, день тижня та місяць, причому назви днів тижня можуть відображатися французькою мовою. Це демонструє мультикультурну спрямованість пристрою та його орієнтацію на європейський ринок.

Передача даних та живлення

Зовнішній датчик передає інформацію на основний блок за допомогою радіосигналу частотою 433 MHz. Максимальна дальність зв'язку — до 91 метра у межах прямої видимості, що дозволяє розташовувати сенсор поза приміщенням або у віддалених зонах будівлі.

Живлення станції може здійснюватися від мережевого адаптера AC/DC 5V, який входить до комплекту постачання, або від трьох батарей типу AA (LR6, 1.5V). Зовнішній датчик живиться від двох таких самих батарей. Для

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

забезпечення стабільної роботи рекомендується використання алкалінових елементів живлення (Duracell, Energizer тощо).

Конструктивні характеристики

Метеостанція має компактні розміри 175×162×34 мм і вагу 0.327 кг, що робить її зручною для настільного розміщення або кріплення на стіну. Зовнішній датчик має габарити 40×20×130 мм і вагу 0.044 кг.

Комплект поставки включає:

- метеостанцію La Crosse WS6822;
- зовнішній датчик температури та вологості;
- мережевий блок живлення;
- інструкцію користувача.

Узагальнена оцінка

Таким чином, **La Crosse WS6822** — це сучасна багатофункціональна метеостанція, що поєднує широкий спектр можливостей для моніторингу кліматичних параметрів, ергономічний дизайн, зручний кольоровий дисплей та високу точність вимірювань. Завдяки цьому вона може бути використана не лише у побуті, але й у навчальних, офісних чи лабораторних приміщеннях для контролю якості мікроклімату. Її можна розглядати як ефективний аналог у порівняльному аналізі сучасних систем моніторингу внутрішнього середовища, що є важливим етапом у процесі розроблення власного пристрою чи проектного рішення.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2.Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання

У сучасному контексті систем моніторингу якості довкілля значення схемотехнічної складової пристроїв дедалі зростає. З огляду на це, правильне апаратне рішення — не просто сукупність компонентів, а детально продумана архітектура, що визначає точність, надійність, енергетичну ефективність і масштабованість системи. У цьому підпункті наведено огляд схемотехнічних підходів, які застосовуються в сучасних аналогах пристроїв моніторингу повітря (IAQ, Indoor Air Quality) та метеорологічних станцій. Розглядається типова блок-схема, практичні нюанси реалізації, переваги й обмеження різних архітектурних виборів. Такий аналіз дозволяє сформулювати обґрунтований фундамент для вибору апаратної бази власного пристрою.

Типова блок-архітектура пристрою моніторингу

У більшості сучасних приладів моніторингу якості повітря і мікроклімату зустрічається базова структурна схема, що включає такі основні блоки:

- **Сенсорний блок** — містить набір датчиків, таких як CO₂-сенсор, датчик пилу (PM_{2.5}/PM₁₀), датчики температури, вологості, можливо інші гази чи леткі органічні сполуки. Кожен із цих сенсорів має власні фізичні принципи (оптичні, електрохімічні, інфрачервоні) і відповідні апаратні вимоги. Наприклад, NDIR-датчик CO₂ має інфрачервоний джерело, фотодетектор, оптичні лінзи та стабілізоване живлення.
- **Аналоговий тракт / передпідсилювач** — потрібен для датчиків, що видають аналоговий сигнал (наприклад оптичні сенсори пилу або аналогові газові сенсори). Це включає джерело струму для світлодіода, підсилювач фотоструму, RC/LC-фільтри, АЦП або аналоговий-цифровий перетворювач. Така схема має значення для забезпечення точності, низького шуму та стабільності показів.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- **Обробка даних / контролер** — мікроконтролер або SoC, що читає сенсорні дані, виконує калібрування, фільтрацію (усереднення, видалення «спайків»), може управляти режимами сну й передачі, відображати результати на дисплеї чи LED-індикаторі, та формувати дані для комунікації чи архівування.
- **Комунікаційний блок** — забезпечує передачу зібраних даних до серверів чи шлюзів. Найпоширеніші рішення: LoRaWAN (для автономних розгортань з низьким споживанням), Wi-Fi (для локального інтегрування), радіопередача 433 MHz (часто в побутових метеостанціях). Вибір протоколу впливає на архітектуру живлення й режимів роботи.
- **Живлення та енергоменеджмент** — включає батареї або мережеве живлення, стабілізатори напруги, фільтри живлення, схеми захисту, режими сну/пробудження контролера, які дозволяють значно знизити середнє енергоспоживання. У автономних системах критичною є оптимізація кожного мікроампера споживання.
- **Корпус і механіка розміщення** — сенсори розміщують так, щоб уникнути прямих потоків повітря, сонячного світла чи вентиляційних шахт, адже це може вплинути на достовірність вимірювань. Окрім цього, потрібні отвори або мембрани для сенсорів, ефективне теплове розсіювання, правильна орієнтація монтажу.

Ця структура відтворюється у багатьох дослідженнях IAQ-систем, які аналізують архітектуру, мікроконтролери, комунікації і сенсори.

Приклади схемотехнічних підходів в аналогах

Сенсори CO₂ та їх апаратна реалізація

Серед пристроїв для моніторингу IAQ сенсор CO₂ є однією з ключових складових — адже концентрація CO₂ є прямим індикатором вентиляції і

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

якості повітря. У промислових рішеннях застосовують NDIR-технологію — що включає ІЧ-джерело, фотодетектор, оптичну систему та стабілізацію температури/вологості. Такий сенсор має високу роздільність і стабільність, але вимоги до схемотехніки значні: джерело струму чи напруги, підсилювач фотоструму, фільтрація живлення, компенсація температури/вологості.

У наукових оглядах зазначається, що саме CO₂ і частки пилу (PM) є найчастіше вимірюваними параметрами серед IAQ-систем — відповідно до статистики: CO₂ зустрічається в ~67% рішень, PM — ~29%.

Таким чином, схемотехнічне рішення для CO₂-каналу має бути проробленим з точки зору аналогової частини, калібрування та температурної компенсації.

Аналоговий тракт для оптичних сенсорів (пилу, частинок)

У системах, що вимірюють пил або дрібні частинки (PM_{2.5}/PM₁₀), використовують оптичні датчики з фотодіодом/фототранзистором. Схема включає підсвічування світлодіодом чи лазером, фотодетектор, підсилювач сигналу, RC-фільтри для згладжування, АЦП. Наприклад, датчик GP2Y1014OU0F має рекомендації щодо імпульсного підсвічування (тривалість ≤0.32 мс на періоді 10 мс) і обов'язкового резистора 150 Ω та конденсатора 220 μF. Таке рішення дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання та підвищити точність вимірювання.

Для реалізації аналогового тракту важливі такі моменти: стабільне джерело живлення, якісний підсилювач низького шуму, фільтрація, та врахування температурного дрейфу фотодетектора.

Обробка даних і мікроконтролер

Мікроконтролер виконує центральну роль: він опитує сенсори, здійснює калібрування та температурну/вологостну компенсацію, управляє режимами сну, формує пакети передачі або запису. Критичним моментом є

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

забезпечення логіки живлення: якщо сенсор працює на 3.3 В, а MCU чи дисплей — на 5 В, то потрібно застосовувати рівень-змішувачі (level shifters) або окремі стабілізатори, інакше виникають помилки чи нестабільність.

Комунікаційні протоколи та радіочастотні аспекти

Схемотехнічне рішення комунікації має великий вплив на архітектуру пристрою. Якщо використано LoRaWAN, як у багатьох автономних IAQ-розгортаннях, необхідно враховувати: антени з добрим коефіцієнтом підсилення, узгодження ліній (SWR), захист RF-частини від електроживлення, а також вибір модуля з режимом deep-sleep. Для оцінки дальності зв'язку застосовують link-budget:

$$\text{LinkBudget} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{path} - L_{misc} \quad (1.1.)$$

Це важлива формула, що дозволяє проектувати дальність і надійність радіозв'язку. В одному випадку, з $P_{tx}=16$ dBm та чутливістю $R_x \approx -137$ dBm, link budget ≈ 153 dB — що свідчить про можливість значної дальності у міському середовищі.

Живлення, енергозбереження, автономність

Для автономних систем ключовим є оптимізація енергоспоживання. Архітектура включає: батареї, стабілізатори, режими сну MCU і периферії, індикацію з малим струмом (наприклад e-ink), рідку передачу даних. Для оцінки автономності застосовують формулу:

$$t_{\text{hours}} \approx \frac{C_{\text{mAh}}}{I_{\text{avg}}} \quad (1.2.)$$

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

де (C_{mAh}) — ємність батарей, (I_{avg}) — середній струм.

Переваги й обмеження різних архітектур

Переваги

- Інтеграція кількох сенсорів (температура, вологість, CO₂, пил) дозволяє зменшити кількість пристроїв і кабелів, спрощує монтаж.
- Низькоенергетичні протоколи (наприклад LoRaWAN) дають можливість масштабного розгортання із мінімальними витратами на обслуговування.
- Цифрові сенсори зі вбудованим інтерфейсом (I²C/SPI) полегшують схемотехніку та програмування.
- У побутових рішеннях зручність індикації (дисплей, LED-індикатори) підвищує користувацький досвід.

Обмеження

- Датчики високої точності (особливо NDIR CO₂) значно дорожчі і потребують складнішої схемотехніки (оптика, стабілізація, фільтри).
- Аналогові сенсори пилу або газів потребують ретельної аналогової частини — дрейф, шум, температурна залежність можуть серйозно вплинути.
- Автономність батарейних систем вимагає жорсткої оптимізації; з невдалим проектом батарея може розряджатись значно раніше, ніж заявлено.
- Монтаж і розміщення сенсорів часто недооцінюють: вплив сонця, протягу, вентиляції, пилу можуть спотворювати дані.
- Бюджетні рішення зазвичай мають менше можливостей калібрування, менш стабільні показники з часом. У дослідженнях зазначено, що

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

значна кількість IAQ-систем має труднощі з калібруванням і стабільністю.

Практичні рекомендації для проектування власного пристрою

На підставі аналізу архітектур та схемотехнічних рішень рекомендується врахувати такі моменти у розробці свого пристрою:

- **Вибір сенсорів:** комбінувати універсальний сенсор (для Т/Н/тиску) з більш спеціалізованими сенсорами (CO₂, пил) — за потреби.
- **Аналоговий тракт:** якщо використовується датчик пилу чи аналоговий газовий сенсор — потрібно продумати підсилювач і фільтрацію (RC/LC), стабілізацію живлення.
- **Живлення:** для автономності потрібні — батарея режими сну e-link/LED-індикація ; для стаціонарного пристрою — мережеве живлення з резервною батареєю.
- **Комунікація:** якщо планується багато пристроїв чи великі площі — LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) може бути вигідним.
- **Калібрування і монтаж:** потрібно передбачити процедури калібрування, запис зміщень та коефіцієнтів; монтаж сенсорів — уникати прямих сонячних променів, джерел тепла.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

3. Проектно-конструкторський розділ

3.1. Синтез та аналіз структурної схеми

Синтез та аналіз датчиків

Опис і принцип дії MQ-135

Загальна інформація

Датчик якості повітря **MQ-135 (Gas Sensor / Module)** — це популярний напівпровідниковий газовий сенсор, який реагує на наявність різних шкідливих газів і домішок у повітрі. Він використовується як для домашнього, так і для промислового моніторингу, тому що забезпечує відносно низьку вартість і просту інтеграцію з мікроконтролерами.

Його сенсорна частина виготовлена із **оксиду олова (SnO_2)**, який у чистому повітрі має високу електричну резистивність, а при наявності шкідливих газів — змінює свої властивості (зменшується опір).

Які гази виявляє і на що реагує

MQ-135 чутливий до широкого спектру газів і домішок, серед яких:

- Вуглекислий газ (CO_2)
- Аміак (NH_3)
- Оксиди азоту (NO_x)
- Спирти, бензин, органічні пари (VOC)
- Дим, запахи, інші леткі органічні сполуки
- Бензен, метан, інші забруднення повітря

Це означає, що датчик не є “чистим CO_2 -сенсором” — він показує комплексне сприйняття забруднення, а не точну концентрацію одного виду газу.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Електричні характеристики

Таблиця 1.1. Електричні характеристики і специфікації MQ-135

Параметр	Значення
Напруга живлення	5 V (діапазон 2.5–5 V)
Струм споживання	~ 130 мА (декілька версій модуля — до ~150 мА)
Вихід	Аналоговий (0–5 V) + цифровий TTL (дискретний)
Компараторний вихід	Вмонтований на модулі часто використовується LM393, дозволяє встановити порогове значення через потенціометр
Розміри модуля	32×20×24 мм або схожий формат
Час прогріву (пре-нагів)	Рекомендовано 24 години перед першим використанням (деякі джерела говорять про 20–30 хв, але для стабільності — 24 год)
Індекс чутливості / робочий опір	Чутливість змінюється в залежності від концентрації газів, підключеного навантаження (резистор RL), температури, вологості

Як побудовано модуль і схема використання

На типовому модулі MQ-135 є:

- Сенсор (SnO₂ корпус)
- Потенціометр для налаштування цифрового порогу
- Резистор навантаження (RL), який разом із внутрішнім опором датчика формує подільник
- Світлодіод індикації та допоміжні компоненти
- Сигнальні виводи: VCC, GND, AOUT (аналог), DOUT (дискретний TTL)

Якщо детальніше, то опір сенсора R_s і R_L утворюють подільник: коли гази присутні, R_s змінюється $\rightarrow$ напруга на $AOUT$ змінюється. Ця напруга читається мікроконтролером.

