

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

**Комп'ютеризований прилад для вимірювання радіаційного
фону з GPS-трекінгом**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5
спеціальність Метрологія та
інформаційно-вимірювальна
техніка

Селюченко Артем Русланович

Керівник дтн, проф. каф. ІВТ

Подчашинський Ю.О.

Рецензент _____.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

інформаційно-вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

«22» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студенту Селюченко Артему Руслановичу

1. Тема роботи: Комп'ютеризований прилад для вимірювання радіаційного фону з GPS-трекінгом

Затверджена Наказом по університету від «22» квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «16» чеврня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Вимірювання радіації та температури, вологості, вмикання/вимикання системи, вивід на дисплей вимірюваних значень, точність системи не більше 1,5 мкР/год, час безвідмовної роботи не менше 14 000годин.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):

- технічне завдання;
- огляд та аналіз існуючих пристроїв вимірювання радіації;
- розробка структурної та принципової схем;
- розробка алгоритму та програми;
- розробка друкованої плати;
- прорахунок надійності та точності системи.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень): Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму та друкована плата.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-7	Подчашинський Ю.О.		

7. Дата видачі завдання 22 квітня 2026 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз відомих приладів вимірювання радіації	22.04.2026 – 24.04.2026	
2	Ознайомитись з основними принципами побудови приладів вимірювання радіації	25.04.2026 – 01.05.2026	
3	Розробка структурної схеми системи	02.05.2026 – 08.05.2026	
4	Розробка принципової схеми приладу вимірювання радіації	09.05.2026 – 15.05.2026	
5	Розрахунок точності та надійності системи	16.05.2026 – 25.05.2026	
6	Вибір складових елементів приладу	26.05.2026 – 31.05.2026	
7	Розробка алгоритму та програми системи вимірювання радіації	01.06.2026 – 10.06.2026	
8	Оформлення пояснювальної записки та креслення	15.06.2026 – 16.06.2026	

Студент _____ Селюченко А.Р.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Подчашинський Ю.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота на тему «Комп'ютеризований прилад для вимірювання радіаційного фону з GPS-трекінгом» складається з 77 сторінок, містить 18 рисунків, 3 таблиці, 9 формул та 19 використаних джерел.

У дослідженні обґрунтовано актуальність створення мобільної системи для оперативного моніторингу радіаційного стану довкілля з прив'язкою результатів вимірювань до географічних координат. Розроблено структурну та принципову електричну схеми пристрою, а також здійснено розрахунок його надійності та точності. Створено алгоритм функціонування програмного забезпечення мікроконтролера та реалізовано алгоритми збору, обробки й передачі вимірювальних даних разом із GPS-координатами.

Ключові слова: радіаційний фон, GPS-трекінг, лічильник Гейгера-Мюллера, мікроконтролер, іонізуюче випромінювання, геоінформаційна прив'язка.

ANNOTATION

Bachelor's thesis entitled "Computerized Device for Radiation Background Measurement with GPS Tracking" consists of 77 pages, contains 18 figures, 3 tables, 9 formulas, and 19 references.

The study substantiates the relevance of developing a mobile system for real-time environmental radiation monitoring with the reference of measurement results to geographic coordinates. Structural and schematic circuit diagrams of the device have been developed, and the calculation of its reliability and accuracy has been performed. An algorithm for the microcontroller software operation has been created, and the algorithms for collecting, processing, and transmitting measurement data along with GPS coordinates have been implemented.

Keywords: radiation background, GPS tracking, Geiger-Müller counter, microcontroller, ionizing radiation, geoinformation referencing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1. Призначення та область застосування.....	8
1.2. Умови експлуатації	9
1.3. Технічні параметри системи.....	9
1.4. Вимоги до конструкторського оформлення.....	10
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	14
2.1. Загальний опис дозиметрів та їх історія походження.....	14
2.2. Аналіз існуючих дозиметрів.....	16
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	22
3.1. Обґрунтування мікроконтролеру.....	22
3.2. Обґрунтування газорозрядного лічильника.....	24
3.3. Обґрунтування дисплея.....	26
3.4. Обґрунтування датчика температури та вологості.....	27
3.5. Обґрунтування GPS датчика.....	29
3.6. Обґрунтування живлення приладу	31
3.7. Обґрунтування кнопки.....	33
3.8. Структурна схема.....	35
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	38
4.1. Вибір мікроконтролеру.....	38
4.2. Вибір газорозрядного лічильника.....	40
4.3. Вибір дисплея	42
4.4. Вибір датчика температури та вологості.....	44
4.5. Вибір GPS датчика.....	45
4.6. Вибір акумулятора.....	47
4.7. Вибір перетворювач напруги.....	48
4.8. Вибір кнопки	49
4.9. Побудова принципово-електричної схеми.....	50
4.10. Розрахунок похибок визначення радіаційного фону	54
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	57
5.1. Розробка алгоритму	57
5.2. Розробка програми.....	59
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	63
6.1. Розробка друкованої плати.....	63
6.2. Розрахунок надійності системи.....	67
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	71
7.1. Охорона праці.....	71
7.2. Розробка заходів з охорони праці.....	72
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76

					МММТ 480.0018.018 – ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Селюченко А.Р.				Комп'ютеризований прилад для вимірювання радіаційного фону з GPS- трекінгом Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевірив	Подчашинський Ю.О.						5
Рецензент						Аркшів	77
Н. контр.						ДУ «Житомирська політехніка», МТ-5	
Затверд.	Подчашинський Ю.О.						

ВСТУП

Актуальність розробки. В умовах зростання техногенного навантаження на навколишнє середовище, ризиків радіаційних аварій, функціонування об'єктів атомної енергетики та ведення бойових дій питання оперативного контролю радіаційного стану довкілля набуває критичного значення. Рівень іонізуючого випромінювання безпосередньо впливає на екологічну безпеку територій та здоров'я населення, що вимагає постійного моніторингу.

Традиційні стаціонарні пости моніторингу мають обмежену локацію, а більшість комерційних портативних дозиметрів лише відображають поточні показники на екрані, не забезпечуючи автоматичної фіксації координат вимірювання. У зв'язку з цим виникає гостра потреба у розробці мобільного комп'ютеризованого приладу, який не просто вимірює радіаційний фон, а й синхронізує отримані дані з географічними координатами в режимі реального часу (GPS-трекінг). Це дозволяє створювати динамічні карти радіаційної обстановки, локалізувати джерела випромінювання та відстежувати безпеку маршрутів переміщення.

Використання сучасних енергоефективних мікроконтролерів, чутливих датчиків та супутникової навігації забезпечує створення доступного, надійного та функціонального пристрою з можливістю накопичення й передачі інформації, що робить проєкт актуальним із технічної та соціально-екологічної точок зору.

Мета роботи: розробка комп'ютеризованого приладу для вимірювання радіаційного фону з функцією GPS-трекінгу, який забезпечує точне визначення рівня іонізуючого випромінювання, автоматичну геоінформаційну прив'язку результатів вимірювань, а також обробку, збереження та візуалізацію даних моніторингу.

Об'єкт дослідження: процес вимірювання та картографування радіаційного фону в навколишньому середовищі.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предмет дослідження: структура, алгоритми роботи та апаратно-програмне забезпечення комп'ютеризованої системи вимірювання радіаційного фону з інтегрованими модулями супутникової навігації (GPS) та детектування іонізуючого випромінювання на базі лічильника Гейгера-Мюллера.

Завдання, які необхідно виконати для досягнення мети:

1.Провести аналіз існуючих портативних та мобільних систем радіаційного контролю та методів геоінформаційної прив'язки даних.

2.Розробити структурну та функціональну схеми комп'ютеризованого приладу з функцією трекінгу.

3.Розробити принципову електричну схему пристрою, узгодивши інтерфейси мікроконтролера, газорозрядного лічильника та GPS-модуля.

4.Спроекувати топологію друкованої плати для апаратної реалізації системи.

5.Створити алгоритм функціонування пристрою та реалізувати програмне забезпечення мікроконтролера для збору, обробки, збереження та передачі вимірювальних даних разом із координатами.

6.Здійснити розрахунок похибок вимірювання радіаційного фону та оцінити надійність розробленої системи.

7.Розглянути питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час виготовлення та експлуатації приладу.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1.Призначення та область застосування

Розроблений комп'ютеризований прилад призначений для оперативного вимірювання рівня радіаційного фону на відкритій місцевості з одночасною автоматичною прив'язкою результатів вимірювань до географічних координат у режимі реального часу (GPS-трекінг).

Основні функції приладу:

- безперервний моніторинг та детектування іонізуючого випромінювання;
- визначення точних координат точок вимірювання за допомогою супутникової навігації;
- обробка, збереження, виведення даних на дисплей та формування логів маршруту для подальшого картографування радіаційного стану.

Сфери застосування приладу:

- Екологічний моніторинг: картографування радіаційного фону територій навколо АЕС, промислових об'єктів та полігонів відходів;
- Цивільний захист та ДСНС: оперативне обстеження місцевості у зонах техногенних аварій, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій чи військових дій;
- Мобільні інспекції: використання екологічними службами та мобільними лабораторіями для аудиту безпеки транспортних маршрутів;
- Науково-навчальні цілі: проведення польових досліджень, практикумів та лабораторних робіт у закладах вищої освіти.

1.2.Умови експлуатації

Комп'ютеризований прилад для вимірювання радіаційного фону з GPS-трекінгом розроблений для роботи в польових умовах та на відкритій місцевості. Для забезпечення стабільного функціонування, точності

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювань та надійності апаратної частини пристрій має відповідати таким експлуатаційним вимогам:

Кліматичні фактори:

- Температурний діапазон: стабільна робота в межах від -20°C до +50 °C;
- Відносна вологість повітря: до 90% при температурі +25 °C\без конденсації вологи;
- Атмосферний тиск: від 84,0 до 106,7 кПа (від 630 до 800 мм рт. ст.).
- Параметри електроживлення:
- автономне живлення від вбудованого Li-ion або Li-Po акумулятора з номінальною напругою 3,7 В;
- внутрішнє перетворення та стабілізація напруги до рівня 5,0 В (для живлення високовольтного модуля лічильника Гейгера-Мюллера та дисплея) та 3,3 В (для живлення мікроконтролера та GPS-модуля).

Умови супутникової навігації: для коректного позиціонування та запису треку необхідна відсутність щільних екрануючих перешкод (робота на відкритій місцевості або в умовах «міських каньйонів» з урахуванням часу «холодного» та «гарячого» старту GPS-модуля).