Переваги та обмеження MQ-135 (для твого приладу)

Переваги

- Низька ціна і доступність — один із найбюджетніших сенсорів, широко використовуваний у бюджетних проектах.
- Простота інтеграції — має аналоговий вихід 0–5 V, який легко підключити до ADC мікроконтролера.
- Широке охоплення газів — може “відчувати” багато різних забруднень, що корисно для загального моніторингу якості повітря.
- Наявність дискретного виходу — можна використовувати як аварійний тригер (якщо концентрація перевищила певний поріг).
- Стабільна конструкція — простий драйвер, довгий термін служби при правильному використанні.

Обмеження / недоліки

- Низька селективність — MQ-135 не дає точну концентрацію одного газу, оскільки реагує на багато видів газів одночасно.
- Велике споживання струму через нагрівальний елемент — $\sim 130\text{--}150\text{ мА}$ — суттєвий для пристроїв з живленням від батарей.
- Необхідність прогріву та калібрування — перед роботою модуль слід прогріти й калібрувати на “чистому” повітрі або відомих умовах.
- Лінійність вихідної характеристики — необхідно використовувати графіки чутливості з даташиту і емпіричні калібрування.
- Зсув нуля / дрейф — з часом опір сенсора може змінюватися, що треба враховувати періодичною пере калібруванням.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Рекомендації щодо використання MQ-135 у приладі

Живлення та включення

Живити MQ-135 від 5 V стабілізатора (наприклад L7805), щоб мікросхема отримувала стабільне напруження.

Перш ніж здійснити виміри, живлення має бути включене не менше, ніж на 24 години (або унікальна процедура прогріву) для стабільності.

Живлення сенсора має бути завжди активним під час замірів, оскільки вимикання-нагрів може призвести до неточностей.

Калібрування та перетворення показників

Для коректних показів потрібно обчислювати співвідношення R_s/R_0 (опір сенсора у даному середовищі до опору у “чистому повітрі”) → за графіками чутливості з даташиту (ln-лінійну лінію).

Можна використовувати емпіричні формули, наприклад:

$$PPM = a \cdot \left(\frac{R_s}{R_0}\right)^b \quad (2.1.)$$

де (a, b) — коефіцієнти, які підбираються під конкретний газ/умови (наприклад, для NH_3 , CO_2).

Зважаючи на вплив температури та вологості, можна коригувати показники через VME280 (компенсація).

Обробка даних

Раз на визначений інтервал зчитувати аналоговий сигнал і перераховувати у концентрацію або індекс якості повітря (AQI-подібна шкала).

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Зберігати дані у SD-модулі, будувати графіки, висилати дані через Wi-Fi.

Використовувати “згладжування” (moving average) або середнє для видалення шуму.

Аналіз доцільності використання MQ-135 у проекті

Перевага для системи

Завдяки низькій ціні та широкій підтримці MQ-135 ідеально підходить для побутових / локальних систем моніторингу.

У комбінації з BME280 дає можливість компенсувати температурно-вологісний вплив, підвищуючи точність.

Він добре підходить для "індикативної" оцінки якості повітря (чи присутні шкідливі домішки в загальному), навіть якщо не дуже точний для CO₂.

Недоліки, які варто врахувати

Не досить точний для строгих нормативних вимірів CO₂ — коли потрібна сертифікована точність, використовують NDIR сенсори (наприклад, MH-Z19).

Необхідність стабільного калібрування, особливо з часом, оскільки сенсор може зношуватись.

BME280 — датчик температури, вологості та атмосферного тиску

Призначення та значення

Датчик BME280 — це високоточний multifunkціональний сенсор, який поєднує в собі вимірювання трьох важливих параметрів довкілля: температури, відносної вологості повітря та барометричного (атмосферного) тиску. Він дозволяє отримувати комплексну інформацію про стан

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

атмосферного середовища та ефективно використовуватися в системах моніторингу довкілля, «розумних» будинках, погодних станціях, а також у пристроях для контролю мікроклімату. У контексті твого магістерського проекту — «Електронний прилад для моніторингу стану довколишнього середовища» — застосування BME280 є виправданим та доцільним, оскільки дозволяє зменшити кількість окремих модулів (датчик температури, вологості й тиску окремо) та підвищити функціональність приладу за рахунок одного компактного рішення.

Принцип роботи

Датчик базується на MEMS-технології (мікроелектромеханічні сенсори), що дозволяє інтегрувати в одному корпусі кілька чутливих елементів:

- **Вимір температури:** внутрішній термодатчик забезпечує вимірювання температури середовища, а також служить для компенсації інших каналів.
- **Вимір вологості:** чутливий елемент реагує на зміну відносної вологості (% RH) і перетворює її у цифру через вбудований АЦП та цифровий інтерфейс.
- **Вимір тиску:** барометричний сенсор фіксує абсолютний тиск повітря (в гПа/мбар) і може використовуватися також для грубої оцінки висоти або зміни погодних умов.

Датчик має цифровий інтерфейс — I²C (до ~3,4 МГц) або SPI (до ~10 МГц). Формально, датчик є «сумісним» з попередником BMP280 – він має аналогічні характеристики по тиску/температурі, але додатково включає канал для виміру вологості.

Основні технічні характеристики

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Ось узагальнені характеристики датчика BME280, які важливо врахувати при інтеграції:

- Діапазон вимірюваного тиску: 300...1100 гПа (~-500...+9000 м над рівнем моря).
- Робоча температура: -40 °C ... +85 °C.
- Напруга живлення: VDD = 1,71...3,6 В, логіка I/O: VDDIO = 1,2...3,6 В.
- Типовий споживаний струм:
 - ~1,8 мкА при 1 Гц оновлення (канали Н + Т).
 - ~2,8 мкА при 1 Гц (канали Р + Т).
 - ~3,6 мкА при 1 Гц (канали Н + Р + Т).
- Клас точності: наприклад, за даними виробника для вологості ±3 % RH.
- Форма корпусу: дуже компактна — 2,5 × 2,5 мм, висота ~0,93 мм.

Формули та приклади використання

Датчик видає сирі цифрові показники, які потребують компенсації та перетворення згідно з формулами у даташиті. Зокрема:

$$T_{\text{actual}} = \frac{t_{\text{raw}}}{factor_T} + T_{\text{offset}} \quad (2.2.)$$

$$P_{\text{actual}} = \frac{p_{\text{raw}}}{factor_P} + P_{\text{offset}} \quad (2.3.)$$

$$RH_{\text{actual}} = \frac{h_{\text{raw}}}{factor_H} + H_{\text{offset}} \quad (2.4.)$$

(де (t_{raw} , p_{raw} , h_{raw}) — сирі дані; ($factor_x$) та ($offset$) — значення калібрування, визначені виробником).

Оскільки тиск змінюється з висотою, можна приблизно оцінити зміну висоти (Δh), використовуючи формулу барометричного висота-тиску (спрощено):

$$\Delta h \approx \frac{T + 273.15}{0.0065} \cdot \left(1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0.1903} \right) \quad (2.5)$$

де (T) — температура повітря в °C, (P) — поточний тиск, (P₀) — тиск на рівні моря.

Енергоспоживання

$$P = U \cdot I \quad (2.6.)$$

При $U \sim 3.3$ В і $I \sim 3.6$ μ А $\rightarrow P \approx 11.9$ мкВт. Це дуже низьке споживання, що дозволяє використовувати датчик у автономних пристроях з живленням від батареї/акумулятора.

Підключення та інтеграція

- Інтерфейс: I²C або SPI. В режимі I²C зазвичай використовують адреси **0x76** або **0x77**.
- Живлення: бажано 3.3 В, логіка I/O також 3.3 В. Якщо мікроконтролер працює на 5 В, слід застосувати рівень-змішувач або модуль, що підтримує 5 В «VIN».
- Рекомендації монтажу: уникати прямих джерел світла на корпус датчика (вони можуть впливати на точність).

Переваги та обмеження

Переваги:

- Компактність, низьке енергоспоживання — ідеально для автономних систем моніторингу.
- Один модуль замінює три окремих датчики (температура, вологість, тиск) — скорочення кількості компонентів.

					КРМ.ЕС.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- Цифровий інтерфейс спрощує підключення, менше помилок в монтажі.
- Висока точність, широкий діапазон температур — придатний для різних умов.

Обмеження:

- Працює переважно на живленні ≤ 3.6 В — потрібно врахувати сумісність з іншою схемою.
- Хоча тиск дає дані про зміну висоти, це лише наближена оцінка — потребує калібрування.
- Використання датчика у запиленому чи агресивному середовищі може вимагати захисту чи контейнеру.
- Якщо використовувати SPI режим, схема підключення складніша, ніж I²C.

GP2Y1014AU0F — датчик пилу: детальний огляд

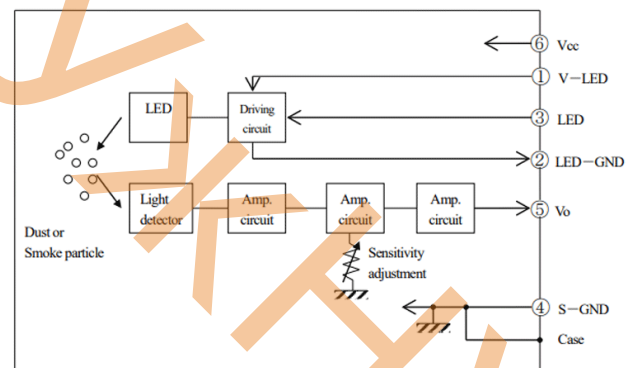


Рис.3. GP2Y1014AU0F — датчик пилу

Рис.4. струк. схема GP2Y1014AU0F

Призначення та значення в контексті моніторингу довкілля

Датчик GP2Y1014AU0F — це **оптичний сенсор пилу**, призначений для вимірювання концентрації дрібних частинок (пилу, диму) у повітрі. У пристрої «електронний прилад для моніторингу стану довкілля» він відіграє важливу

роль, оскільки пил (РМ-частки) є одним із ключових факторів, що впливають на якість повітря, здоров'я людини й екологічну ситуацію загалом.

Завдяки такому датчику можна динамічно оцінювати, чи не перевищено допустимий рівень частинок, чи відбуваються зміни якості повітря, наприклад, при провітрюванні, викиді пилу, діяльності в приміщенні тощо.

Принцип роботи

Датчик GP2Y1014AU0F працює на основі світлорозсіювання:

- Всередині корпусу розташовано інфрачервоний світлодіод (IRED) та фототранзистор, розміщені діагонально щодо отвору для повітря.
- Повітря з частинками (пилу, диму) проходить через отвір датчика. Світло від IRED освітлює ці частинки, частина світла розсіюється і потрапляє на фототранзистор.
- Фототранзистор перетворює фотострум у електричний сигнал, який потім підсилюється і видається на аналоговий вихід V_{out} . Інтенсивність вихідної напруги пропорційна концентрації пилу: чим більше частинок — тим вища напруга.
- Важлива деталь: датчик часто працює з коротким імпульсом підсвічування LED ($\sim 0,28$ мс) з періодом ~ 10 мс, щоб зменшити енергоспоживання та підвищити точність.

Формула співвідношення:

$$V_{out} = V_{OC} + K \cdot \rho_{dust} \quad (2.7.)$$

де (V_{OC}) — вихідна напруга при «чистому повітрі» (без пилу), (K) — коефіцієнт чутливості (наприклад $0.5 \text{ V} / (100 \text{ мкг/м}^3)$ у типових умовах) , а (ρ_{dust}) — концентрація пилу у мг/м^3 .

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таким чином, коли (ρ_{dust}) збільшується, вихідна напруга (V_{out}) зростає лінійно або наближено лінійно з коефіцієнтом (K).

Технічні характеристики

Ключові характеристики датчика GP2Y1014AU0F:

- Робоча напруга: 4.5...5.5 В (часто рекомендовано 5 В)
- Максимальний споживаний струм: ~20 мА. Типово ~11 мА.
- Мінімальна розмір частинок, які можуть бути виявлені: ~0.8 μm .
- Чутливість: $\sim 0.5 \text{ V}/(0.1 \text{ mg}/\text{m}^3) = 0.5 \text{ V}/(100 \text{ mcg}/\text{m}^3)$ (для певних умов)
- Напруга при «чистому» повітрі (без пилу): типово ~0.9 В.
- Температурний діапазон роботи: $-10...+65 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Аналоговий вихід: V_{out} — підключається до аналогового входу мікроконтролера.

Особливості підключення та монтажу

- Для живлення LED використовується резистор ~150 Ом (R1) та конденсатор ~220 мкF (C1) для формування короткого імпульсу підсвічування. Це згадано в документації SHARP.
- Вихід V_{out} треба підключити до вільного аналогового входу АЦП мікроконтролера (наприклад, ATmega1284P) з урахуванням референсної напруги.
- Для керування LED та імпульсів підсвічування можна використовувати цифровий вихід мікроконтролера.
- Монтаж датчика: важливо, щоб отвір для проходження повітря був відкритий, а корпуси компонентів (LED/фототранзистор) не заблоковані. Монтажна плата має бути заземлена на S-GND.
- Вихідний сигнал потрібно фільтрувати або усереднювати програмно, оскільки окремі частки можуть давати імпульси. Наприклад, можна

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

заміряти кілька значень в секунду і обчислювати середню напругу за інтервал.