Захист від зовнішнього середовища та механічні чинники:

- конструкція корпусу має забезпечувати пило- та вологозахист (рекомендовано за класом не нижче IP54);
- стійкість до вібрацій та помірних механічних ударів під час транспортування та оперативної дозиметричної зйомки (пішохідне або автомобільне сканування території).

Хімічна агресивність: навколишнє середовище не повинно містити високих концентрацій агресивних газів, парів кислот чи лугів, що можуть викликати корозію контактних з'єднань та друкованої плати.

Технічне обслуговування:

- контроль рівня заряду акумулятора перед кожним сеансом моніторингу;

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– профілактичний огляд цілісності корпусу, очищення вікна детектора та перевірка метрологічних характеристик (калібрування) щонайменше один раз на 6 місяців.

1.3. Технічні параметри прилада

Конструктивно комп'ютеризований прилад є замкненою апаратно-програмною системою, взаємодія елементів якої базується на чіткому розподілі вхідних і вихідних сигналів під керуванням центрального мікроконтролера.

Вхідні сигнали та кола живлення

Система живлення: На вхід пристрою надходить напруга від літій-полімерного (Li-Po) акумулятора через інтегрований модуль заряду та підвищувальний DC-DC перетворювач. Це забезпечує стабільну опорну напругу 5,0 В для периферійних модулів та 3,3 В для живлення цифрової логіки. Додатково через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) мікроконтролера реалізовано постійний моніторинг поточного рівня заряду батареї. Контроль живлення здійснюється двополюсним перемикачем.

Інформаційні канали:

– Від газорозрядного лічильника Гейгера-Мюллера через транзисторний формувач імпульсів на цифровий вхід мікроконтролера (з підтримкою зовнішніх переривань) надходять сигнали, викликані проходженням іонізуючих частинок;

– Через цифровий інтерфейс (I2C/OneWire) надходять кліматичні дані з датчика температури та вологості навколишнього середовища;

– Через послідовний UART-інтерфейс від інтегрованого GPS-модуля безперервно надходять пакети даних (NMEA-фрагменти) з інформацією про поточні географічні координати, висоту над рівнем моря та точний час синхронізації із супутниками.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні сигнали та індикація

– Візуалізація та логування: Поточні значення потужності еквівалентної дози (ПЕД) радіаційного фону, географічні координати (широта, довгота), кількість виявлених супутників, а також температура, вологість і залишок заряду акумулятора виводяться на дисплей. Одночасно формуються лог-файли для запису треку маршруту.

– Сигналізація: У разі перевищення встановленого безпечного порогу радіаційного фону мікроконтролер активує дискретний сигнал керування звуковим зумером (активна тривога).

– Високовольтне живлення: Для функціонування трубки Гейгера-Мюллера система генерує високу напругу (порядку 400 В). Вона формується за допомогою високовольтного інвертора, робота якого регулюється сигналом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з виходу мікроконтролера.

Роль мікроконтролера

Мікроконтролер виконує функцію центрального процесора системи: обробляє імпульси датчика випромінювання, розраховує статистичну потужність дози за одиницю часу, парсить NMEA-потоки з GPS-модуля, забезпечує програмне регулювання високої напруги через ШІМ, опитує мікрокліматичні датчики та динамічно оновлює дані на екрані й у пам'яті пристрою. Робота приладу є повністю автоматизованою і не потребує ручного налаштування оператором після увімкнення.

Технічні характеристики системи та її складових частин:

–Точність вимірювання: відносна похибка не перевищує 10 %; абсолютна похибка становить не більше $\pm 1,5$ мкР/год у діапазоні фонових значень;

–Діапазон вимірювання радіації: від 0,05 до 1000 мкР/год (залежно від встановленої трубки);

–Надійність системи: середній час напрацювання на відмову не менше 14 000 годин;

–Вимірювальний елемент: газорозрядна трубка Гейгера-Мюллера (СТС-5 або СБМ-20).

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Апаратно-програмний комплекс приладу спроектовано на базі уніфікованих і доступних компонентів: мікроконтролера, лічильника Гейгера-Мюллера, GPS-модуля, цифрового датчика мікроклімату, дисплея LCD, звукового зумера та стабілізованого блока живлення. Використання стандартних модулів із широкою програмною підтримкою забезпечує високу гнучкість архітектури, спрощує складання й технічне обслуговування пристрою, а також дозволяє оперативно замінювати окремі елементи без модифікації загальної електричної схеми.

1.4.Вимоги до конструктивного оформлення

Конструктивне виконання комп'ютеризованого приладу має забезпечувати високу надійність, ергономічність, зручність експлуатації під час пішого чи автомобільного моніторингу, а також надійний захист електронних компонентів у польових умовах.

Основні конструктивні вимоги:

1.Корпус пристрою: Має бути виготовлений з ударостійкого та термопластичного ABS-пластику (допускається 3D-друк або промислове формування). Зовнішні габаритні розміри становлять 137x91x50 мм. Конструкція корпусу складається з верхньої та нижньої кришок, що надійно з'єднуються гвинтовими кріпленнями.

2.Компонування та фіксація: Двошарова друкована плата проектується з урахуванням внутрішніх пазів корпусу (орієнтовний розмір плати 130 x 85 мм для забезпечення технологічних зазорів), що унеможливило люфти при механічних вібраціях. Літій-полімерний акумулятор фіксується у спеціальному ложементі за допомогою двосторонньої клейкої стрічки високої адгезії або притискної планки.

3.Ергономіка та інтерфейси: На лицьовій панелі передбачаються технологічні вирізи під OLED-дисплей та органи керування (кнопки/перемикачі). На бічній грані розміщується пилрозахищений роз'єм

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Туре-С для заряджання акумулятора. Вентиляційні отвори мають бути оптимізовані: забезпечувати доступ повітря до датчика мікроклімату та проходження бета-частинок до трубки лічильника, але мінімізувати потрапляння вологи всередину.

4.Особливості GPS-навігації: Матеріал верхньої кришки корпусу над зоною розташування керамічної антени GPS-модуля не повинен містити металізованих або екрануючих елементів для забезпечення швидкого зв'язку із супутниками.

5.Електробезпека та захист: Зона високовольтного інвертора (400 В) на друкованій платі має бути конструктивно віддалена від низьковольтної логіки мікроконтролера та за потреби покрита захисним ізоляційним лаком. Загальний рівень захисту оболонки повинен відповідати класу не нижче IP54 для запобігання пошкодженню приладу від пилу та бризок води на відкритій місцевості.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

2.1.Загальний опис дозиметрів та їх історія походження

Дозиметри є спеціалізованими вимірювальними пристроями, призначеними для визначення кількісних та якісних характеристик іонізуючого випромінювання, що впливає на об'єкт дослідження або накопичується в ньому протягом певного проміжку часу. Вони виступають базовим інструментом радіаційного контролю у ядерній енергетиці, медицині, промисловому секторі, військовій справі та під час проведення екологічного моніторингу навколишнього середовища. Головне завдання дозиметрії полягає в оперативній оцінці рівня радіаційного навантаження для забезпечення біологічної безпеки людини та збереження екосистем.

Іонізуюче випромінювання є потоком мікрочастинок або електромагнітних хвиль, здатних іонізувати речовину, змінюючи її атомну структуру, що за умов високих доз завдає незворотної шкоди живим організмам. Основними джерелами такого випромінювання є природні й техногенні радіоактивні ізотопи, ядерні реактори, рентгенівські установки, а також спеціалізоване промислове й медичне обладнання. Оскільки іонізуюче випромінювання є невидимим і не сприймається органами чуття людини, виникла гостра науково-технічна потреба у створенні приладів для його індикації та точного вимірювання.

Становлення дозиметрії тісно пов'язане з фундаментальними відкриттями у галузі фізики наприкінці XIX століття. У 1895 році Вільгельм Рентген виявив Х-промені, а у 1896 році Анрі Беккерель відкрив явище природної радіоактивності. Подальші дослідження Ернеста Резерфорда, а також П'єра і Марії Кюрі, дозволили класифікувати альфа-, бета- та гамма-випромінювання і довели їхній суттєвий біологічний вплив.

Першопочатковими індикаторами випромінювання слугували фотоплівки, які темніли під дією радіації. Вони фіксували лише сам факт наявності випромінювання, але не забезпечували кількісної оцінки дози.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступним кроком стало створення електроскопів — пристроїв, що фіксували зміну електричного заряду під впливом іонізації. Ці прилади заклали теоретичну й практичну основу для проектування сучасних дозиметричних систем [1].

У розвитку дозиметрії виділяють кілька ключових етапів:

1.1920–1930-ті роки: Удосконалення електрометричних методів та розробка перших індивідуальних засобів контролю. Зокрема, було створено кишенькові іонізаційні дозиметри, принцип дії яких базувався на вимірюванні зміни заряду в мініатюрній камері під дією радіації.

2.Післявоєнний період (кінець 1940-х – 1950-ті роки): Стрімкий поштовх дозиметрії на тлі розвитку ядерних програм. Було розроблено сцинтиляційні лічильники, що реєстрували світлові спалахи (сцинтиляції) у спеціальних матеріалах при проходженні частинок. Водночас широкого впровадження набули газорозрядні лічильники Гейгера-Мюллера, які завдяки надійності, простоті та економічній доступності залишаються затребуваними й сьогодні.

3.1960–1970-ті роки: Поява термолюмінесцентних дозиметрів (ТЛД). Матеріали таких датчиків накопичують енергію випромінювання, яка вивільняється у вигляді світлового потоку при подальшому нагріванні. ТЛД отримали широке застосування в медицині й на АЕС завдяки високій точності та можливості багаторазового зчитування даних.

4.1980–1990-ті роки: Інтеграція дозиметрії з мікропроцесорною технікою. Поява цифрових електронних дозиметрів із функціями безперервного моніторингу, енергонезалежної пам'яті, встановлення порогів спрацьовування звукової сигналізації (зумерів) та передачі інформації на ПК [2].

Сьогодні дозиметричні прилади класифікують за такими ознаками:

- За типом випромінювання: альфа-, бета-, гамма-детектори та нейтронні дозиметри;
- За конструктивним виконанням і призначенням: індивідуальні (персональні), побутові, промислові, стаціонарні та польові (мобільні);

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– За фізичним принципом детектування: іонізаційні, сцинтиляційні, напівпровідникові, термолюмінесцентні та газорозрядні.

Газорозрядні прилади на базі лічильників Гейгера-Мюллера залишаються одним із найефективніших засобів експрес-моніторингу. Вони фіксують електричні імпульси, які виникають при іонізації газу в трубці пролітаючими частинками. Частота та кількість цих імпульсів за одиницю часу програмно перераховуються у потужність еквівалентної дози випромінювання.

Масштабні техногенні катастрофи (аварії на ЧАЕС, Фукусімі-1) та сучасні виклики екологічній безпеці довели важливість повсюдного і точного моніторингу радіаційного стану [3]. Як наслідок, сьогодні спостерігається перехід від ізольованих індивідуальних приладів до комп'ютеризованих мобільних систем на основі високопродуктивних мікроконтролерів.

Сучасні розробки орієнтовані на створення інтелектуальних засобів вимірювання, які поєднують радіаційне детектування з супутниковою навігацією (GPS-трекінг) та бездротовою передачею даних. Це дає змогу автоматизувати процес просторового картографування радіаційного фону, роблячи такі пристрої незамінними як для фахівців (екологів, служб ЦЗ), так і для цивільного населення (туристів, дослідників) за умов роботи на відкритій місцевості.

2.2 Аналіз існуючих дозиметрів

Для обґрунтування технічних рішень та вибору оптимальної структури проектного пристрою було проведено детальний аналіз існуючих засобів радіаційного контролю. Як аналоги розглядалися популярні на ринку України пристрої різного конструктивного та функціонального виконання, а саме: модульний конструктор-радіометр Geiger Counter Kit, еталонний вітчизняний дозиметр МКС-05 «ТЕРРА-П», а також сучасні цифрові портативні дозиметри FNIRSI GC-01 та RM211. Розглянемо детальніше їхній опис та основні технічні характеристики.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модульний дозиметр-конструктор Geiger Counter Kit (Uamper) представлений на рис.2.1.



Рис.2.1. Модульний дозиметр-конструктор Geiger Counter Kit

Даний пристрій є відкритим радіоконструктором (складальним модулем) без герметичного індустріального корпусу. Він орієнтований на розробників, студентів та інженерів. Модуль містить готову високовольтну частину для живлення трубки Гейгера (зазвичай СБМ-20 або J305) та зумер. Видає сформовані цифрові імпульси безпосередньо на вихідні контакти, що дозволяє легко підключати його до плат Arduino, ESP32 або STM32.

Переваги: Максимальна гнучкість для розробника, низька вартість, можливість інтеграції в будь-яку власну систему (включаючи зовнішні GPS-трекери).

Недоліки: Відсутність корпусу, дисплея в базовій комплектації, незахищеність від кліматичних факторів та відсутність автономної обробки «з коробки».

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Технічні характеристики:

- Тип датчика: Газорозрядна трубка Гейгера-Мюллера (СБМ-20 / STS-5 / J305);
- Напруга живлення модуля: 5 В;
- Напруга живлення трубки: програмно або апаратно регульована (~380–400 В);
- Інтерфейс зв'язку: Цифровий вихід (імпульсний сигнал преривання MCU);
- Індикація: П'єзоелектричний зумер (звуковий клік при кожній частинці);
- Споживання струму: до 20 мА [4] .

Дозиметр-радіометр побутовий МКС-05 «ТЕРРА-П» (ECOTEST) представлено на рис.2.2.



Рис.2.2. Дозиметр-радіометр побутовий МКС-05 «ТЕРРА-П»

Еталонний та найбільш відомий український професійно-побутовий прилад, внесений свого часу до реєстру ЗВТ. Призначений для вимірювання бета- та гамма-випромінювань, оцінки радіоактивного забруднення одягу,

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктів харчування та ґрунту. Має міцний жовтий корпус, РК-дисплей із люмінесцентним підсвічуванням та тривалий час автономної роботи від двох батарейок ААА.

Переваги: Висока точність, надійність, відповідність державним стандартам, тривала автономність.

Недоліки: Висока вартість, застарілий сегментний РК-дисплей, відсутність будь-яких інтерфейсів зв'язку (Bluetooth/USB) та GPS-модуля для побудови карт у цій модифікації.

Технічні характеристики:

- Тип випромінювання: Гамма (γ), Бета (β), рентгенівське;
- Діапазон вимірювання ПЕД гамма-випромінювання: 0,1 – 999,9 мкЗв/год;
- Діапазон вимірювання ЕД (накопиченої дози): 0,001 – 9999 мЗв;
- Енергетичний діапазон реєстрації: гамма: 0,05 – 1,25 МеВ; бета: 0,5 – 3,0 МеВ;
- Похибка вимірювань: $\pm 25\%$;
- Живлення: 2 елементи типу ААА;
- Час безперервної роботи: до 6000 годин [5].

Цифровий портативний дозиметр-радіометр FNIRSI GC-01 представлено на рис.2.3.



Рис.2.3. Цифровий портативний дозиметр-радіометр FNIRSI GC-01

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасний високоефективний побутовий прилад, виконаний у ергономічному корпусі з протиковзкими силіконовими вставками. Оснащений кольоровим РК-дисплеєм, на якому інформація відображається у вигляді графіків трендів, поточних та середніх значень. Має вбудовану пам'ять для збереження налаштувань та накопиченої дози при вимкненні пристрою.

Переваги: Кольоровий інформативний інтерфейс, побудова графіків реального часу, вбудований Li-ion акумулятор, Type-C роз'єм, низька ціна.

Недоліки: Корпус не має повноцінного вологозахисту (великі отвори ззаду біля трубки), немає інтегрованого GPS-приймача – прилад фіксує часові графіки, але не координує їх у просторі.

Технічні характеристики:

- Тип датчика: Галоген-газова трубка Гейгера-Мюллера;
- Тип випромінювання: X-промені, β - та γ -частинки;
- Діапазон потужності дози: 0,01 – 1000 мкЗв/год (макс. до 10 мЗв/год);
- Діапазон накопиченої дози: 0,00 мкЗв – 500,0 мЗв;
- Енергетичний діапазон: 48 кеВ – 1,5 МеВ ($\leq \pm 30\%$ за Цезієм-137);
- Чутливість: 80 імп/хв (CPM) / мкЗв;
- Акумулятор: Вбудований Li-ion, 1200 мАг (3,7 В) [6].

Цифровий міні-дозиметр RM211 представлено на рис.2.4.

Надкомпактний та ультрабюджетний кишеньковий радіометр на базі невеликої GM-трубки. Призначений для швидкої оцінки радіаційної обстановки. Оснащений невеликим кольоровим екраном та Type-C інтерфейсом для зарядки. Його головна фішка — мініатюрність (розміром із запальничку або невеликий повербанк).

Переваги: Ультрапортативність, низьке енергоспоживання, швидка зарядка через Type-C, доступна ціна для масового споживача.

Недоліки: Маленька трубка має нижчу чутливість (довше вираховує точний фон), відсутні інтерфейси зв'язку, повністю відсутня прив'язка до координат місцевості.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.2.4. Цифровий міні-дозиметр RM211

Технічні характеристики:

- Тип випромінювання: Гамма (γ), Бета (β), рентгенівське;
- Діапазон потужності еквівалентної дози: 0 – 10000 мкЗв/год;
- Діапазон накопиченої дози: 0 – 500 мЗв;
- Енергетичний діапазон: 50 кеВ – 3,0 МеВ $\leq \pm 30\%$;
- Чутливість: 60 імп/хв (CPM) / мкЗв;
- Габаритні розміри: 112×52×19,6 мм;
- Ємність акумулятора: 800 мАг (вбудований) [7].

Проведений аналіз показав, що сучасний ринок пропонує або дорогі закриті метрологічні прилади без можливості вивантаження просторових даних (МКС-05 «Терра»), або дешеві китайські цифрові пристрої (FNIRSI, RM211), які гарно візуалізують дані, але працюють виключно локально (без геоприв'язки).

Це повністю обґрунтовує доцільність розробки комп'ютеризованого приладу для вимірювання радіаційного фону з GPS-трекінгом, який заповнить цей технологічний розрив, дозволяючи автоматично прив'язувати радіаційні заміри до карт місцевості під час руху користувача.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Обґрунтування мікропроцесора

Центральною ланкою комп'ютеризованого приладу для вимірювання радіаційного фону є мікроконтролер — спеціалізована однокристальна мікроЕОМ, що поєднує на одному кристалі процесорне ядро, оперативну та постійну пам'ять, а також набір периферійних інтерфейсів. Він виконує функції збору первинної інформації з детекторів, математико-статистичної обробки сигналів, керування високовольтним живленням, навігаційного трекінгу та візуалізації результатів вимірювань на дисплеї.

Сучасний ринок мікропроцесорних компонентів для вбудованих систем (Embedded Systems) пропонує широкий вибір архітектур, кожна з яких має індивідуальні технічні характеристики (тактову частоту, об'єм пам'яті SRAM/Flash, розрядність, енергоспоживання) та рівень програмної підтримки.

З метою визначення оптимальної апаратної платформи для розроблюваного пристрою було розглянуто кілька поширених сімейств мікроконтролерів та обчислювальних платформ:

- Одноплатні комп'ютери (наприклад, Raspberry Pi): Повнофункціональні системи на базі потужних багатоядерних процесорів архітектури ARM, які працюють під керуванням операційних систем типу Linux. Вони забезпечують колосальну продуктивність, проте мають надлишкове для даної задачі енергоспоживання, тривалий час завантаження системи при ввімкненні та високу вартість, що недоцільно для портативного вимірювального приладу.

- Мікроконтролери сімейства ESP (ESP8266, ESP32): 32-бітні чипи з інтегрованими модулями Wi-Fi та Bluetooth. Вони орієнтовані на бездротові рішення Інтернету речей (IoT), проте мають вищий рівень енергоспоживання в активних режимах та вимагають складніших схемотехнічних рішень для забезпечення завадостійкості аналогових і високовольтних каскадів.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Мікроконтролери архітектури AVR від компанії Atmel (Microchip):
Лінійка 8-бітних високопродуктивних та низькоспоживаючих мікроконтролерів (зокрема, серія ATmega). Вони характеризуються високою завадостійкістю, фіксованим часом виконання команд, передбачуваною логікою роботи в реальному часі та широким температурним діапазоном експлуатації.

Для реалізації комп'ютеризованого приладу для вимірювання радіаційного фону з GPS-трекінгом було обрано 8-бітний мікроконтролер ATmega328P від компанії Atmel.

Цей вибір обґрунтований такими технічними та економічними перевагами:

1. Достатня апаратна периферія: * Наявність апаратного модуля UART забезпечує надійний прийом текстових пакетів навігаційних даних за протоколом NMEA від GPS-модуля.