Формули і приклади розрахунків

1. Вихідна напруга за заданою концентрацією:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{OC}} + K \cdot \rho_{\text{dust}} \quad (2.8.)$$

де:

$V_{\text{OC}} \approx 0.9 \text{ В}$ (типове значення для чистого повітря)
 $K \approx 0.5 \text{ В}/(100 \text{ мкг}/\text{м}^3)$

ρ_{dust} — концентрація пилу, наприклад $500 \text{ мкг}/\text{м}^3$

При ($\rho = 500, \text{ мкг}/\text{м}^3$):

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 0.9, \text{В} + 0.5, \frac{\text{В}}{100, \text{ мкг}/\text{м}^3} \cdot 500, \text{ мкг}/\text{м}^3 = 0.9, \text{В} + 0.5 \cdot 5 = \\ &= 0.9, \text{В} + 2.5, = 3.4, \text{В} \quad (2.9.) \end{aligned}$$

Це означає, що при концентрації $500 \text{ мкг}/\text{м}^3$ вихідний сигнал буде $\sim 3.4 \text{ В}$ (для 5 В живлення).

2. Споживання енергії:

$$P = U \cdot I \quad (2.10.)$$

При $U = 5 \text{ В}$ і $I \approx 20 \text{ мА}$ (макс)

$$P = 5, \text{В} \cdot 0.02, \text{А} = 0.1, \text{Вт} \quad (2.11.)$$

Це означає, що датчик споживає $\sim 0,1$ Вт — незначно, але якщо в системі багато сенсорів і багатогодинна робота — це слід враховувати.

Переваги й обмеження

Переваги:

- Висока чутливість до дрібних частинок (від ≈ 0.8 мкм) — дозволяє виявляти навіть дим чи легкий пил.
- Прямий аналоговий вихід — легко підключити до мікроконтролера без складних схем.
- Компактний корпус, відносно простий монтаж.
- Добре підходить для навколишнього моніторингу, домашніх систем, IoT-пристроїв.

Обмеження і нюанси:

- Вихідна напруга не «нулюється» при відсутності пилу; необхідно калібрувати (V_{OC}) (напр., 0.9 В) і враховувати зміну температури/вологості.
- Чутливий до напрямку потоку повітря, засмічення отвору, надмірної вологості чи агресивних частинок. Потрібне механічне/геометричне проектування корпусу.
- Живлення 5 В і струм ~ 20 мА — слід враховувати у задаче живлення (особливо якщо система автономна).
- Пряме обчислення концентрації пилу за напругою має похибку: часто потрібно калібрування і/або перетворення через емпіричні формули.

Практичне застосування

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

У пристрої моніторингу стану довкілля GP2Y1014AU0F забезпечує одну з ключових величин — концентрацію твердих частинок. Разом із деякими датчиками це дозволяє формувати комплексну карту середовища.

- У програмному забезпеченні мікроконтролера можна зчитувати V_{out} , перетворювати його в концентрацію пилу:

$$\rho_{dust} = \frac{V_{out} - V_{OC}}{K} \quad (2.11.)$$

де K та (V_{OC}) визначені емпірично при калібруванні.

- Дані можна зберігати на SD-карту як лог: дата/час, температура, вологість, CO_2 , (ρ_{dust}).
- На LCD-дисплеї або в мобільному додатку можна виводити значення пилу у mg/m^3 або категорії (наприклад: «Норма», «Підвищене», «Високе»).
- Для автономного режиму слід врахувати, що датчик рекомендується запускати з імпульсом LED (~ 0.28 мс) і періодом ~ 10 мс, щоб зменшити нагрів і споживання.

3.2. Синтез та аналіз електричної принципової схеми

Розрахунок геометричних розмірів друкованої плати

Для визначення монтажних габаритів друкованої плати проводиться класифікація всієї елементної бази за габаритними групами:

- **малогабаритні (мг):** дискретні SMD резистори/конденсатори, світлодіоди, невеликі SMD — для цих елементів приймаємо установну площу — площа прямокутника, в який укладається елемент разом із виводами;

- **середньо-габаритні (сг):** модулі сенсорів (ESP, MQ-135, GP2Y як модулі), контролери у SOP-корпусах, динамік, SD-модуль;
- **крупно-габаритні (кг):** LCD-модуль 1602, батарея, великий DIP-мікроконтролер (DD1 у DIP-40).

Таблиця 2. розміри і класи компонентів

Позначення	Елемент	Розміри L×W (мм)	Площа S _{уст} (мм ²)	Клас
DD1	ATmega1284P, DIP-40	52.3 × 15.24	52.3·15.24 = 797.7	кг
LCD-1602	Модуль 16×2	80 × 36	80·36 = 2880	кг
GB1	АКБ 3S2P (прикл.)	69.2 × 64	69.2·64 = 4430	кг
A1	ESP8266 (ESP-12E)	24 × 16	24·16 = 384	сг
A2	MQ-135 (модуль)	33 × 20	33·20 = 660	сг
A4	GP2Y1014 (модуль)	46 × 30	46·30 = 1380	сг
1(BME)	BME280 модуль	15 × 11	15·11 = 165	сг
U3	HW-125 microSD	32 × 24	32·24 = 768	сг
U2(HT)	HT4928S (DIP-8)	9.8 × 7.62	9.8·7.62 = 74.7	сг

BA1	Динамік AST-030C0MR-R	29.7×29.7	$29.7 \cdot 29.7 = 882.1$	сг
Резистори (16 шт)	більшість SMD 0603/0805 (усереднено)	прийmemo середню площу 6 мм²/шт	$16 \cdot 6 = 96$	мг
Конденсатори (прибл. 14 шт)	SMD 0603/0805/електроліти	прийнято середню площу 10 мм²/шт (електроліти більші)	$14 \cdot 10 = 140$	мг
Кнопки (5 шт)	тактова, посадка $\sim 6 \times 6$ мм	36 мм ² /шт	$5 \cdot 36 = 180$	мг
Світлодіоди (3 шт)	3×3 мм пайка	9 мм ² /шт	$3 \cdot 9 = 27$	мг
Інше (індуктивність L3, кварц Q1, загальн.)	сумарно (оціночно)	150 мм²	мг	

Підсумкові значення:

- Сумарна встановлювальна площа **малогабаритних** $S_{мг} = 96 + 140 + 180 + 27 + 150 = 593 \text{ мм}^2$
- Сумарна встановлювальна площа **середньо-габаритних** $S_{сг} = 384 + 660 + 1380 + 165 + 768 + 74.7 + 882.1 = 4313.8 \text{ мм}^2$
- Сумарна встановлювальна площа **крупно-габаритних** $S_{кг} = 797.7 + 2880 + 4430 = 8107.7 \text{ мм}^2$

Розрахунок монтажної зони

Формула :

$$S_{\text{роб}} = 4S_{\text{мг}} + 3S_{\text{сг}} + 1,5, S_{\text{кг}} (3.1.)$$

Підставлення (мм²):

$$S_{\text{мг}} = 593 \quad S_{\text{сг}} = 4313.8 \quad S_{\text{кг}} = 8107.7 (3.2.)$$

Обчислення:

$$S_{\text{роб}} = 4 \cdot 593 + 3 \cdot 4313.8 + 1.5 \cdot 8107.7 (3.3.)$$

Проміжні кроки:

$$4 \cdot 593 = 2372 (3.4.)$$

$$3 \cdot 4313.8 = 12941.4 (3.5.)$$

$$1.5 \cdot 8107.7 = 12161.55 (3.6.)$$

Сумарно:

$$S_{\text{роб}} = 2372 + 12941.4 + 12161.55 = 27474.95 \text{ мм}^2 (3.7.)$$

округлено — $\approx 27\,474 \text{ мм}^2$.

Вибір розмірів друкованої плати за ГОСТ 10317-79

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

За ГОСТ 10317-79 розміри сторін плати повинні бути кратними кроку 2,5 мм для довжин ≤ 100 мм, 5 мм для ≤ 350 мм тощо; співвідношення сторін не більше 3:1.

Потрібна площа монтажу $S_{роб} \approx 27\,474 \text{ мм}^2 \rightarrow$ необхідна площа плати $S_{дп} \geq S_{роб}$. Вибираємо стандартний прямокутник із кроком 5 мм, наприклад:

- варіант 1: $180 \times 150 \text{ мм} \rightarrow S_{дп} = 27\,000 \text{ мм}^2$ (трохи менше ніж $S_{роб}$ — не підходить),
- варіант 2: $185 \times 150 \text{ мм} \rightarrow S_{дп} = 27\,750 \text{ мм}^2$ — підходить (кратність 5 мм — 185 кратно 5? якісь стандарти вимагають кратність 5 мм; $185 \div 5 = 37$ — ціле число, відповідно допустимо),
- варіант 3: $190 \times 150 \text{ мм} \rightarrow S_{дп} = 28\,500 \text{ мм}^2$ — також підходить.

З урахуванням зручності виробництва і запасу для розведення доріжок, монтажних отворів і кріплень було вибрано плату розміром $190 \times 150 \text{ мм}$ ($S_{дп} = 28\,500 \text{ мм}^2$). Це дає запас $\approx 880 \text{ мм}^2$ (приблизно 3.1 % запасу), зручний для розведення і відведення тепла.

Розрахунок ширини друкованих провідників

Для вибору ширини провідника керуємось нормами IPC-2221/IPC-2152 (або емпіричними таблицями на їх основі). Для практичного проекту приймаємо типову товщину міді $1 \text{ oz/ft}^2 \approx 35 \text{ }\mu\text{м}$ (0,035 мм).

Основні рекомендації (на практичних таблицях IPC / калькуляторах):

- Сигнальні лінії ($I \lesssim 50 \dots 200 \text{ mA}$): достатньо 0.25 мм (типово — 0.25–0.3 мм).
- Живлення 3.3 V для ESP8266 (макс. струм модуля при Wi-Fi піках до $\approx 300\text{--}400 \text{ mA}$; запас — до 500 mA) — рекомендується ширина 0.6...0.8 мм (для 1 oz copper, допускаємо $10^\circ\text{C}\text{--}20^\circ\text{C}$ підвищення).

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- Живлення 5 V (частини: LCD підсвітка, MQ-135 нагрів) — пікові навантаження можуть доходити до $\approx 0.6\text{--}1.0$ А (особливо якщо нагрівач датчика та LCD підсвічування ввімкнені): рекомендуую 1.0...1.5 мм (1 oz copper) для головної шини 5 V. Таблично: 1 А $\approx 0.5\text{--}1.0$ мм (залежно від ΔT); 2 А $\approx 2.5\text{--}3.0$ мм.
- Полоса «GND» — якщо неможливо робити суцільний провідний шар/площину, то основну шину «GND» робимо шириною не менше 2.5–3.0 мм (або краще — монтуємо суцільну мідну площину для GND).
- Лед/індикатори, сигнали від датчиків ($I < 10$ мА) — 0.25 мм достатньо.

Пояснювальна формула (IPC-2221):

У загальному вигляді (за IPC-2221) для зовнішнього шару:

$$W = \frac{K \cdot I^n}{t} \quad (3.8.)$$

де (W) — ширина сліду (ми підбираємо з табличних значень або калькуляторів), (I) — струм (А), (t) — товщина міді, (K , n) — емпіричні коефіцієнти. У практиці замість ручного підбору користуються таблицями / онлайн-калькуляторами .

Таблиця 3. Рекомендовані ширини доріжок для схеми

Ланцюг	Оцінений піковий струм	Рекомендована ширина
Сигнали датчиків (I2C, SPI, ADC)	< 50 mA	0.25 мм
Кнопки, індикатори, LED	< 30 mA	0.25 мм
3.3 V шина (ESP8266)	до 0.5 А (піковий)	0.8 мм

5 V шина (LCD, MQ-135 нагрів)	до 1.0 А (піковий)	1.2 мм
GND (основний)	сумарно	2.5–3.0 мм
Відведення харчування до батареї/USB	до 1.5 А	1.5–2.5 мм

Розміри контактних майданчиків і діаметр отворів

За ГОСТ 10317-79 рекомендовані діаметри отворів: ряд допускає 0.4 ... 3.0 мм та далі (вказано у стандарті). Вибір свердла/діаметра залежить від діаметра виводу елемента.

Рекомендації :

- DIP-виводи (штирі 0.6...0.8 мм) → свердло 1.0 мм, подушка $\varnothing \approx 2.4\text{--}2.6$ мм.
- Роз'ємні штифти 2.54 мм (HDR 1×n) → свердло 0.9 мм (під 0.64–0.8 mm штирі), $\varnothing \approx 1.6\text{--}1.8$ мм.
- Кріпильні отвори (механічні) під гвинт M2 → свердло 2.2–2.5 мм; під M3 → 3.2 мм.

Трасування провідників і розташування елементів

1. **Розміщення великих елементів:** батарея, LCD і мікроконтролер розташовуються першими — так, щоб мінімізувати довжини живильних трас і забезпечити механічну фіксацію. Батарея — краще винести на край плати або під неї (залежно від конструкції корпусу).
2. **Групкування сенсорів:** модулі датчиків розташовуються по периферії так, щоб датчики повітря могли контактувати з навколишнім середовищем (наприклад, GP2Y з отвором для повітря).

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3. **Живлення і земля:** головну землю реалізувати як площу (GND plane) з відведенням живлення батареї до входу регулятора (HT4928S), потім від регулятора до L7805/AMS1117 тощо.
4. **Чутливі входи ADC (GP2Y вихід, MQ-135, BME280)** — розвести коротко і екранувати (за потреби) поруч із шиною GND; трасу ADC тримати короткою, мінімізувати паралельність із силовими трасами.
5. **Виводи USB і роз'єм живлення** — розташувати на одному краю плати для зручності.

Короткий висновок

- За типовими корпусами елементів (визначено по джерелах) сумарна монтажна площа дає ($S_{\text{роб}} \approx 27; 619 \text{ мм}^2$).
- Для зручної реалізації і запасу вибрано взяти плату $190 \times 150 \text{ мм}$ ($S = 28\,500 \text{ мм}^2$) відповідно до ГОСТ 10317-79 (крок 5 мм).
- Ширини провідників практично: сигнальні — 0.25 мм, 3.3 V — 0.8 мм, 5 V — 1.2 мм, GND — плоска площа або $\geq 2.5\text{--}3.0 \text{ мм}$.