– Наявність ліній зовнішніх переривань (INT0/INT1) дозволяє миттєво й без втрат фіксувати кожен електричний імпульс, що надходить від транзисторного формувача лічильника Гейгера-Мюллера, забезпечуючи високу точність підрахунку.

– Вбудований модуль ШІМ (PWM) дозволяє реалізувати програмно-апаратне керування ключовим транзистором високовольтного інвертора для стабільного живлення газорозрядної трубки на рівні 400 В.

– Інтегрований 10-бітний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) дає змогу точно контролювати рівень розряду літієвого акумулятора.

2. Енергоефективність: Чип має низьке струмоспоживання та підтримує кілька режимів енергозбереження (Sleep Modes), що є критично важливим для портативного пристрою з автономним живленням.

3. Економічна доступність та надійність: ATmega328P є недорогим, масовим компонентом із передбачуваними характеристиками та високою стійкістю до зовнішніх електромагнітних завад, що виникають під час роботи високовольтної частини дозиметра.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.Програмна підтримка: Повна сумісність із середовищем розробки Arduino IDE та наявність оптимізованих бібліотек для роботи з дисплеями (OLED/LCD), кліматичними датчиками та GPS-модулями (наприклад, *TinyGPS++*) дозволяє суттєво скоротити час на розробку й налагодження програмного забезпечення.

3.2. Обґрунтування газорозрядного лічильника

Для детектування іонізуючого випромінювання у проектованому приладі використовуються газорозрядні детектори. Конструктивно такий лічильник являє собою герметичний металевий або скляний балон (циліндр), заповнений розрідженою сумішшю інертних газів (аргон, неон) з домішками галогенів або спиртових парів, які виконують функцію гасителя розряду. Уздовж осі циліндра натягнута тонка металева нитка, що слугує анодом, тоді як сам електропровідний корпус (або тонкий металевий шар на внутрішній поверхні скла) виконує роль катода.

Фізика процесу базується на тому, що при потраплянні іонізуючої частинки (або гамма-кванта) у газове середовище датчика відбувається первинна іонізація атомів газу з утворенням вільних електронів та позитивних іонів. Під дією прикладеного високого електричного поля електрони прискорюються у напрямку анода, викликаючи вторинну ударну іонізацію (електронну лавину).

Залежно від напруги живлення та характеру розвитку електричного розряду, газорозрядні детектори поділяють на такі основні класи:

– Пропорційні лічильники: Працюють за помірних напруг, коли амплітуда вихідного електричного імпульсу є строго пропорційною енергії первинної іонізуючої частинки. Це дозволяє здійснювати спектрометричний аналіз випромінювання, проте вимагає надзвичайно стабільних джерел живлення та складних прецизійних підсилювачів сигналу.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Іскрові лічильники: Фіксують проходження високоенергетичних частинок за допомогою виникнення видимої електричної іскри між електродами у газовому або повітряному проміжку. Використовуються переважно у лабораторній фізиці високих енергій для трекових камер.

– Лічильники Гейгера-Мюллера: Працюють у режимі насичення (самостійного розряду). За високої напруги (~380–400 В) будь-яка одиночна іонізуюча частинка викликає потужний лавиноподібний розряд по всій довжині анода. При цьому амплітуда вихідного імпульсу є однаковою незалежно від енергії частинки.

Для реалізації мобільного комп'ютеризованого приладу з GPS-tracking-ом обрано газорозрядний лічильник, що працює в режимі Гейгера-Мюллера (зокрема, промисловий тип СБМ-20 або J305).

Даний вибір обґрунтований такими інженерно-технічними факторами:

1. Амплітуда вихідного сигналу: Лічильник Гейгера-Мюллера генерує потужні електричні імпульси напруги (до кількох вольт), які після найпростішого ключового транзисторного формувача (на одному транзисторі) можна безпосередньо подавати на вхід зовнішніх переривань мікроконтролера ATmega328P. Це виключає потребу у використанні дорогих та чутливих до завад операційних підсилювачів.

2. Ефективність реєстрації: Обраний тип датчика має високу чутливість до жорсткого бета-випромінювання та гамма-квантів, що є оптимальним для вирішення завдань загального екологічного моніторингу місцевості та виявлення радіаційних аномалій.

3. Надійність та невибагливість: Дані трубки мають тривалий термін експлуатації (понад 10^{10} імпульсів), стабільні метрологічні характеристики, широке плато лічильної характеристики та здатні безвідмовно працювати в температурному діапазоні від -40 °C до +50 °C, що повністю задовольняє умови роботи приладу на відкритій місцевості.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.Економічна доцільність: Лічильники Гейгера-Мюллера є найбільш доступними, серійними та конструктивно відпрацьованими детекторами радіації, що дозволяє мінімізувати собівартість апаратної частини пристрою.

3.3. Обґрунтування дисплея

Для забезпечення оперативного зчитування результатів вимірювань користувачем у проектованому приладі необхідно передбачити модуль візуального відображення інформації. Дисплей має в реальному часі виводити поточні показники радіаційного фону (ПЕД), географічні координати, отримані від GPS-модуля, параметри мікроклімату та поточний стан заряду акумулятора.

Під час проєктування портативних комп'ютеризованих систем зазвичай розглядають три основні типи індикаторів:

- Сегментні світлодіодні (LED) індикатори: Мають високу яскравість і низьку вартість, проте здатні відображати лише обмежений набір цифрових символів. Вони абсолютно непридатні для виведення текстових назв параметрів та складних супутникових координат (широти й довготи).

- Графічні кольорові TFT-дисплеї: Надають широкі можливості для побудови графіків та побудови складних інтерфейсів, але характеризуються високим рівнем енергоспоживання (через постійну роботу потужного підсвічування), високою вартістю та вимагають великих об'ємів оперативної пам'яті мікроконтролера для формування відеобуфера, що є критичним для ATmega328P.

- Знакосинтезуючі рідкокристалічні дисплеї (LCD): Оптимальне рішення для мобільних приладів. Вони мають низьке власне енергоспоживання, чітке відображення символів під прямим сонячним світлом та прості у програмному керуванні.

Для реалізації пристрою обрано знакосинтезуючий рідкокристалічний дисплей типу LCD 1602 Blue з інтегрованим адаптером інтерфейсу I2C (на базі мікросхеми PCF8574).

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей вибір обґрунтований такими інженерно-технічними перевагами:

1. Оптимізація виводів мікроконтролера (інтерфейс I2C): Класичне підключення дисплея LCD 1602 за паралельною 4- або 8-бітною шиною вимагає використання від 6 до 10 цифрових пінів мікроконтролера. Оскільки в даній системі ATmega328P одночасно взаємодіє з GPS-модулем (UART), лічильником Гейгера (зовнішні переривання) та іншими датчиками, дефіцит вільних портів є критичним. Використання модуля розширення I2C дозволяє підключити дисплей всього за двома сигнальними лініями (SDA та SCL), повністю вирішуючи проблему обмеженості ресурсів MCU.

2. Інформаційність та роздільна здатність: Дисплей підтримує відображення двох рядків по 16 символів у кожному (16 x 2). Цього об'єму достатньо для циклічного або статичного виведення основних даних: наприклад, у першому рядку – рівень радіації в мкЗв/год, у другому – поточні GPS-координати.

3. Енергоефективність: Рідкокристалічна технологія споживає мінімальний струм під час роботи (~1–2 мА без підсвічування). Синє світлодіодне підсвічування (Blue) за потреби може програмно або апаратно відключатися (або регулюватися потенціометром на платі I2C), що дозволяє гнучко економити заряд літійового акумулятора в польових умовах.

4. Конструктивна та програмна надійність: Дисплей LCD 1602 є промисловим стандартом, має вбудований контролер HD44780, стійкий до температурних коливань та підтримується офіційною бібліотекою LiquidCrystal_I2C в середовищі Arduino IDE, що спрощує розробку та налагодження коду.

3.4. Обґрунтування датчика температури та вологості

Для забезпечення комплексного моніторингу навколишнього середовища разом із вимірюванням радіаційного фону в архітектуру приладу інтегровано канал фіксації параметрів мікроклімату – температури та відносної вологості

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітря. Отримання цих даних дозволяє екологічним службам оцінювати стан довкілля в комплексі, а також враховувати температурну похибку під час тривалих вимірювань.

Сучасна вимірювальна техніка базується на використанні кількох основних фізичних принципів детектування температури та вологості:

- Резистивні сенсори (терморезистори та термістори): Працюють на основі зміни електричного опору матеріалу при зміні температури або вологості. Мають високу лінійність (як платинові датчики Pt100/Pt1000), проте вимагають використання прецизійних аналогових схем узгодження та додаткових каналів АЦП мікроконтролера.

- Термопари: Генерують термо-ЕРС (електричну напругу), пропорційну різниці температур між двома спаями різних металів. Мають надширокий діапазон вимірювання (до сотень градусів Цельсія), що є надлишковим для задач моніторингу атмосферного повітря.

- Ємнісні сенсори: Вимірюють зміну діелектричної проникності полімерного або керамічного матеріалу, яка змінюється внаслідок поглинання вологи чи коливань температури. Характеризуються високою стабільністю та швидким часом відгуку.

- Оптичні датчики: Базуються на зміні спектральних властивостей відбитого або пропущеного світлового потоку через чутливе середовище. Вони є високоточними, але складними у схемотехнічній реалізації та мають високу вартість.

Для реалізації комп'ютеризованого пристрою обрано сучасний цифровий інтегрований датчик температури та вологості типу АНТ10.

Цей вибір обґрунтований такими інженерними та техніко-економічними перевагами:

1. Сумісність та економія виводів (інтерфейс I2C): Датчик АНТ10 працює за стандартним цифровим інтерфейсом I2C. Оскільки в системі на базі мікроконтролера ATmega328P лінії I2C (SDA та SCL) вже задіяні для керування дисплеєм LCD 1602, датчик підключається до тих самих двох виводів

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

паралельно (завдяки індивідуальній адресній системі на шині). Це дозволяє розширити функціонал приладу без використання додаткових портів вводу-виводу MCU.

2.Високі експлуатаційні характеристики: Сенсор поєднує в одному надмініатюрному корпусі ємнісний датчик вологості та напівпровідниковий температурний елемент. Він забезпечує стабільну роботу в діапазоні температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ та вимірювання відносної вологості від 0% до 100% з точністю $\pm 2\%$, що повністю покриває вимоги до експлуатації приладу на відкритій місцевості.

3.Цифрова обробка та заводське калібрування: На відміну від застарілих аналогових датчиків або сенсорів серії DHT11/DHT22, АНТ10 містить вбудований ASIC-процесор, який видає на вихід повністю відкалібрований, лінеаризований цифровий сигнал у 20-бітному форматі. Це звільняє обчислювальні ресурси мікроконтролера ATmega328P від необхідності виконання складних програмних розрахунків та компенсацій.

4.Енергоефективність: Датчик має вкрай низьке енергоспоживання (порядку 23 мкА в режимі вимірювання та менше 0,25 мкА в режимі очікування), що є критично важливим для портативних систем із автономним акумуляторним живленням.

3.5. Обґрунтування GPS датчика

Для реалізації головної функціональної особливості пристрою – автоматичної прив'язки виміряних значень радіаційного фону до географічних координат у режимі реального часу (GPS-трекінгу) – до складу апаратної частини необхідно інтегрувати модуль супутникової навігації. Цей вузол відповідає за безперервне приймання сигналів від глобальних супутникових систем, розрахунок точних просторово-часових параметрів (широти, довготи, висоти над рівнем моря) та передачу цієї інформації на керуючий мікроконтролер.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час проектування мобільних систем моніторингу розглядаються різні варіанти координатної прив'язки:

- Розрахунок за базовими станціями стільникового зв'язку (LBS-позиціонування): Має низьке енергоспоживання, проте точність визначення координат є незадовільною (від кількох сотень метрів до кілометрів) і повністю залежить від щільності покриття мобільних операторів, що неприпустимо для роботи у віддаленій відкритій місцевості.

- Інтеграція з навігаційними модулями смартфонів через бездротові інтерфейси: Дозволяє зекономити на апаратній частині, але робить прилад залежним від сторонніх пристроїв, що знижує загальну автономність та надійність комплексу.

- Автономні приймачі глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS): Є найбільш точним і професійним інженерним рішенням. Вони забезпечують незалежність приладу від мереж зв'язку та гарантують високу точність позиціонування у будь-якій точці земної кулі.

Обґрунтування вибору: Для реалізації навігаційного каналу системи обрано високоефективний GNSS-модуль серії u-blox NEO-7M.

Цей вибір обґрунтований такими інженерно-технічними перевагами:

1. Сумісність апаратних інтерфейсів (UART): Модуль NEO-7M підтримує обмін даними за послідовним інтерфейсом UART (лінії RX та TX). Мікроконтролер ATmega328P має вбудований апаратний приймач-передавач USART, що дозволяє надійно отримувати текстові навігаційні рядки без залучення додаткових програмних ресурсів та обчислювальних затримок.

2. Протокол передачі даних та програмна підтримка: Навігаційні дані віддаються модулем у загальноприйнятому міжнародному стандарті NMEA-0183 (пакети GPRMC, GPGGA тощо). Ці текстові потоки легко парсяться за допомогою стандартних оптимізованих бібліотек для Arduino IDE (наприклад, *TinyGPS++*), що суттєво спрощує виокремлення чистих значень координатної сітки у програмному коді.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Технічні характеристики та архітектура 7-го покоління: Модуль NEO-7M базується на архітектурі від лідера індустрії u-blox та має оптимізоване співвідношення між часом пошуку супутників та енергоспоживанням. Він забезпечує точність позиціонування до 2,5 м за умов прямої видимості неба, що є ідеальним для картографування радіаційного фону.

4. Режими startу та енергоефективність: Приймач має низьке робоче споживання струму (близько 15–20 мА) та підтримує швидкий перезапуск завдяки технології збереження системних даних:

- «Гарячий start» (при короткочасному зникненні живлення) становить менше 1 ;
- «Холодний start» (первинний пошук супутників) триває до 30 с.

5. Конструктивні особливості: Модуль постачається у комплекті з компактною пасивною керамічною антеною, що забезпечує стабільний прийом сигналів у межах обраного пластикового корпусу приладу, не вимагаючи винесення масивних зовнішніх антенних конструкцій.

3.6. Обґрунтування живлення приладу

Для забезпечення автономності, мобільності та стабільної роботи комп'ютеризованого приладу в польових умовах на відкритій місцевості критично важливим є проектування надійної підсистеми електроживлення. Вона має гарантувати тривалий час безперервної роботи всіх вузлів (мікроконтролера, GPS-модуля, дисплея, датчиків та високовотного інвертора), а також забезпечувати стабільні рівні напруги незалежно від поточного стану розряду первинного джерела.

Портативні вимірювальні системи вимагають застосування вторинних хімічних джерел струму (акумуляторів), які працюють на основі оборотних електрохімічних реакцій. Під час проектування було розглянуто та проаналізовано основні сучасні типи акумуляторних батарей:

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Свинцево-кислотні акумулятори: Мають значну ємність, проте характеризуються незадовільною питомою енергетичною щільністю та великою масою, що робить їх непридатними для ручних кишенькових приладів.

– Нікель-метал-гідридні (NiMH) акумулятори: Мають стабільну напругу, але піддаються ефекту пам'яті, мають високий рівень саморозряду та значні габарити порівняно з літійовими аналогами.

– Літій-іонні (Li-ion) та літій-полімерні (Li-Po) акумулятори: Є найбільш прогресивним рішенням для портативної мікропроцесорної техніки. Вони відрізняються максимальною питомою енергоємністю на одиницю маси, низьким саморозрядом, високою номінальною напругою (3,7 В) та відсутністю ефекту пам'яті.

Для живлення пристрою обрано літійовий акумулятор типу Li-ion/Li-Po з номінальною напругою 3,7 В. Це забезпечує оптимальні масогабаритні показники приладу та достатній запас енергії для тривалого моніторингу місцевості.

Електронні компоненти проектного дозиметра мають різні вимоги до рівнів напруги живлення: мікроконтролер ATmega328P, GPS-модуль та датчик АНТ10 стабільно працюють у діапазоні 3,3–5,0 В, тоді як для знакосинтезуючого дисплея LCD 1602 та імпульсного високовольтного каскаду трубки Гейгера-Мюллера необхідна строго стабілізована напруга на рівні 5,0 В.

Оскільки напруга на літійовому акумуляторі в процесі розряду динамічно знижується (від 4,2 В у повністю зарядженому стані до 3,0 В у розрядженому), пряме підключення елементів схеми до батареї є неможливим. Для узгодження рівнів необхідне застосування підвищувального DC/DC-перетворювача.

Для комплексної реалізації системи управління живленням було обрано багатофункціональний модуль J5019 (комбінована плата заряду, захисту та підвищення напруги).

Дане інженерне рішення забезпечує виконання одразу трьох критично важливих функцій в одному малогабаритному вузлі:

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.Інтегрований контролер заряду: Модуль дозволяє безпечно заряджати вбудований літієвий акумулятор від стандартного зовнішнього джерела 5 В через сучасний інтерфейс (Micro-USB або Type-C), реалізуючи правильний двостадійний алгоритм заряджання CC/CV (постійний струм / постійна напруга).

2.Комплексний захист акумулятора: Вбудована спеціалізована мікросхема захисту оберігає акумулятор від небезпечного перезаряду (вище 4,2 В), глибокого розряду (нижче 2,5–3,0 В) та короткого замикання на виході, що суттєво підвищує загальну пожежну та експлуатаційну безпеку приладу.

3.Імпульсний підвищувальний DC/DC-перетворювач: Забезпечує стабільне підвищення напруги акумулятора до необхідних 5,0 В. Наявність багатообертового підстроювального резистора (потенціометра) на платі J5019 дозволяє виконати прецизійне апаратне налаштування та точне калібрування вихідної напруги перед подачею на логічні елементи пристрою. Високий ККД перетворювача (до 92%) гарантує мінімальні теплові втрати та раціональне використання енергоємності батареї в польових умовах.

3.6. Обґрунтування кнопки

Для забезпечення взаємодії користувача з комп'ютеризованим приладом, перемикання режимів відображення інформації на дисплеї LCD 1602 (наприклад, між виведенням радіаційного фону, географічних координат чи параметрів мікроклімату), а також для скидання або фіксації накопиченої дози, в апаратну структуру пристрою необхідно інтегрувати органи ручного керування. Комутаційні елементи виконують функцію замикання або розмикання сигнальних ліній для формування дискретних імпульсів на входах мікроконтролера.

У сучасній електронній апаратурі застосовують кілька основних видів електромеханічних комутаційних елементів:

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Фіксуючі кнопки (тумблери, перемикачі): Зберігають свій замкнений або розімкнений стан після припинення механічного тиску, доки користувач не здійснить повторне натискання. Вони є зручними для подачі загального живлення, але малоефективні для циклічного вибору меню або навігації в інтерфейсі.

– Мембранні клавіатури: Мають гнучку плівкову конструкцію, плоску поверхню та високий рівень пило- і вологозахисту. Проте вони вимагають індивідуального проектування графічного шару та є складнішими в монтажі під час макетування й штучного виробництва.

– Аналогові та сенсорні кнопки: Реагують на зміну ємності або силу натискання. Вони забезпечують сучасний вигляд пристрою, але чутливі до статичних завад, наявності вологи чи бруду на корпусі, а також потребують додаткових програмних алгоритмів фільтрації та калібрування порогів спрацьовування.

– Моментальні тактові кнопки (мікроперемикачі без фіксації): Активуються виключно під час безпосереднього натискання користувачем. Замикання внутрішніх металевих контактів відбувається миттєво, а після зняття зусилля вбудована пружина повертає штовхач у початковий розімкнений стан.

Обґрунтування вибору: Для реалізації інтерфейсу керування приладом обрано стандартні мініатюрні тактові кнопки розміром 6x6x5 мм у 4-піновому виконанні (4-pin) для монтажу в отвори (DIP/Thru-Hole).

Даний вибір обґрунтований такими техніко-економічними та інженерними факторами:

1.Конструктивна надійність (4-pin архітектура): Наявність чотирьох виводів, які попарно продубльовані всередині корпусу, забезпечує високу механічну міцність під час паяння на друковану плату. Така конструкція стійка до частих механічних навантажень та відриву від друкованих провідників при інтенсивній експлуатації в польових умовах.

2.Зручність інтеграції з мікроконтролером: Кнопка підключається безпосередньо до цифрових портів вводу-виводу мікроконтролера

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ATmega328P. Використання внутрішніх підтягуючих резисторів MCU (режим INPUT_PULLUP) дозволяє фіксувати натискання за низьким логічним рівнем (GND), що спрощує схемотехніку пристрою та усуває потребу у встановленні зовнішніх резисторів на платі.

3.Ергономічні геометричні параметри: Висота штовхача 5 мм є оптимальною для проектування корпусу приладу з ABS-пластику. Вона дозволяє кнопці злегка виступати над лицьовою панеллю або перебувати врівень із нею, забезпечуючи чіткий тактильний відгук (клацання) під час натискання, що зручно для користувача.