3.2.

Розрахунки параметрів фрагмента схеми живлення

При розробці вузлів живлення портативної апаратури важливо забезпечити стабільне формування вихідної напруги за рахунок високоефективних імпульсних перетворювачів. У сучасних пристроях замість побудови підвищувальних та понижувальних стабілізаторів на дискретних транзисторах значно простіше та економічно доцільніше застосовувати спеціалізовані мікросхеми DC–DC конвертерів.

У даній роботі для формування стабільної вихідної напруги використано мікросхему підвищувального типу **HT4928S**, яка забезпечує перетворення

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

енергії від одnobанкового літійового елемента живлення у стабілізовану напругу 5.0 В.

Для забезпечення стабільної роботи перетворювача було виконано ряд розрахунків, що включають визначення струму індуктора, пульсацій струму та напруги, вибір індуктивності, вибір ємностей, розрахунок навантажувальних резисторів світлодіодних індикаторів тощо. Нижче подано детальний опис відповідних параметрів, методів їх визначення та отримані значення для обраної конфігурації.

1. Основні вихідні параметри перетворювача

Вихідні параметри визначають режим роботи всієї схеми. До таких параметрів належать:

- **Вхідна напруга**
($V_{in} = 3.0 \text{ В}$) — напруга одного Li-ion елемента.
- **Вихідна напруга**
($V_{out} = 5.0 \text{ В}$) — стабілізована напруга для живлення вузлів.
- **Максимальний струм навантаження**
($I_{out} = 0.5 \text{ А}$).
- **Частота перемикання**
($f_s = 1 \text{ МГц}$) — робоча частота ШІМ-регулятора.
- **Ефективність**
($\eta \approx 85\%$).

Ці значення дозволяють визначити необхідні електричні та конструктивні параметри елементів силового ланцюга.

2. Розрахунок струму індуктора та вибір індуктивності

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Індуктор є основним елементом підвищувального перетворювача, який накопичує та передає енергію на вихідний каскад. На робочих частотах порядку 1 МГц пульсація струму індуктора повинна бути малою, а значення струму насичення — достатньо великим, щоб допустити пікові струми під час імпульсних процесів.

Пульсація струму визначається за формулою:

$$\Delta I_L = \frac{V_{in}(V_{out} - V_{in})}{L \cdot V_{out} \cdot f_s}. \quad (3.9.)$$

Підставляючи значення:

$$\Delta I_L = \frac{3 \cdot (5 - 3)}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^6} = 0.12 \text{ A}. \quad (3.10.)$$

Середній струм індуктора:

$$I_{L,avg} = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot \eta} = \frac{2.5}{2.55} \approx 0.98 \text{ A}. \quad (3.11.)$$

Піковий струм:

$$I_{L,pk} = I_{L,avg} + \frac{\Delta I_L}{2} = 0.98 + 0.06 = 1.04 \text{ A}. \quad (3.12.)$$

Таким чином, індуктор повинен витримувати струм насичення не менше **1.5–2 А** та мати мінімальний активний опір. Прийнята індуктивність **L3 = 10 мкН**, що забезпечує стійкий режим роботи при частоті 1 МГц.

3. Розрахунок вихідного фільтруючого конденсатора

Вихідний конденсатор зменшує пульсації напруги, забезпечує стабільність навантаження та компенсує імпульсні зміни струму.

Пульсація напруги:

$$\Delta V_C = \frac{\Delta I_L}{C \cdot f_s} = \frac{0.12}{22 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6} \approx 5.46 \text{ мВ.} \quad (3.13.)$$

З урахуванням ESR ($\approx 10 \text{ мОм}$):

$$\Delta V_{ESR} \approx 0.01 \cdot 1.04 = 10.4 \text{ мВ.} \quad (3.14.)$$

Сумарна пульсація вихідної напруги становить приблизно 15–20 мВ, що відповідає вимогам до якісного імпульсного живлення.

4. Розрахунок вхідного конденсатора

Для стабілізації живлення мікросхеми та зменшення імпульсних спадів напруги на внутрішньому опорі акумулятора застосовується низькоімпедансний ємнісний фільтр.

Приймаємо:

C18 = 100 мкF, 6.3–10 В, low-ESR.

Це забезпечує стабільність роботи перетворювача під час різких змін струму.

5. Розрахунок струмообмежувальних резисторів світлодіодів VD3, VD4

Світлодіодні індикатори живлення потребують встановлення серійних резисторів. Їх значення визначають за формулою:

$$R = \frac{V_{out} - V_f}{I} \quad (3.15.)$$

Для червоного світлодіода ($V_f \approx 2.0 \text{ В}$, $I \approx 12 \text{ мА}$):

$$R = \frac{5 - 2}{0.012} \approx 250 \text{ Ом} \quad (3.16.)$$

практичний номінал:

330 Ом (оптимальна яскравість при низькій потужності).

Для зеленого світлодіода ($V_f \approx 3.0 \text{ В}$):

$$R = \frac{5 - 3}{0.012} \approx 166 \text{ Ом.} \quad (3.17.)$$

Номінал:

220 Ом ($\approx 9 \text{ мА}$, помірна яскравість).

6. Оцінка теплових та енергетичних параметрів

Вихідна потужність:

$$P_{out} = 5 \cdot 0.5 = 2.5 \text{ Вт.} \quad (3.18.)$$

Вхідна потужність (при $\eta=0.85$):

$$P_{in} = 2.94 \text{ Вт.}$$

Втрати:

$$P_{loss} = 0.44 \text{ Вт.}$$

Такі значення тепловиділення знаходяться в межах допустимого для HT4928S за умови компактного, але раціонального розміщення елементів та наявності достатнього мідного поля навколо виводів GND та LX.

Проведені розрахунки підтверджують можливість стабільної роботи підвищувального перетворювача на базі мікросхеми HT4928S при вихідній напрузі 5.0 В та струмі навантаження 0.5 А. Обрані номінали індуктора та конденсаторів забезпечують низькі пульсації напруги, швидку реакцію на зміну навантаження та високий коефіцієнт корисної дії. Розраховані резистори світлодіодів дозволяють реалізувати надійну індикацію станів при низькому енергоспоживанні.

Розрахунок надійності пристрою

1. Деякі вхідні дані

1. Номінальні інтенсивності відмов (λ_0) беру з Табл. М1 (додаток М) — значення приведені у одиницях ($\lambda_0 \times 10^{-6}$) 1/год.
2. Всі поправочні коефіцієнти: ($K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 1$).
3. Температурно-навант. коефіцієнт ($a_i(t_K, K_n) = 1$).
4. Отже інтенсивність відмов кожного елемента в робочому режимі обчислюється спрощено як:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \quad (\text{оскільки } K_j = 1; a = 1)$$

5. Групування елементів:

- Активні модулі / ІМС: ATmega1284P, ESP8266, MQ-135, BME280, GP2Y1014AU0F, HW-125, HT4928S, LCD-1602, AMS1117-3.3 $\rightarrow n_1 = 9$.
- Резистори (плівкові SMD) R1..R22 $\rightarrow n_2 = 16$.
- Конденсатори: всього 12 шт., з них електrolітичні — C1, C7 $\rightarrow 2$ шт.; решта — неполярні (керамічні) $\rightarrow 10$ шт.
- Діоди / світлодіоди VD1, VD, VD3 $\rightarrow n_4 = 3$.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- Індуктивність L3 $\rightarrow n_5 = 1$.
- Кнопки / роз'єми (SB1..SB5, USB P1, батарейний контакт) $\rightarrow n_6 = 7$.
- Кварцовий резонатор Q1 $\rightarrow n_7 = 1$.
- Гучномовець BA1 $\rightarrow n_8 = 1$.
- Акумулятор GB1 $\rightarrow n_9 = 1$.

Розрахунок інтенсивностей відмов по групах (покроково)

Позначимо: (λ_{0i}) — номінальна інтенсивність відмов для компонента i (1/год), (n_i) — кількість компонентів у групі. Інтенсивність відмов групи:

$$\lambda_N = n_i \cdot \lambda_{0i} (3.19.)$$

Виконано підстановки (усі λ_0 перетворено в одиниці 1/год, тобто множу значення з таблиці на (10^{-6})).

1. Активні модулі / ІМС ($n_1 = 9$)

$$(\lambda_{01} = 0.013 \times 10^{-6}) 1/\text{год.})$$

$$\lambda_{N1} = 9 \cdot 0.013 \times 10^{-6} = 0.117 \times 10^{-6} 1/\text{год} = 1.17 \cdot 10^{-7} 1/\text{год} (3.18.)$$

2. Резистори (плівкові, $n_2 = 16$)

$$(\lambda_{02} = 0.03 \times 10^{-6}) (3.19.)$$

$$\lambda_{N2} = 16 \cdot 0.03 \times 10^{-6} = 0.48 \times 10^{-6} 1/\text{год} (3.20.)$$

3. Конденсатори — керамічні ($n = 10$)

$$(\lambda_{0, \text{сер}} = 0.15 \times 10^{-6}) (3.20.)$$

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$\lambda_{\text{cer}} = 10 \cdot 0.15 \times 10^{-6} = 1.5 \times 10^{-6} = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год} (3.21.)$$

4. Конденсатори — електролітичні (n = 2)

$$(\lambda_{0,\text{el}} = 0.035 \times 10^{-6}) (3.22.)$$

$$\lambda_{\text{el}} = 2 \cdot 0.035 \times 10^{-6} = 0.07 \times 10^{-6} = 7.0 \cdot 10^{-8} \text{ 1/год} (3.23.)$$

5. Діоди / світлодіоди (n₄ = 3)

$$(\lambda_{0,\text{diode}} = 0.20 \times 10^{-6}) (3.24.)$$

$$\lambda_{N4} = 3 \cdot 0.20 \times 10^{-6} = 0.60 \times 10^{-6} = 6.0 \cdot 10^{-7} \text{ 1/год} (3.25.)$$

6. Індуктивність L3 (n=1) — для котушки консервативно приймаємо довідкове ($\lambda_{0,\text{ind}} \approx 0.01 \times 10^{-6}$) (довідкове значення для невеликих котушок/пасивів).

$$\lambda_{L3} = 1 \cdot 0.01 \times 10^{-6} = 0.01 \times 10^{-6} = 1.0 \cdot 10^{-8} \text{ 1/год} (3.26.)$$

7. Кнопки/роз'єми (n₆ = 7) — для електричних з'єднувачів і кнопок типово довідкове значення ($\lambda_{0,\text{conn}} \approx 0.10 \times 10^{-6}$).

$$\lambda_{\text{conn}} = 7 \cdot 0.10 \times 10^{-6} = 0.70 \times 10^{-6} = 7.0 \cdot 10^{-7} \text{ 1/год} (3.27.)$$

8. Кварцовий резонатор Q1 (n=1) — довідкове ($\lambda_{0,Q} \approx 0.006 \times 10^{-6}$).

$$\lambda_Q = 1 \cdot 0.006 \times 10^{-6} = 0.006 \times 10^{-6} = 6.0 \cdot 10^{-9} \text{ 1/год} (3.28.)$$

9. Гучномовець BA1 (n=1) — довідкове ($\lambda_{0,BA} \approx 0.02 \times 10^{-6}$).

$$\lambda_{BA} = 1 \cdot 0.02 \times 10^{-6} = 0.02 \times 10^{-6} = 2.0 \cdot 10^{-8} \text{ 1/год(3.29.)}$$

10. Акумулятор GB1 (n=1) — для батареї прийнято довідкове значення ($\lambda_{0,bat} \approx 0.02 \times 10^{-6}$).

$$\lambda_{GB1} = 0.02 \times 10^{-6} = 2.0 \cdot 10^{-8} \text{ 1/год(3.30.)}$$

Підсумок інтенсивностей (чисельно)

Таблиця 4. Результати обчислень (усі значення — в 1/год)

Група	n	$\lambda_0 (\times 10^{-6} \text{ 1/год})$	$\lambda_{\text{групи}} (\times 10^{-6} \text{ 1/год})$	$\lambda_{\text{групи}} (\text{1/год})$
Активні модулі / ІМС	9	0.013	0.117	$(1.17 \cdot 10^{-7})$
Резистори (плівкові)	16	0.03	0.48	$(4.8 \cdot 10^{-7})$
Керамічні конденсатори	10	0.15	1.50	$(1.5 \cdot 10^{-6})$
Електролітичні конденсатори	2	0.035	0.07	$(7.0 \cdot 10^{-8})$
Діоди / LED	3	0.20	0.60	$(6.0 \cdot 10^{-7})$
Індуктивність L3	1	0.01	0.01	$(1.0 \cdot 10^{-8})$
Кнопки / роз'єми	7	0.10	0.70	$(7.0 \cdot 10^{-7})$
Кварцовий резонатор	1	0.006	0.006	$(6.0 \cdot 10^{-9})$
Гучномовець	1	0.02	0.02	$(2.0 \cdot 10^{-8})$
Акумулятор	1	0.02	0.02	$(2.0 \cdot 10^{-8})$
Разом	—	—	$\approx 3.6 (\times 10^{-6})$	$(3.6 \cdot 10^{-6})$

Загальна інтенсивність відмов системи і MTBF

Інтенсивність відмов системи (сума інтенсивностей груп):

$$\lambda_{\text{сум}} = \sum_N \lambda_N \approx 3.6 \times 10^{-6} \text{ 1/год. (3.31.)}$$

Середній час напрацювання на відмову (MTBF):

$$T_{\text{MTBF}} = \frac{1}{\lambda_{\text{сум}}} = \frac{1}{3.6 \cdot 10^{-6}} \text{ год} \approx 277,777 \text{ год. (3.32.)}$$

В днях і роках:

$$T_{\text{MTBF}} \approx \frac{277,777}{24} \approx 11,574 \text{ днів} \approx 31.7 \text{ років. (3.33.)}$$

Вірогідність безвідмовної роботи $R(t)$ і ймовірність відмови в заданий час

Формула : для експоненційного закону безвідмовності

$$R(t) = \exp(-\lambda_{\text{сум}} t). (4.1.)$$

1. Для $t = 96$ годин (4 доби) — актуально, якщо обслуговуваний режим або емулювання енергозбереження:

$$\lambda_{\text{сум}} t = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 96 \approx 0.0003456 \quad (4.2.)$$

$$R(96h) \approx e^{-0.0003456} \approx 0.999644 \quad (4.3.)$$

Ймовірність відмови за 96 годин:

$$P_{\text{відм}}(96h) = 1 - R \approx 0.0356\%. \quad (4.4.)$$

2. Для $t = 8760$ годин (~ 1 рік):

$$\lambda_{\text{сум}}, t = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 \approx 0.03154 \quad (4.5.)$$

$$R(1 \text{ рік}) \approx e^{-0.03154} \approx 0.969 \quad (4.6.)$$

Ймовірність відмови за рік:

$$P_{\text{відм}}(1 \text{ рік}) \approx 1 - 0.969 \approx 0.031 \approx 3.1\% \quad (4.7.)$$

4. Економічна частина

1. Вхідні дані (компоненти, кількість = 1 шт.)