4.Врахування ефекту брязкання контактів (Debounce): Будь-яка кнопка моментальної дії під час замикання створює мікроіскріння та хаотичні імпульси (брязкання контактів). Обрані кнопки мають передбачувані часові характеристики завад (до 5–10 мс), що дозволяє ефективно усунути цей ефект стандартним програмним методом (затримкою delay() чи таймерами millis()) або найпростішим апаратним RC-фільтром.

5.Економічна доступність: Тактові кнопки типорозміру 6x6 мм є найбільш масовими, взаємозамінними та дешевими комутаційними компонентами, що знижує загальну собівартість приладу.

3.7. Структурна схема

На основі проведеного аналізу та обґрунтування компонентної бази було сформовано загальну архітектуру та побудовано структурну схему комп'ютеризованого приладу для вимірювання радіаційного фону з функцією геоприв'язки (рис. 3.1).

Взаємодія між функціональними вузлами системи організована за такою логікою:

1.Підсистема автономного живлення та стабілізації: Основним джерелом електричної енергії для комплексу є літійовий акумулятор.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1. Структурна схема комп'ютеризованого приладу

Інтегрований багатофункціональний модуль живлення J5019 здійснює контроль заряду/розряду батареї та за допомогою вбудованого підвищувального DC/DC-перетворювача трансформує нестабільну напругу акумулятора у строго фіксовані 5,0 В, необхідні для безперебійного функціонування логічних елементів, дисплея та високовольтного каскаду.

2.Мікроконтролер Atmel ATmega328P виступає ядром системи. Він координує роботу всіх периферійних пристроїв, реалізує програмні алгоритми фільтрації завад, здійснює математико-статистичний перерахунок імпульсів у потужність еквівалентної дози, забезпечує парсинг навігаційних даних та керує інтерфейсом користувача в реальному часі.

3.Газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера здійснює безперервну детекцію іонізуючих частинок. Кожен факт проходження частинки через сенсор викликає замикання в анодному колі, що трансформується формувачем у дискретний цифровий імпульс, який миттєво фіксується мікроконтролером через лінію зовнішніх переривань.

4.GPS-модуль NEO-7M здійснює безперервний зв'язок із глобальними супутниковими системами, розраховує поточні географічні координати

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(широту й довготу) і точний час. Навігаційні пакети за протоколом NMEA передаються на апаратний інтерфейс UART мікроконтролера для подальшої координатної прив'язки радіаційних замірів.

5.Цифровий датчик АНТ10 здійснює моніторинг метеорологічних умов навколишнього середовища, фіксуючи температуру та відносну вологість повітря. Оброблені датчиком дані передаються на мікроконтролер по послідовній двопровідній шині I2C.

6.Підсистема індикації та оповіщення: Для забезпечення інтерфейсу користувача та зворотного зв'язку в системі задіяно:

- знакосинтезуючий рідкокристалічний дисплей LCD 1602 (з модулем розширення I2C), що візуалізує актуальні показники радіаційного фону, координати місцевості та параметри мікроклімату;

- активний звуковий сигналізатор (зумер), який генерує звукові сигнали (кліки) при реєстрації частинок, а також вмикає безперервне тривожне оповіщення у разі перевищення встановленого безпечного порогу радіації.

Усі вищезазначені модулі інтегровані в межах єдиної узгодженої архітектури, що гарантує високу завадостійкість, експлуатаційну надійність та безперебійну обробку вимірювальної інформації під час моніторингу радіаційної ситуації на відкритій місцевості.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

ATmega328P – це високопродуктивний 8-бітний мікроконтролер архітектури AVR із низьким енергоспоживанням, розроблений на основі розширеної RISC-архітектури (Reduced Instruction Set Computer) компанією Atmel (наразі Microchip Technology). Представлено мікроконтролер ATmega328P на рис.4.1

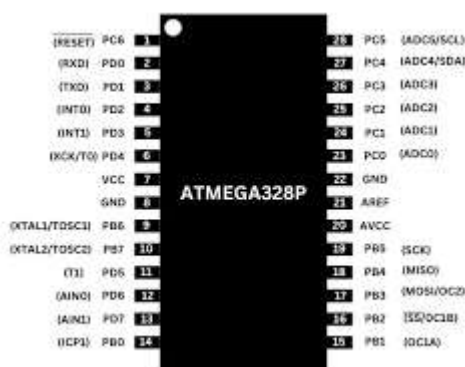


Рис.4.1. ATmega328P

Основні архітектурні та системні параметри перераховані нижче.

Мікроконтролер функціонує на базі 8-бітного AVR-ядра з максимальною тактовою частотою до 20 МГц. В архітектурі реалізовано 32 загальнофункціональні робочі регістри, безпосередньо з'єднані з арифметично-логічним пристроєм (АЛП), що дозволяє виконувати операції з двома регістрами за один такт.

Внутрішня Flash-пам'ять: 32 КБ (з підтримкою самопрограмування та виділеною областю Boot Loader об'ємом 0,5 КБ для завантажувача), що забезпечує зберігання керуючої програми приладу;

- Оперативна пам'ять (SRAM): 2 КБ для динамічного розміщення змінних, масивів даних від GPS-модуля та буферів обміну;

- Енергонезалежна пам'ять (EEPROM): 1 КБ для довготривалого зберігання налаштувань користувача, коефіцієнтів калібрування лічильника Гейгера та сумарної накопиченої дози радіації.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Периферійні модулі та інтерфейси зв'язку:

- Апаратний інтерфейс UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter): Використовується для організації послідовного зв'язку та отримання навігаційних даних від GPS-модуля NEO-7M;
- Модуль TWI / I²C (Two-Wire Interface): Задіяний для паралельного підключення та синхронного обміну даними з вимірювальним дисплеєм LCD 1602 і цифровим датчиком мікроклімату АНТ10;
- Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП): Вбудований 10-бітний послідовного наближення із вбудованим мультиплексором на 6 (або 8 у корпусі TQFP) аналогових каналів. Використовується для безперервного вимірювання напруги на літієвому акумуляторі;
- Таймери/лічильники: Два 8-бітні та один 16-бітний таймер із підтримкою режимів порівняння, що дозволяє генерувати високоточні ШІМ-сигнали для керування силовим ключем високовольтного перетворювача живлення трубки Гейгера.

Порти вводу-виводу (I/O): Мікроконтролер містить до 23 програмованих ліній цифрового вводу-виводу. 6 виводів мають апаратну підтримку генерації сигналів із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Порти підтримують програмну активацію внутрішніх підтягуючих резисторів (Pull-up), що спрощує схемотехніку підключення тактових кнопок комутації режимів.

Електричні та експлуатаційні характеристики:

- Діапазон робочої напруги: від 1,8 В до 5,5 В (для забезпечення максимальної частоти 20 МГц номінальна напруга живлення становить 5,0 В, що повністю узгоджується з виходом перетворювача J5019);
- Енергозбереження: Підтримка п'яти програмних режимів сну (Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby) та апаратного захисту від падіння напруги живлення (Brown-out Detection, BOD);
- Навантажувальна здатність: Максимальний вихідний струм одного піна становить 40 мА.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікроконтролер ATmega328P є промисловим стандартом для побудови завадостійких вбудованих систем автоматики та вимірювальної техніки. Повна програмна сумісність із середовищем розробки Arduino IDE, підтримка внутрішньосхемного програмування за інтерфейсом ISP (In-System Programming) та висока стабільність параметрів у промисловому температурному діапазоні роблять його оптимальним ядром для розроблюваного комп'ютеризованого приладу. [8].

4.2. Вибір газорозрядного лічильника

Для безпосередньої реєстрації параметрів іонізуючого випромінювання в розроблюваному приладі застосовано промисловий газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера типу СБМ-20 (на рис.4.2). Даний сенсор є класичним, конструктивно відпрацьованим та одним із найбільш затребуваних засобів детектування у сфері портативної радіометрії й дозиметрії.



Рис.4.2. Газорозрядний лічильник СБМ-20

Технічні характеристики:

- Джерело випромінювання - Cs;
- Чутливість до гамма-випромінювання:
- ПЕД - 4,0мкР-с-1;
- 67,5мкР-1±7,5мкР-1;

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Номінальна робоча напруга приладу лічильник Гейгера-Мюллера СБМ-20 - 400В;

– Напруга початку лічби - 260В-320В;

– Протяжність лічильної характеристики - не менше 100В;

– Нахил лічильної характеристики - не більше 0,1%/В;

– Власний фон приладу лічильник Гейгера-Мюллера СБМ-20 - не більше 1,0с-1;

– Максимально робоча ПЕД - 1400с-1, 40мкР-с-1, к. н. $\pm 20\%$;

– Максимально допустима ПЕД - не менше 360Р-год-1;

– Габарити - 11х11х108мм;

– Маса приладу лічильник Гейгера-Мюллера СБМ-20 - 10г.

Основними експлуатаційними та фізико-технічними перевагами лічильника СБМ-20 є:

– Селективність детектування: Конструкція датчика оптимізована для реєстрації гамма-випромінювання (gamma-квантів) та жорсткого бета-випромінювання (beta-частинок). Тонкостінний циліндричний катод, виконаний із чистих металевих сплавів (нержавіючої сталі), забезпечує ефективне проходження бета-частинок у робочий об'єм, одночасно відфільтровуючи низькоенергетичне фонове випромінювання.

– Оптимальні масогабаритні параметри: Мініатюрне трубчасте виконання та низька власна маса дозволяють раціонально скомпонувати внутрішній простір кишенькового пристрою, а також спрощують проєктування топології двошарової друкованої плати.

– Висока чутливість у широкому діапазоні: СБМ-20 має високу лінійну чутливість до радіаційного навантаження (нормативна чутливість за Цезієм-137 становить від 60 до 75 імп/мкЗв, що дозволяє з мінімальною статистичною похибкою фіксувати навіть незначні коливання природного радіаційного фону, оперативно виявляючи локальні радіаційні аномалії на місцевості.

– Конструктивна простість та схемотехнічна інтеграція: Датчик має двовиводне коаксіальне виконання (анодний та катодний контакти). Працюючи

					МММТ 480.018.018 - ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в режимі самотійного розряду при номінальній напрузі живлення 400 В (інтервал плато становить від 350 В до 475 В, лічильник генерує вихідні імпульси амплітудою до кількох вольт. Це значно спрощує структуру вхідного формувача сигналів для мікроконтролера ATmega328P.