Нижче — список основних компонентів, і вибрані ринкові ціни (одинична вартість).

1. ESP8266 (ESP-01S / модуль Wi-Fi) — \$8.40.
2. MQ-135 (модуль датчика газу) — \$4.00 (орієнтовно; модулі можна знайти від ~\$1.7 до ~\$7, я взяв середнє для нормального модуля з платою).
3. LCD 16×2 (HD44780 модуль) — \$5.00 (типова роздрібна ціна модулю 1602).
4. GP2Y1014AU0F (датчик пилу, модуль) — \$8.00.
5. BME280 (модуль: тиск/температура/вологість) — \$12.00.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

6. ATmega1284P (DD1, DIP-40 або SMD) — \$7.00. (DigiKey / постачальники ~ \$6.5–7.5).
7. AMS1117-3.3 (стабілізатор) — \$0.10 .
8. HT4928S (плата/мікросхема управління зарядом/виходом) — 35.00 ГРН ≈ \$0.83 .
9. HW-125 (SD/TF-модуль) — 40.00 ГРН ≈ \$0.95 (орієнтир зі сторінок українських магазинів).
10. Модуль батареї 3S2P 18650 11.1–12 V, 5200 mAh — ≈ 1 340 ГРН ≈ \$31.72 (пропозиції на Prom.ua / локальні склади). Альтернатива з Alibaba — від \$6–\$20 при оптових замовленнях, але для роздрібно́ї покупки локальна збірка ~1340 грн.
11. Кварцовий резонатор Q1 (HC49) — \$0.50
12. Конденсатори, резистори, індуктивність L3, світлодіоди, роз'єми, кнопки, колонки (BA1 PUI) тощо — агреговано як «пасиви й дрібні модулі». Для підрахунку беремо орієнтовно \$6.50 на всі пасиви й дрібні механічні частини (роз'єм USB, роз'єми, SMD/TH компоненти).

2. Перерахунок цін у гривні (курс 1 USD = 42.2660 ГРН)

Рахуємо: $\text{ціна}_{\text{грн}} = \text{ціна}_{\text{USD}} \times 42.2660$; де ціна задана в ГРН — береться напряду.

Таблиця 5. Ціни компонентів

№	Компонент	Ціна (USD)	Ціна (грн)
1	ESP8266 (ESP-01)	\$8.40	$8.40 \cdot 42.2660 = 355.02$ грн.
2	MQ-135 модуль	\$4.00	$4.00 \cdot 42.2660 = 169.06$ грн.

3	LCD 16×2 модуль	\$5.00	$5.00 \cdot 42.2660 = 211.33$ грн.
4	GP2Y1014 модуль	\$8.00	$8.00 \cdot 42.2660 = 338.13$ грн.
5	BME280 модуль	\$12.00	$12.00 \cdot 42.2660 = 507.19$ грн.
6	ATmega1284P (DD1)	\$7.00	$7.00 \cdot 42.2660 = 295.86$ грн.
7	AMS1117-3.3	\$0.10	$0.10 \cdot 42.2660 = 4.23$ грн.
8	HT4928S	—	35.00 грн.
9	HW-125 SD модуль	—	40.00 грн.
10	Батарея 3S2P 5200mAh	—	1340.00 грн.
11	Кварц Q1	\$0.50	$0.50 \cdot 42.2660 = 21.13$ грн.
12	Пасиви, роз'єми, кнопки, колонки (агрегат)	\$6.50	$6.50 \cdot 42.2660 = 274.73$ грн.

Сумарна вартість комплектуючих (сума стовпчика ГРН):

Розрахунки:

$355.02 + 169.06 + 211.33 + 338.13 + 507.19 + 295.86 + 4.23 + 35.00 + 40.00 + 1340.00 + 21.13 + 274.73 = 3\ 591.68$ ГРН.

(У доларах це $\approx 3\ 591.68 / 42.2660 \approx \84.99 .)

3. Додаткові статті собівартості (виробництво, плата, збірка, ПЗ)

Для того, щоб оцінити повну собівартість виготовлення одиниці в умовах малого серійного виробництва, додаємо:

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

1. Виготовлення друкованої плати (2-шарової, середні розміри $\sim 140 \times 65$ мм, стандартний прототип): ≈ 250 ГРН (за 1 шт. у локальних сервісів може бути 200–400 ГРН).
2. Монтаж/пайка (ручний або частково автоматизований, для 1 шт.) — ≈ 150 ГРН.
3. Тестування / налаштування / завантаження ПЗ — ≈ 100 ГРН.
4. Корпус, етикетки, витратні матеріали, упаковка — ≈ 150 ГРН.

Ці оцінки орієнтовні для академічного проєкту і витягнуті із практик серед малих виробничих ліній (локальні фірми, лабораторні сервіси).

Сума додаткових витрат: $250 + 150 + 100 + 150 = 650$ ГРН.

4. Підсумкова собівартість одиниці (компоненти + виготовлення)

- Складові: комплектуючі = 3 591.68 ГРН
- Виготовлення/збірка/тест = 650.00 ГРН

Собівартість виготовлення 1 шт = $3\,591.68 + 650 = 4\,241.68$ ГРН.

У доларах: $4\,241.68 / 42.2660 \approx \100.35 .

5. Ціна реалізації і прибуток

Приймемо комерційну націнку виробника/дистриб'ютора = 35 % від собівартості (типово для нішових електронних пристроїв невеликої серії).

Ціна продажу = собівартість $\times (1 + 0.35) = 4\,241.68 \times 1.35 = 5\,726.27$ ГРН $\approx \$135.48$.

1) Розрахунок кількості та вартості витратних матеріалів

6. Підрахунок контактів (ніжок) для паяння — детально

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- A1 ESP8266 (HDR-1×8) → 8 виводів
- A2 MQ-135 (HDR-1×4) → 4
- A3 LCD-16x2 (HDR-1×6 згідно списку) → 6
- A4 GP2Y1014 (HDR-1×6) → 6
- U1 BME280 (HDR-1×4) → 4
- DD1 ATmega1284P (DIP-40) → 40
- U2 HT4928S (DIP-8) → 8
- U3 HW-125 (HDR-1×6) → 6
- GB1 батарея (HDR-1×2) → 2
- P1 USB (4 контакти) → 4
- Кнопки SB1–SB5 (5 шт × 2 контакти) → 10
- Світлодіоди VD1..VD4 (3 шт × 2) → 6
- BA1 (гучномовець) → 2
- L3 (індуктивність) → 2
- Q1 кварц → 2
- Резистори R1...R22 (16 шт × 2) → 32
- Конденсатори C1...C18 (12 шт × 2 — за списком) → 24

Разом :

$$N_{\text{контактів}} = 166$$

Кількість припою (за формулою : $(\Pi_k = N \times 0.7)$ (грама на одне виведення у прикладі)).

$$\Pi_k = 166 \times 0.7 \approx 0.116 \text{ кг}$$

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Вартість припою :

$$C_{\text{припой}} = 1100 \text{ ГРН/кг} \times 0.116 \text{ кг} = 127 \text{ ГРН.}$$

Лак (покриття)

- Площа плати: ($S = 140 \text{ мм} \times 65 \text{ мм} = 9,100 \text{ мм}^2 = 91.0 \text{ см}^2$).
- Товщина лакового покриття ($h = 0.05 \text{ мм} = 0.005 \text{ см}$).
- Об'єм лаку: ($V = S \cdot h = 91.0 \cdot 0.005 = 0.455 \text{ см}^3$).
- Маса ($\rho \approx 1 \text{ г/см}^3$): ($m = 0.455 \text{ г}$).
- Ціна лаку: $114 \text{ ГРН/kg} \Rightarrow$ лакова вартість:

$$C_{\text{лак}} = \frac{0.455}{1000} \times 114 = 0.05 \text{ ГРН (мінімальна; округлено)}$$

Базова ціна витратних матеріалів (припой + лак + гвинти):

$$\text{Матеріали}_{\text{base}} = 127 + 0.05 + 14.00 = 141 \text{ ГРН.}$$

Додаємо технологічні втрати і транспорти (як у прикладі: +5% на відходи, +10% транспортно-заготівельні):

$$\text{Матеріаліз урах. втрат} = 141 \times 1.05 \approx 148 \text{ ГРН;}$$

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Матеріали після трансп. = $148 \times 1.10 = 162.8$ ГРН.

2) Вартість покупних комплектуючих з урахуванням транспортно-заготівельних витрат

- Вартість покупних комплектуючих (модулі, сенсори, батарея і т. д.) = 3 591.68 ГРН.
- Додаємо транспортно-заготівельні витрати = 10% :

Комплектуючі після трансп. = $3,591.68 \times 1.10 = 3,950.85$ ГРН.

6. Норми часу

- Час пайки на ніжку ($t_{\text{пайка}} = 0.0005$ год/ніжка).
- Час встановлення на ніжку ($t_{\text{вст}} = 0.0002$ год/ніжка) .

$$t_{\text{пайка}} = 166 \times 0.0005 = 0.083 \text{ год ;}$$

$$t_{\text{вст}} = 166 \times 0.0002 = 0.0336 \text{ год ;}$$

$$t_{\text{заг}} = 0.089 + 0.0356 = 0.1162 \text{ год } (\approx 0.125 \text{ год}).$$

8. Вартість робіт

- Ставка 3-го розряду (= $50 \times 1.18 = 59.00$ ГРН/год) .

Вартість пайки:

					КРМ.ЕС.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$C_{\text{пайка}} = 0.089 \times 59.00 = 5.25 \text{ ГРН} .$$

Вартість встановлення:

$$C_{\text{вст}} = 0.0356 \times 59.00 = 2.10 \text{ ГРН}.$$

Контроль і лакування:

- Контроль: ($t_{\text{контр}} = 0.05$ год) при 5 – му розряді (68.00 ГРН/год):
 $C_{\text{контр}} = 0.05 \times 68.00 = 3.40 \text{ ГРН}.$
- Лакування: ($t_{\text{лак}} = 0.1$ год) при 4-му розряді (63.50 ГРН/год):

$$C_{\text{лак}} = 0.1 \times 63.50 = 6.35 \text{ ГРН} .$$

Загальна основна заробітна плата (сума виробничих опер.)

$$\text{ЗП основна} = C_{\text{пайка}} + C_{\text{вст}} + C_{\text{контр}} + C_{\text{лак}} = 5.25 + 2.10 + 3.40 + 6.35 = 17.10 \text{ ГРН} .$$

Додаткова заробітна плата (соц. виплати, відпустки тощо) — 10% від основної ЗП :

$$\text{ЗП}_{\text{дод}} = 0.10 \times 17.10 = 1.71 \text{ ГРН}.$$

4) Витрати на утримання та експлуатацію устаткування

Для радіотехнічних виробів — 80% від основної ЗП виробничих працівників.

$$\text{Утрим. уст.} = 0.80 \times 17.10 = 13.68 \text{ ГРН} .$$

					КРМ.ЕС.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

5) Цехові витрати та загальнозаводські витрати

За методикою документу:

- Цехові витрати = 50% від (основна ЗП + витрати на устаткування).
Цехові = $0.50 \times (17.10 + 13.68) = 15.39$ ГРН .
- Загальнозаводські витрати = 80% від (основна ЗП + витрати на устаткування).

$$\text{Заводські} = 0.80 \times (17.10 + 13.68) = 24.63 \text{ ГРН .}$$

6) Інші виробничі витрати (дрібні) — 0.3% від суми попередніх статей

Підсумуємо попередні статті :

$$\begin{aligned} S_{\text{поперед}} = & \text{Комплектуючі після трансп.} + \text{Матеріали після трансп.} + \\ & + \text{ЗП основна} + \text{ЗП дод.} + \text{Утрим. уст.} + \text{Цехові} + \text{Заводські} + \\ & + \text{РСВ} \end{aligned}$$

Підставляємо числа (ГРН):

$$\begin{aligned} S_{\text{поперед}} = & 3,950.85 + 174.53 + 17.10 + 1.71 + 13.68 + 15.39 + 24.63 \\ & + 240.00 = 4,437.89 \text{ ГРН} \end{aligned}$$

Тоді:

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Інші виробничі = $0.003 \times 4,437.89 = 13.31$ ГРН .

Тепер складаємо всі виробничі статті:

Собівартість виробнича = комплектуючі після трансп.
+ Матеріали після трансп. + РСВ& + ЗПосновна + ЗП_{дод}
+ Утрим. уст. + Цехові + Заводські + Інші виробничі

Підстановка (грн):

Собівартість_{вироб} = $3,950.85 + 174.53 + 240.00 + 17.10 + 1.71 + 13.68 + 15.39 + 24.63 + 13.31 = 4,451.21$ ГРН.

Позавиробничі витрати

Позавиробничі витрати = 3% від виробничої собівартості.

Позавиробничі = $0.03 \times 4,451.21 = 133.54$ ГРН .

Повна собівартість виготовлення одиниці

Спов = Собівартість_{вироб} + Позавиробничі = $4,451.21 + 133.54 = 4,584.74$ ГРН.

Прибутковість і ціна продажу

прибуток = рентабельність $\times$ Спов; беремо рентабельність = 25% .

$\Pi = 0.25 \times 4,584.74 = 1,146.19$ ГРН.

Ціна без ПДВ:

$\Pi_{\text{без ПДВ}} = \text{Спов} + \Pi = 4,584.74 + 1,146.19 = 5,730.93$ ГРН.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ПДВ (20%):

$$\text{ПДВ} = 0.20 \times 5,730.93 = 1,146.19 \text{ ГРН.}$$

Ціна з ПДВ:

$$\text{Ц}_{\text{з ПДВ}} = 5,730.93 + 1,146.19 = 6,877.11 \text{ ГРН.}$$

11) Коротке резюме отриманих результатів

- Кількість контактів (оціночна): 178 виводів.
- Маса припою: 124.6 г (0.125 кг).
- Вартість припою: 137.06 ГРН .
- Вартість лаку: 0.05 ГРН .
- Матеріали (після 5% втрат і 10% трансп.): 174.53 ГРН .
- Покупні комплектуючі (після 10% трансп.): 3 950.85 ГРН.
- Основна ЗП виробничих робітників: 17.10 грн.
- Додаткова ЗП: 1.71 ГРН.
- Утримання та експлуатація устаткування: 13.68 ГРН.
- Цехові витрати: 15.39 ГРН.
- Загальнозаводські витрати: 24.63 ГРН.
- Інші виробничі витрати: 13.31 ГРН.
- Виробнича собівартість: 4 451.21 ГРН.
- Позавиробничі витрати (3%): 133.54 ГРН.
- Повна собівартість (Спов): 4 584.74 ГРН.
- Прибуток (25%): 1 146.19 ГРН.
- Ціна без ПДВ: 5 730.93 ГРН.
- Ціна з ПДВ (20%): 6 877.11 ГРН.

					КРМ.ЕС.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища.

Розробка та експлуатація електронного пристрою, який включає мікроконтролер ATmega1284P, модулі сенсорів (MQ135, GP2Y1014AU0F, BME280), Wi-Fi модуль ESP8266, стабілізатор живлення AMS1117-3.3 та акумуляторну батарею Li-ion 3S2P, передбачає дотримання комплексу заходів безпеки. Цей розділ розглядає основні принципи охорони праці та вимоги до безпечної роботи з електронною апаратурою, а також вплив пристрою на навколишнє середовище. Особливу увагу приділено питанням електробезпеки, пожежної безпеки, ергономіки та екологічної безпеки, що прямо стосуються створюваного пристрою.

1. Загальні питання охорони праці та навколишнього середовища

Під час проектування, виготовлення та експлуатації електронних приладів необхідно виконувати комплекс організаційних, технічних та профілактичних заходів, спрямованих на запобігання травматизму, професійним захворюванням та негативному впливу на людину і навколишнє середовище.

1.1. Вимоги до робочого місця

Робоче місце для складання та налагодження електронного пристрою повинно відповідати санітарним нормам та нормам безпеки:

- освітленість — не менше **300–500 лк**, що забезпечує комфортну роботу з SMD-елементами (0402–0805) та мікропроцесорними компонентами;

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

- робочий стіл покритий антистатичним матом для запобігання електростатичним розрядам, які можуть пошкодити мікросхеми ESP8266, AMS1117-3.3, ATmega1284P, BME280;
- наявність загального та місцевого вентиляційного обладнання, оскільки при пайці утворюються шкідливі пари;
- температура в приміщенні — **18–25 °C**, вологість — **40–60 %**.

1.2. Організаційні заходи

До складання електронного пристрою допускаються лише спеціалісти, які пройшли:

- інструктаж з техніки безпеки,
- навчання роботі з паяльним обладнанням,
- курс протипожежного мінімуму,
- інструктаж з поводження з літій-іонними батареями.

Журнал інструктажів з охорони праці повинен вестися на підприємстві постійно.

2. Електробезпека

Електробезпека є ключовим аспектом при роботі з електронними пристроями, що працюють від акумуляторної батареї 12 В та мають внутрішні стабілізатори напруги до 5 В та 3.3 В.

2.1. Особливості електричної частини проекту

Пристрій містить такі потенційно небезпечні компоненти:

- **Li-ion акумулятор 3S2P 12 В**, здатний забезпечити струм короткого замикання понад 10 А;
- стабілізатор AMS1117-3.3, який розсіює тепло;

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- модулі ESP8266 та сенсори, чутливі до ECP;
- роз'єми живлення USB.

2.2. Небезпека ураження електричним струмом

Хоча робочі напруги пристрою не перевищують 12 В, можливі такі небезпечні ситуації:

- коротке замикання Li-ion елемента → нагрівання, займання;
- пошкодження ізоляції або полімерного корпусу батареї;
- неправильне підключення під час заряджання (через модуль HT4928S).

Основні правила електробезпеки:

1. Заборонено працювати з пристроєм при пошкоджених ізоляційних матеріалах.
2. Заборонено короткочасно замикати висновки батареї.
3. Заряджання дозволено лише спеціальним зарядним пристроєм (рекомендовано 12.6 В, 2–3 А).
4. Монтаж та пайка проводяться тільки при відключеному живленні.
5. Усі металеві частини (екрани, корпуси модулів) повинні бути заземлені через площадки G1–G28.

2.3. Захист від електростатичних розрядів (ESD)

Компоненти ESP8266, ATmega1284P, BME280, LCD-1602SILK та HT4928S чутливі до статичної електрики.

Заходи захисту:

- антистатичний браслет;
- антистатичний килимок на столі;
- використання ESD-пакетів для зберігання компонентів;

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- заборона роботи в шерстяному одязі та синтетичних рукавицях.

3. Пожежна безпека

Пожежна безпека є важливою складовою роботи з електронними пристроями, особливо там, де використовується:

- паяльне обладнання;
- легкозаймисті матеріали (лак НЦ-134, ізоляція проводів);
- літій-іонні акумулятори.

3.1. Джерела пожежної небезпеки в проекті

1. Перегрів стабілізатора AMS1117-3.3.
2. Акумуляторна батарея Li-ion 3S2P під час заряджання.
3. Розігріті елементи під час пайки (300–350 °C).
4. Коротке замикання та пошкодження мікросхем.
5. Легкозаймисті матеріали лаку НЦ-134.

3.2. Засоби пожежогасіння

- вуглекислотний вогнегасник;
- порошковий ОП-2 або ОП-5;
- пісок у негорючій коробці (для гасіння Li-ion акумуляторів).

Не допускається гасіння водою пристроїв, що перебувають під напругою або містять літєві батареї.

3.3. Правила пожежної безпеки під час пайки

- робота виконується на жаростійкій підкладці;
- флюси та спиртовмісні засоби зберігаються подалі від нагрівача;
- заборонено залишати паяльник увімкненим без нагляду;
- після закінчення роботи обладнання відключається.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

4. Охорона навколишнього середовища

Створений електронний пристрій повинен відповідати нормам екологічної безпеки, не шкодити довкіллю під час експлуатації та утилізації.

Вплив пристрою на довкілля

Пристрій є малопотужним і не створює значного забруднення, проте містить:

- електронні компоненти з вмістом важких металів (свинцю, олова, міді);
- Li-ion батарею, яка підлягає спеціальній утилізації;
- пластмасові корпуси датчиків та модулів.

Вимоги екологічної безпеки

1. Відходи електронних компонентів не утилізуються в побутове сміття.
2. Літій-іонні батареї передаються в спеціалізовані центри утилізації.
3. Тривале зберігання акумуляторів допускається лише при рівні заряду 30–50 %.
4. Заборонено нагрівання, механічне пошкодження та спалювання електронних компонентів.
5. Лак НЦ-134 зберігається у щільно закритій тарі, уникаються витoki летких органічних розчинників.

Заходи з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та екологічного захисту є необхідною складовою життєвого циклу електронного пристрою. Їх дотримання забезпечує:

- надійну та безпечну роботу приладу;
- захист персоналу від електротравм та отруєння хімічними речовинами;
- мінімізацію ризику пожеж;
- зниження негативного впливу на довкілля.

					KPM.ES.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Висновки

У результаті виконання даної роботи було розроблено, обґрунтовано та всебічно проаналізовано електронний пристрій для моніторингу параметрів навколишнього середовища, що поєднує функції контролю концентрації газів, рівня пилу, вологості, температури та обміну даними через безпроводний модуль Wi-Fi. У ході проєктування проведено повний комплекс інженерних процедур, які дозволили сформувати цілісну, технологічно завершену та економічно обґрунтовану конструкцію.

На етапі схемотехнічної розробки виконано вибір оптимальної елементної бази, що включає мікроконтролер ATmega1284P, модулі сенсорів MQ-135, GP2Y1014AU0F, BME280, інтерфейсний модуль ESP8266, дисплейний модуль та підсистему живлення на основі стабілізатора AMS1117-3.3 і зарядного контролера HT4928S. Для кожного електронного компонента визначено режим роботи, номінальні параметри, інтерфейси підключення та логіку взаємодії. На основі аналізу струмів споживання та допустимих режимів навантаження виконано розрахунок ширин провідників, падіння напруги та вибрано структуру живлення від Li-ion акумулятора 3S2P. Особлива увага була приділена заземленню, коректному рознесенню сигналів та мінімізації перешкод у аналогових ланцюгах.

Для друкованої плати виконано розрахунок монтажно́ї площі, визначено габаритні розміри та проведено компонування відповідно до вимог ГОСТ і IPC класу 2. Розраховано необхідну ширину і товщину провідників згідно допустимих струмів, вибрано тип покриття ENIG, структуру монтажу SMT/THT, параметри отворів та посадкових місць відповідно до корпусів компонентів. Сформовано повний комплект конструкторської документації: перелік елементів, специфікація, технічні вимоги та графічні матеріали.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Проведено розрахунок надійності нерезервованого електронного пристрою за методом інтенсивностей раптових відмов із використанням довідкових значень λ_0 та поправочних коефіцієнтів згідно нормативів. Для кожної групи компонентів визначено інтенсивність відмов, коефіцієнти навантаження, температурні фактори та отримано сумарну інтенсивність відмов пристрою. Розраховано середній час напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого ресурсу, що дало можливість підтвердити працездатність і стійкість проєктованого виробу.

Окремо виконано техніко-економічні розрахунки, які охоплюють визначення вартості елементної бази, матеріалів, виробничих витрат, заробітної плати, витрат на експлуатацію обладнання, цехових і загальновиробничих витрат. На основі цього визначено собівартість та розраховано можливу ціну готового виробу. Аналіз показав економічну доцільність виготовлення пристрою малими партіями та перспективність його застосування у побутових і напівпрофесійних системах контролю повітря.

Отже, поставлена задача була виконана повністю: створено концепцію, розроблено схему, спроектовано друковану плату, проведено розрахунки надійності й економічної ефективності, а також підготовлено повний комплект документації. Розроблений пристрій відповідає вимогам щодо функціональності, технологічності та експлуатаційної надійності, що підтверджує коректність прийнятих інженерних рішень і успішність досягнення поставленої мети.

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Перелік посилань

1. **Milesight AM103-868M. Датчик якості повітря та параметрів навколишнього середовища :**
<https://shop-gsm.ua/products/am103-868m-milesight/>
2. **Метеостанція Technoline WL1030 :**
<https://stylnovdoma.com.ua/meteostantsiia-technoline-wl1030-black-wl1030/>
3. **Метеостанція La Crosse WS6822 :**
<https://tech.com.ua/ru/meteostantsiia-la-crosse-ws6822-black/>
4. **Winsen Sensor. Офіційний сайт виробника газових сенсорів MQ-серії. :**
<https://www.winsen-sensor.com/>
5. **Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Основи проєктування електронних систем» / Укл. Багрій В. В. – Кам'янське: ДДТУ, 2015. – 79 с.**
6. **Мікроконтролер ATmega1284P. Технічний опис (Datasheet).** Microchip Technology :
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8272-ATmega1284P.pdf>
7. **Датчик температури, вологості і тиску BME280. Технічний опис.** Bosch Sensortec. :
<https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/bme280/>
8. **Оптичний датчик пилу GP2Y1014AU0F. Технічний опис.** Sharp Corporation. :
<https://global.sharp/products/device/lineup/>
9. **Датчик газу MQ-135. Характеристики та електричні параметри. :**
<https://www.electrodragon.com/product/mq135-air-quality-sensor/>

					KPM.EC.12068731.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

10. Стабілізатор напруги AMS1117-3.3. Технічний опис. – :
<https://www.advanced-monolithic.com/>
11. Мікросхема для керування зарядом літій-іонних акумуляторів HT4928S. Технічний опис. – Режим доступу:
<https://datasheetspdf.com/pdf/HT4928S>
12. LCD-модуль 1602 (16×2). Технічний опис та характеристики. – :
<https://www.winstar.com.tw/products/character-lcd-module/>
13. IPC-7351. Загальні вимоги до SMT-посадкових місць (Land Pattern Standard). IPC, 2012.
14. IPC-A-600. Прийнятність друкованих плат. Клас 2. IPC, 2020.
15. Tsenkner D. V., Bigan I. M. IoT-DRIVEN DISTRIBUTED AUTOMATION FOR AGRI-ECOSYSTEMS: ARCHITECTURES AND PROTOCOL CHOICES// Innovation and development in world science. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Zurich, Switzerland. 2025. Pp. 21-27.
URL: <https://sci-conf.com.ua/ii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-innovation-and-development-in-world-science-1-3-12-2025-tsyurih-shvejtsariya-arhiv/>.