– Економічна доцільність та стабільність характеристик: Дані газорозрядні трубки є масовими та повністю взаємозамінними елементами із передбачуваними метрологічними властивостями. Завдяки введенню галогенних гасителів розряду, СБМ-20 характеризується практично необмеженим терміном служби (понад 2×10^{10} імпульсів) та високою температурною стабільністю у діапазоні від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, що є критично важливим для польового екологічного моніторингу [9].

4.3. Вибір дисплея

Знакосинтезуючий рідкокристалічний модуль типу LCD 1602, доповнений адаптером послідовного інтерфейсу I2C, призначений для оперативної візуалізації буквено-цифрової інформації у вбудованих системах. Інформаційне поле пристрою має роздільну здатність 16 символів у двох рядках (16 x 2), що дозволяє зручно інтегрувати його у структуру вимірювальних комплексів різного призначення. Завдяки використанню послідовної двопровідної шини I2C, комутація модуля з керуючим мікроконтролером вимагає лише двох сигнальних ліній (даних та синхронізації), що забезпечує суттєву економію вільних портів вводу-виводу головного мікропроцесорного чипа.

Конструктивно модуль оснащений світлодіодним підсвічуванням синього кольору, роботою якого можна керувати в програмному або апаратному режимах залежно від поточних умов освітленості та вимог до енергозбереження. Наявність інтегрованого підстроювального резистора забезпечує можливість прецизійного регулювання рівня контрастності для досягнення оптимальної зчитуваності та чіткості відображення інформації.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Апаратна підтримка виведення стандартних символів латинського алфавіту робить даний дисплей універсальним і надійним інженерним рішенням для більшості прикладних задач відображення вимірювальних даних.



Рис 4.3. LCD1602 I2C

Технічні характеристики:

- Тип дисплея: Рідкокристалічний (LCD), символний;
- Розмір відображення: 2 рядки по 16 символів (16×2);
- Інтерфейс: I2C (з інтегрованим адаптером на базі контролера PCF8574)
- Напруга живлення: 5 В постійного струму;
- Споживаний струм: ~1 мА (без підсвічування), до 20 мА (з підсвічуванням);
- Контрастність: Регулюється потенціометром;
- Підсвічування: Синє з білими символами (LED), увімкнене за замовчуванням;
- Розміри модуля: приблизно 80 × 36 × 12 мм;
- Кількість використовуваних пінів I2C: лише 2 (SDA дані, SCL тактова лінія);
- Сумісність: Arduino, ESP8266, ESP32, STM32 та інші мікроконтролери;
- Адреса I2C (за замовчуванням): 0x27 або 0x3F (може варіюватись залежно від виробника);
- Температурний діапазон роботи: від 0°C до +50°C;
- Контролер дисплея: HD44780 або його сумісний аналог [10].

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому використовуються тільки два інформаційних канали контролера.

Однією з основних переваг LCD1602 I2C є простота використання та сумісність з популярними платами мікроконтролерів, такими як Arduino, ESP32 (з перетворювачем 3,3В->5В) та Raspberry Pi (з перетворювачем 3,3В->5В). Усього кількома рядками коду ви можете відображати на екрані повідомлення, числа та символи і навіть створювати власні символи за допомогою вбудованої пам'яті CGRAM. Модуль також підтримує прокручування та позиціонування курсору, що дозволяє створювати динамічні та інтерактивні меню.

В цілому, LCD1602 I2C – це надійний та зручний дисплейний модуль, який пропонує відмінне співвідношення ціни та якості. Його компактний розмір, низьке енергоспоживання та простота використання роблять його ідеальним вибором для широкого кола додатків та користувачів від початківців до професіоналів.

4.4. Вибір датчика температури та вологості

Інтегрований цифровий датчик типу АНТ10 від компанії ASAIR є прецизійним засобом вимірювання параметрів мікроклімату, що здійснює високоточну фіксацію температури та відносної вологості навколишнього середовища. Взаємодія з головним обчислювальним вузлом реалізована через послідовну двопровідну шину I2C. Кристал датчика розрахований на роботу в діапазоні живильної напруги від 1,8 до 3,3 В із рекомендованим номіналом 3,3 В. Для забезпечення стабільного живлення та завадостійкості безпосередньо на платі вимірювального модуля інтегровано лінійний стабілізатор напруги з низьким падінням типу ХС6206-3.3.

Додатковою схемотехнічною особливістю модуля є наявність двоканального двоспрямованого конвертера логічних рівнів, виконаного на базі двох польових транзисторів. Це апаратне рішення забезпечує безпечне та коректне узгодження рівнів сигналів між периферійною логікою 3,3 В та

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

п'ятивольтовою (5 В) шиною мікроконтролера АТmega328Р без ризику пошкодження портів. За замовчуванням для обміну даними сенсор використовує апаратну I2C-адресу 0x38. Проте конструкція друкованої плати передбачає спеціалізовану контактну перемичку, замикання якої дозволяє змінити адресу пристрою на 0x39. Це розширює функціональні можливості системи, дозволяючи за потреби підключати два ідентичні сенсори до однієї спільної шини без виникнення адресних конфліктів.

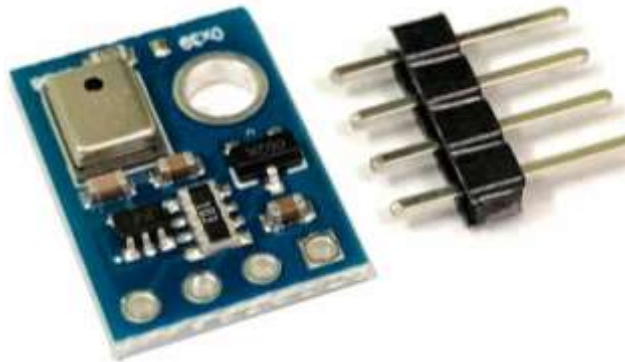


Рис.4.4. Датчик температури та вологості АНТ-10

Технічні характеристики:

- Напруга живлення, 2,0 ... 5,5;
- Діапазон вимірювання температури, °С -40 ... +85;
- Похибка вимірювання температури, °С 0,3;
- Роздільна здатність температури, °С 0,01;
- Діапазон вимірювання вологості, % 0 ... 100;
- Похибка вимірювання вологості, % 2;
- Роздільна здатність вологості, % 0,024.[11]

4.5. Вибір GPS датчика

Для безперервної фіксації просторово-часових параметрів та формування координатних треків у реальному часі в апаратну структуру приладу інтегровано автономний навігаційний приймач серії NEO-7М (рис.4.5) від компанії u-blox. Цей мікропроцесорний модуль є високоефективним рішенням для побудови мобільних систем екологічного моніторингу завдяки високій

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точності позиціонування, оптимізованому енергоспоживанню та спрощеній схемній інтеграції.



Рис.4.5. GPS датчик NEO-7M

Основні технічні та експлуатаційні параметри модуля:

1. Навігаційна архітектура: Модуль базується на високопродуктивному 56-канальному обчислювальному ядрі сьомого покоління від u-blox. Він забезпечує стабільне приймання та обробку сигналів від глобальної супутникової системи позиціонування GPS (L1 C/A код), а також сумісний із системою GLONASS і підтримує роботу із супутниковими системами диференційної корекції SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS), що дозволяє мінімізувати похибку визначення координат.

2. Інтерфейс комунікації: Обмін даними з керуючим мікроконтролером ATmega328P реалізовано через апаратний послідовний інтерфейс UART. Модуль підтримує гнучке налаштування швидкості передачі даних (за замовчуванням 9600 бод). Передача вимірювальної інформації здійснюється за допомогою стандартних текстових повідомлень міжнародного протоколу NMEA-0183 (пакети \$GPRMC, \$GPGGA, \$GPGLL тощо), які містять чисті дані про географічну широту, довготу, висоту над рівнем моря, швидкість руху та точний всесвітній координований час (UTC).

3. Метрологічні характеристики: Пристрій характеризується високою динамічною чутливістю (до -162 дБм у режимі стеження), що гарантує надійне утримання супутникових каналів навіть за умов щільної міської забудови або

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лісистій місцевості. Точність горизонтального позиціонування за умов прямої видимості небосхилу становить до 2,5 м.

4. Енергетичні параметри та режими запуску: Номінальна напруга живлення цифрової частини чипа становить 3,3 В, проте більшість готових модулів постачаються із вбудованим лінійним стабілізатором на 3,3 В, що дозволяє безпечно підключати його до п'ятивольтової (5 В) шини живлення від плати J5019. Середнє струмоспоживання в активному режимі пошуку та стеження становить близько 15–20 мА. Тимчасові характеристики ініціалізації системи становлять:

- «Холодний старт» (первинний пошук супутників та завантаження альманаху): до 30 с;
- «Гарячий старт» (відновлення зв'язку при короткочасному зникненні живлення за наявності збережених ефемерід): менше 1 с.

5. Конструктивні особливості: Модуль оснащений коаксіальним роз'ємом U.FL (IPEX) для підключення пасивної або активної керамічної антени, а також містить автономну батарею резервного живлення (Supercap) та мікросхему пам'яті EEPROM, які забезпечують енергонезалежне збереження навігаційних даних та налаштувань для реалізації швидкого «гарячого» перезапуску приладу [12].

4.6. Вибір акумулятора

Акумулятор Li-ion Samsung 18650, 3,7В, ємністю 4200 мАг. Ця акумуляторна батарея призначена для використання у ліхтариках, електронних сигаретах, портативних шуруповертах, дрелях, модах та інших пристроях.

Завдяки покращеному складу елементів такі АКБ позиціонують себе як акумулятори з високою енергетичною щільністю та високою реальною ємністю. Акумулятори без шкоди працюють із високими струмами.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.6. Акумулятор Li-ion Samsung 18650

Технічні характеристики:

- Розміри (довжина x діаметр): 65 x 18 мм;
- Місткість: 4200 мАг;
- Вихідна напруга: 2,5 (мінімальне);
- 3,7 (номінальне);
- 4,2 (максимальне);
- Захисна плата: ні;
- Високострумний: ні;
- Тип акумулятора: Li-ion;
- Максимальний струм розряду: 5,2А;
- Типорозмір: 18650. [13]

4.7. Вибір перетворювача напруги

Модуль заряду Li-Ion АКБ з DC/DC step-up перетворювачем J5019 (також відомий як модуль зарядного пристрою TP4056 з підвищувачем напруги) – це електронний пристрій, призначений для зарядки літій-іонних акумуляторних батарей (ЛАБ) та підвищення напруги від джерела живлення.