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Задінько Ярослав Михайлович

Студента (-ки) 2 курсу
спеціальності 177 Електротехніка
Білошан Іван Михайлович
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Білошан Іван Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові),

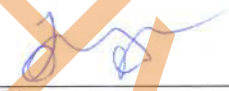
Студент(-ка) денна, ІТФ, 2-го курсу
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: Електронний прилад для
моніторингу стану довколишнього середовища

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

10.12.2025
Дата


Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА
про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Білон Іван Михайлович
Назва роботи	Електричний привід для модельного стану давального нового середовища
Спеціальність	171, Електрика
Курс	2
Факультет	Інженерно технічний
Кафедра	Електричних систем
Керівник роботи	Зачень П. М.
Роботу перевірено в програмі	Unichack
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	2025-КРМ-Білон І.М.
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	94%

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

10.12.2025
Дата

Зачень П. М.
(прізвище, ініціали)

Зачень
Підпис



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: середа, 10 грудня 2025, 12:22
Доступно через www.antip.la

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	6%
Назва документу	2025-KPM-Біган І.М.pdf
Кількість символів	44,016
Кількість спеціальних символів	367
Кількість слів	5,808
Унікальна кількість слів	2,183
Кількість речень	753
Найпоширеніші слова	для, та, і, у
Найдовше слово	Проектно-конструкторський
Середня довжина слова	6.3
Середня кількість слів у реченні	9.7
Всього посилань	0
Кількість слів із плагіатом	368

10.12.2025

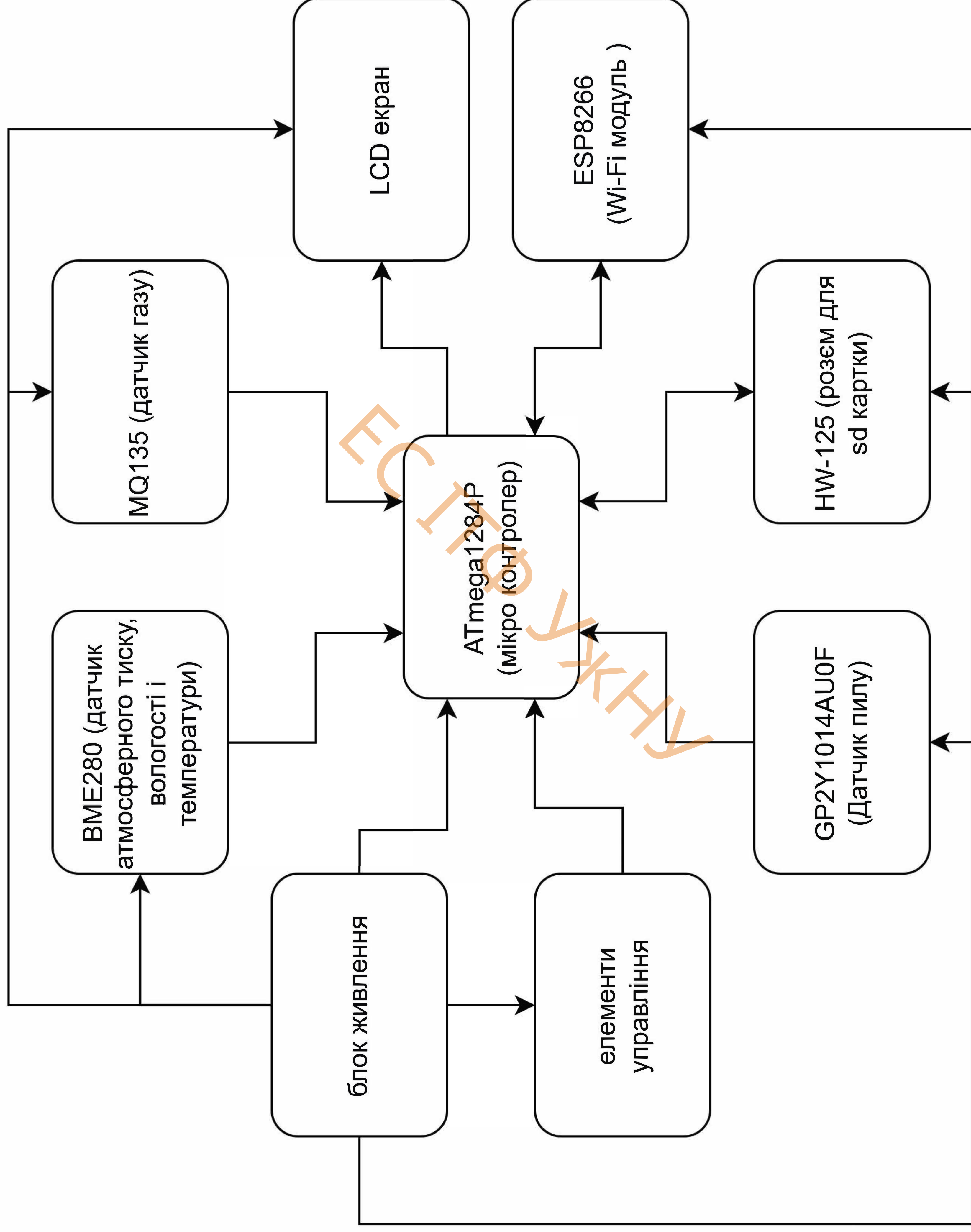
(дата)

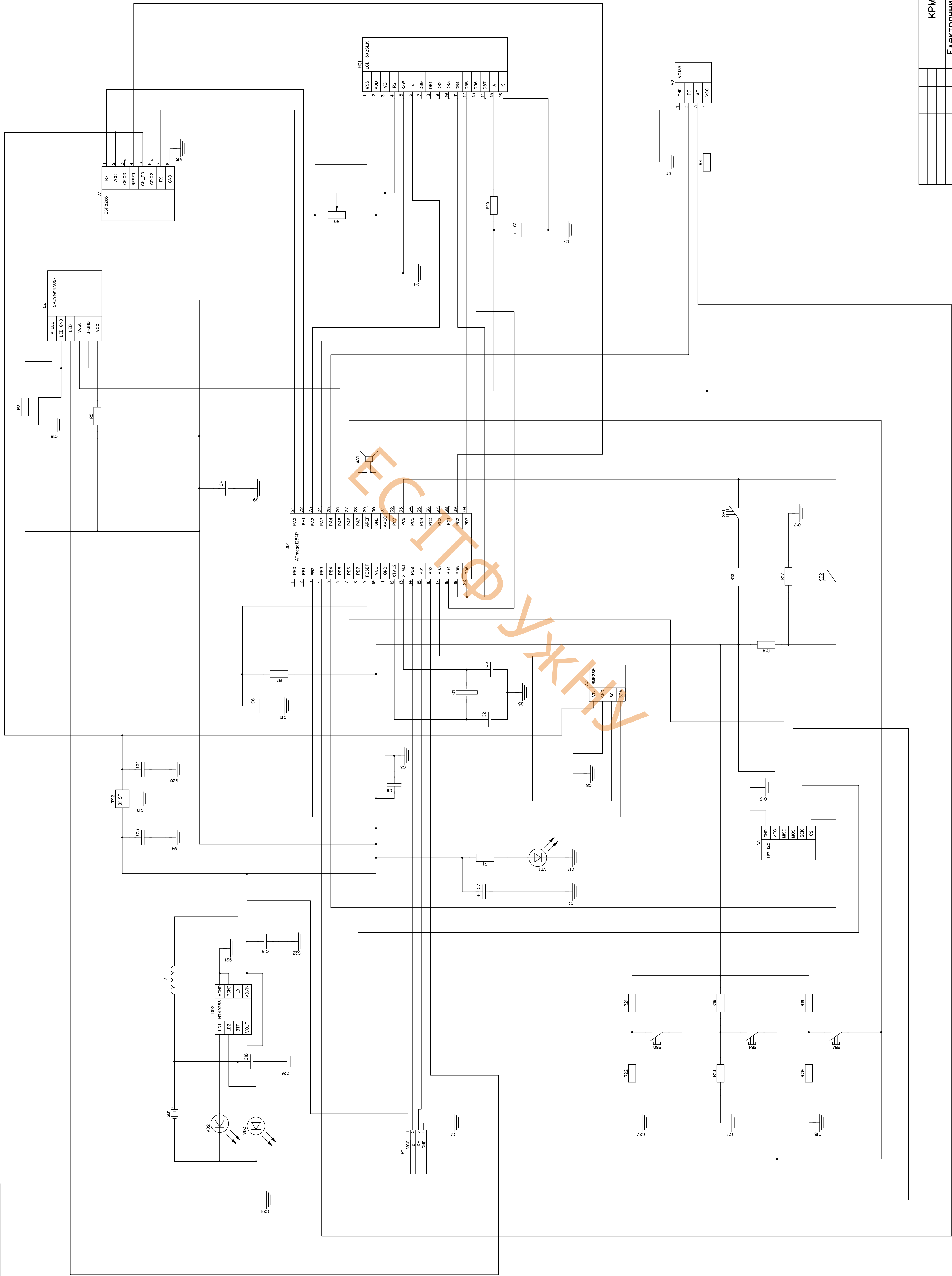
Іван Біган

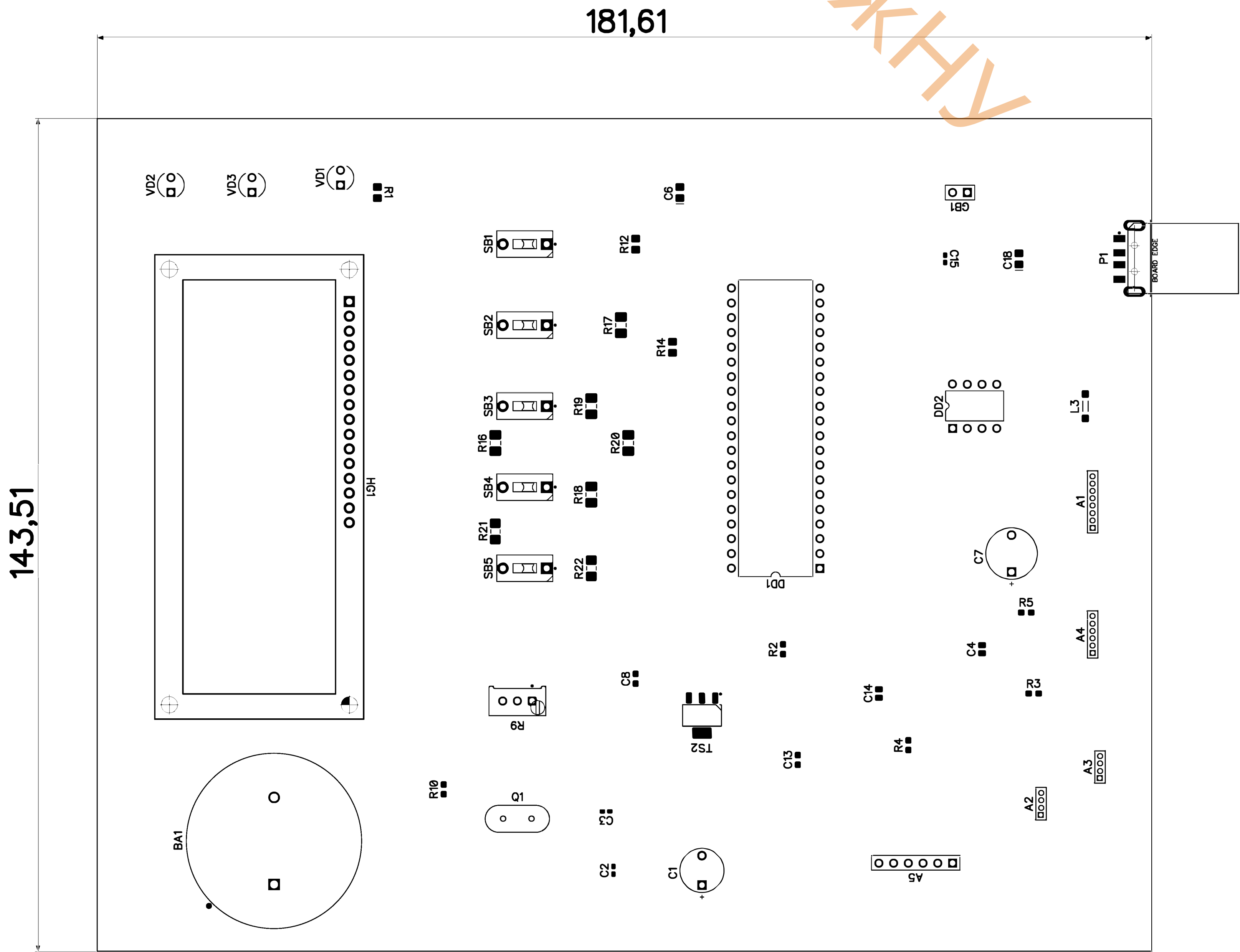
(перевірів)

[illegible]

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка					
A1	Модуль Wi-Fi ESP8266 ESP-01S							
A2	Датчик газу MQ-135							
DD2	Контролер заряду HT4928S							
A4	Датчик пику GP2Y1014AU0F							
A5	Модуль Micro SD картки. HW-125							
A3	Датчик BME280							
DD1	Мікроконтролер ATmega1284P-PU							
HG1	РК-індикатор LCD 1602							
C1,C7	Конденсатори Електролітичний 10 μF / 16 V							
C1-C4	Конденсатори 100 nF							
C6,C13	Конденсатори 10 nF							
C8,C14	Конденсатори 100 nF							
C15	Конденсатор 100 nF							
C18	Конденсатор 1 μF							
R1,R2	Резистор 10 кОм							
R3,R4	Резистор 330 Ом							
R5	Резистор 10 кОм							
R9	Резистор змінний 10 кОм							
R10,R19	Резистор 100 кОм							
R12,R22	Резистор 47 кОм							
R16,R17	Резистор 10 кОм							
R14	Резистор 330 Ом							
R18	Резистор 330 Ом							
R20,R21	Резистор 10 кОм							
SB1-SB5	Кнопки							
G1-G28	земля							
GB1	Акумулятор 5200 мА·год							
Q1	Кварцевий резонатор 16 МГц							
L3	Катушка Індуктивності 33 мкГн							
		KPM.EC.12068731.001.ПЕ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електронний прилад для моніторингу стану навколишнього середовища			
Розроб.		Біган І.М.						
Перевір.		Заяць Т.М.						
Реценз.								
Н. Контр.		Папп О.В.						
Затверд.		Заяць Т.М.						
					Літ.	Арк.	Аркушів	
							1	2
					УжНУ, ІТФ			

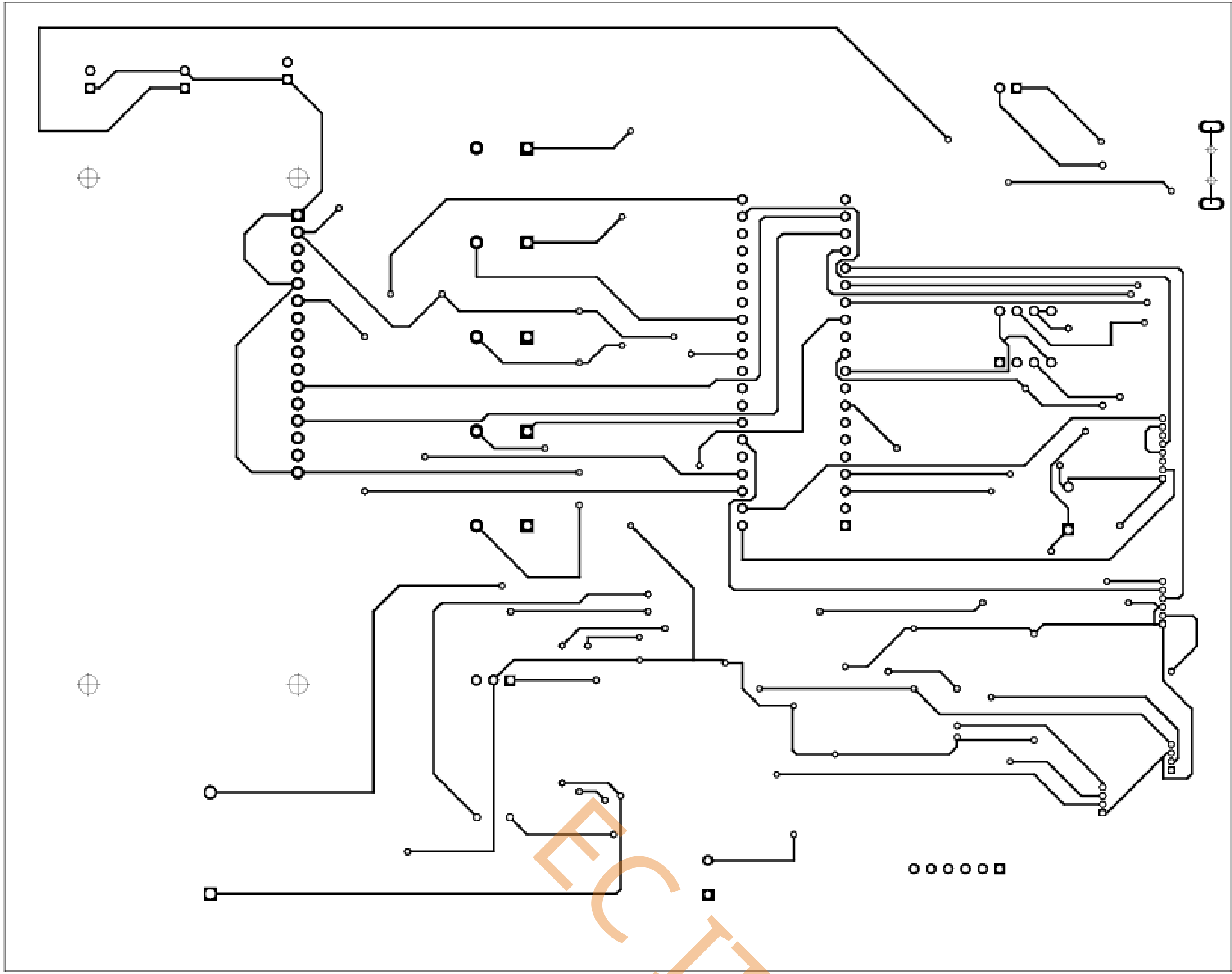
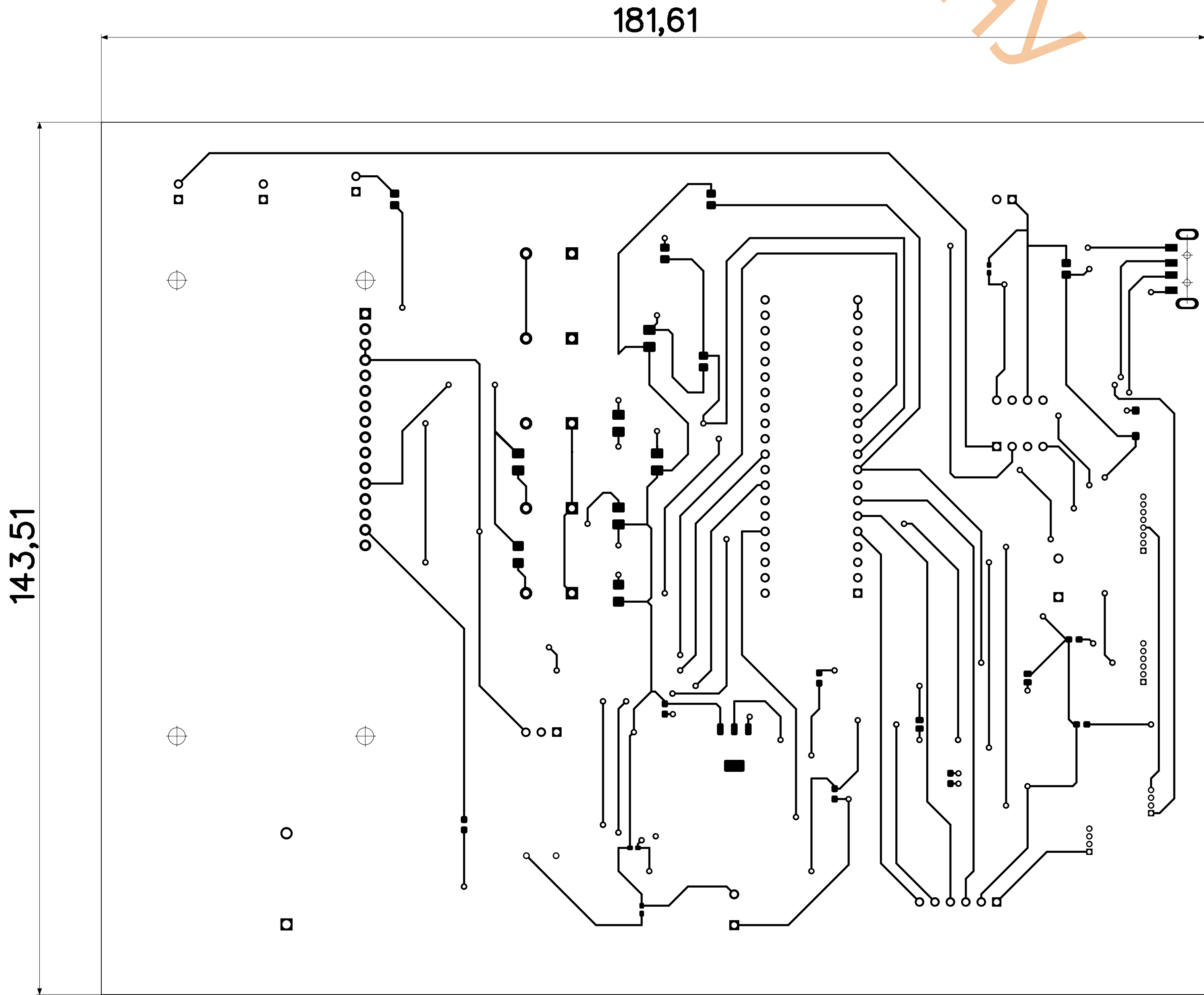


[illegible]



1. Електромонтаж виконано згідно КРМ.ЕС.12068731.001.Е
2. У конструкторській платі застосовано такі компоненти:
 - Модулі: ESP8266, MQ-135, GP2Y1014UA0F, LCD-16×2SILK, BME280, HW-125
 - Мікроконтролери та логічні ІС: ATmega1284P, HT4928S
 - Пасивні елементи SMD: резистори 0402/0603/0805/1206/1306/1406, конденсатори 0402/0504/0603/0805, індуктивність 1806
 - Радіоселектронні вузли: світлодіоди LED-4R, кварц HC49, гучномовець PULAUDIO AST-030C0MR-R
 - Кнопки: СК BD01 (5 шт)
 - Роз'єми: HDR-1×8, HDR-1×6, HDR-1×2, USB MOLEX 0480371000
 - Активний елемент живлення: акумуляторний блок (Li-ion 3S2P 5200 mAh)
3. Друкована плата виготовлена двошаровою, з наскрізною металізацією ENIG-покриттям, комбінованим монтажем та відповідністю стандартам IPC для комерційних електронних пристроїв.
4. Установку елементів виконано по ОСТ 4.010.030-81.
Позиції та значення елементів показані умовно відповідно до схемної документації.
5. Паяння здійснено припоєм Alpha HF-850 SN99CU
Паяння SMD-компонентів виконувати методом оплавлення;
THT-компонентів — контактною пайкою або хвилею .
Допускається застосування флюсів без відмивання .
6. Решта технічних вимог по ОСТ 4ГО.070.01
Зокрема дотримуватися:
 - допусків на розміри виводів модулів HDR-1×4-1×8
 - параметрів металізованих отворів під DIP-корпуси та кнопки
 - норм відстаней між провідниками та паяльними площадками
 - вимог до якості паяння згідно з класом виробу (комерційний, IPC клас 2)вимог до очищення та контролю після пайки

[illegible]



1. Друкована плата виконана комбінованим методом монтажу:
 - SMT-монтаж використано для всіх SMD-компонентів (резистори, конденсатори, стабілізатор AMS1117-3.3, кварцовий резонатор, індуктивність, світлодіоди),
 - THT-монтаж (ESP8266, MQ-135, LCD-16×2)а також для DIP-компонентів (ATmega1284P, HT4928S), акумуляторного роз'єму GB1 (HDR-1×2), та кнопок SB1-SB5.
2. Для розміщення всіх елементів плати встановлено крок координатної сітки 1.25 мм, що використано при проектуванні монтажних та паяльних майданчиків.
3. Товщина фольги провідникового шару
4. Плата виготовлена з текстоліту FR-4 зі стандартною товщиною шару міді 35 мкм.
5. Для забезпечення стабільної якості паяння SMT-компонентів і довгострокової корозійної стійкості застосовано покриття ENIG .
6. Покриття нанесено на всі паяльні площадки SMT і металізовані контактні кільця THT-елементів.
7. Усі технологічні та монтажні отвори виконані металізованими.
8. Діаметри отворів відповідають корпусам і роз'ємам:
 - HDR-1×8/1.27, HDR-1×6/1.27, HDR-1×4/1.27, HDR-1×2 — згідно стандартних діаметрів 0.8–1.0 мм;
 - ATmega1284P (DIP-40) — 0.9 мм;
 - HT4928S (DIP-8) — 0.8 мм;
 - Кнопки SB1–SB5 CK_BD01 — 1.0 мм;
 - Гучномовець PU1AUDIO AST-030COMR-R — 1.0 мм;
 - USB-роз'єм MOLEX 0480371000 — технологічні отвори 0.9–1.2 мм.
9. Отвори виготовлені з повною металізацією стінок з дотриманням розмірних допусків.
10. Усі розміри посадкових місць модулів HDR-роз'ємів, DIP-корпусів та SMD-елементів дотримані згідно стандартів відповідних корпусів.
11. Конструкція паяльних зон SMT-компонентів
12. Паяльні зони SMT виконані відповідно до вимот IPC-7351 .
13. Розміри пафів узгоджено з мінімальними та рекомендованими значеннями IPC-7351B.
14. Клас виготовлення друкованої плати
15. Плата виконана згідно стандарту IPC-A-600, клас 2, призначена для комерційного обладнання з підвищеними вимогами до надійності.

[illegible]

CERTIFICATE

is awarded to

Bigan Ivan

for being an active participant in

II International Scientific and Practical Conference

“INNOVATION AND DEVELOPMENT IN WORLD SCIENCE”

24 Hours of Participation

(0,8 ECTS credits)

ZURICH

1-3 December 2025

sci-conf.com.ua