Рис.4.7. Модуль заряду Li-Ion АКБ з DC/DC step-up перетворювачем J5019

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики:

Контролер заряду:

- Вхідна напруга: DC 4.5V-5.5V;
- Вихідна напруга: DC 4.2V ;
- Струм заряду: до 1A (налаштовується шляхом заміни резистора на другій нозі MC, за замовчуванням 1A);
- Індикація процесу заряджання - червоний світлодіод;
- Індикація закінчення зарядки - зелений (синій) світлодіод.

Перетворювач напруги:

- Вхідна напруга: від 2V до 24V (увага модуль не оснащений контролером захисту Li-Ion акумулятора);
- Фіксована частота перетворення 1.2MHz ;
- Внутрішній 4A ключ;
- Налаштовується вихідна напруга від 4.2V до 28V, за допомогою підлаштування резистора на платі (є клеми для під'єднання зовнішнього резистора);
- ККД до 97%;
- Розмір модуля 34x24x5 мм. [14]

Модуль заряду Li-Ion АКБ з DC/DC step-up перетворювачем J5019 дозволяє ефективно заряджати та використовувати літій-іонні акумуляторні батареї в різних застосуваннях, де необхідне підвищення напруги для живлення електронних пристроїв.

4.8. Вибір кнопки

Моментальні кнопки це тип кнопок, які мають миттєве замикання при натисканні і повертаються у вихідний стан після відпускання. Вони активуються лише тоді, коли натиснуті.

Кнопка 6x6x5мм двоконтактна на 4 виводи, нормальний стан – розімкнута.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.8. Кнопка

Технічні характеристики:

- Діапазон температур: $-20^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$.
- Опір контактів: 30 мОм.
- Максимальна напруга: 250В (протягом 1 хвилини).
- Ліміт натисків: 10 000 [15].

4.9. Побудова принципово-електричної схеми

На основі розробленої структурної архітектури та обраної компонентної бази було спроектовано принципову електричну схему комп'ютеризованого приладу (рис. 4.9). Функціонально схема поділяється на підсистему живлення, високотехнологічний вимірювальний каскад, обчислювальне ядро та периферійні модулі інтерактивної взаємодії.

Організація та принцип взаємодії елементів схеми полягають у наступному:

1. Підсистема автономного живлення та контролю: Первинним джерелом енергії виступає літійовий акумулятор GB1. Його комутація з основними колами здійснюється за допомогою зведеного механічного вимикача, що обумовлено необхідністю одночасного розриву ліній заряду та розряду для коректної роботи вбудованої системи захисту. Керування енергоспоживанням та стабілізація напруги реалізовані на базі багатофункціональної мікросхеми

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищувального DC/DC-перетворювача DD4 (модуль J5019), яка суміщає функції вузла заряджання та захисту. Перед інтеграцією основних логічних компонентів вихідна напруга перетворювача апаратно налаштовується за допомогою підстроювального резистора на фіксований рівень +5,0 В. Автоматичний моніторинг залишкової ємності акумулятора виконується шляхом зчитування поточної напруги батареї GB1 аналоговим входом A0 мікроконтролера DD2.

2.Високовольтний імпульсний перетворювач: Для забезпечення стабільної роботи газорозрядного лічильника Гейгера-Мюллера необхідно сформувати напругу порядку 400 В. Цей вузол реалізовано за топологією бустерного (підвищувального) імпульсного перетворювача, що складається з керуючого транзисторного ключа VT2, накопичувального дроселя L1, швидкісного високовольтного діода VD1 та згладжуючого фільтрувального конденсатора C2. Комутація транзистора VT2 забезпечується сигналом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), який генерується апаратним таймером мікроконтролера DD2 на цифровому виводі 9.

3.Методика налаштування високої напруги: Рівень напруги на аноді лічильника є критичним для забезпечення стабільного рахунку частинок (робочої області «плато» Гейгера) і залежить від двох факторів:

- Програмного: коефіцієнта заповнення (шпаруватості) ШІМ-сигналу, який задається у програмному коді константою `#define DUTY 550` (збільшення тривалості відкритого стану ключа пропорційно підвищує вихідну напругу);
- Апаратного: номіналу навантажувального високоомного резистора R4 (оптимальне значення лежить у межах від 330 кОм до 390 кОм і підбирається експериментально під час інженерного налагодження плати).

Перед безпосереднім підключенням газорозрядного датчика обов'язково виконується індивідуальна інструментальна перевірка високої напруги: для лічильників типу СТС-5 номінальний рівень становить 390 В, для СБМ-20 – 400 В, відповідно до їхніх паспортних метрологічних характеристик.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Канал реєстрації іонізуючих частинок: Формувач вимірювальних імпульсів зібраний на транзисторі VT1. У момент проходження іонізуючої частинки через газове середовище датчика виникає короткочасний струм розряду, який відкриває транзистор VT\$. Сформований при цьому дискретний логічний перепад (негативний імпульс) надходить на цифровий вивід 2 мікроконтролера DD2, що налаштований на обробку апаратних зовнішніх переривань (INT0). Це гарантує миттєву реєстрацію кожної події без втрати процесорного часу.

5. Інтерфейсна периферія та індикація:

- Знакосинтезуючий рідкокристалічний дисплей LCD1602 та цифровий мікрокліматичний сенсор АНТ10 підключені до мікроконтролера паралельно за допомогою послідовної двопровідної системної шини I2C (виводи SDA/SCL);
- Звукове супроводження зафіксованих імпульсів та аварійне оповіщення при перевищенні порогових рівнів радіації здійснюються шляхом подачі керуючого сигналу з цифрового виводу 3 мікроконтролера DD2 на активний п'єзоелектричний випромінювач (зумер).

6. Для забезпечення географічної прив'язки результатів моніторингу в реальному часі до схеми приладу інтегровано навігаційний модуль NEO-7M. Обмін даними з головним мікроконтролером DD1 реалізовано через апаратний інтерфейс UART. Вивід передачі даних модуля (TXD) підключений до цифрового піна D0 (RXD) мікроконтролера DD1 для прийому навігаційних пакетів, а вивід RXD модуля з'єднаний із піном D1 (TXD) мікроконтролера DD1 для можливості програмного конфігурування супутникового чипа.

Модуль безперервно транслює в порт D0 текстові рядки стандарту NMEA-0183 на швидкості 9600 бод із частотою 1 Гц. Програма мікроконтролера здійснює синтаксичний аналіз цих пакетів, виокремлюючи поточні географічні координати (широту й довготу), час UTC та кількість активних супутників. Оскільки модуль працює від напруги 3,3 В, його сигнальні лінії підключені через схему узгодження рівнів для повної сумісності з 5-вольтовою логікою пінів D0 та D1 мікроконтролера DD1. Це автоматизує

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процес картографування, пов'язуючи координати місцевості з вимірними показниками радіації.

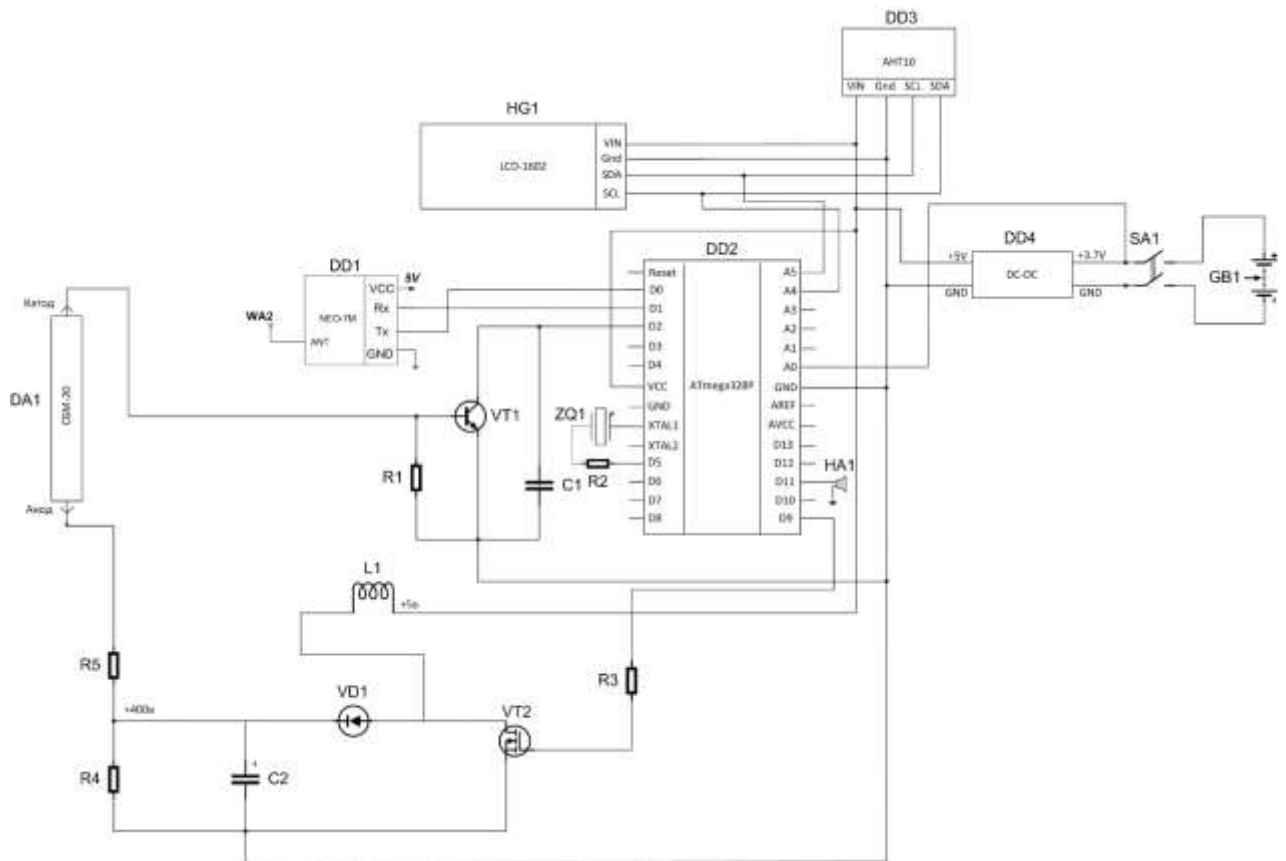


Рис. 4.9. Схема гомп'ютеризованого приладу

Перелік елементів:

- 1.DD1 – GPS датчик NEO-7M;
- 2.DD2 – Мікроконтролер ATmega328P;
- 3.DD3 – Датчик температури та вологості АНТ-10;
- 4.DD4 –Перетворювач напруги J5019;
- 5.DA1 – газорозрядний лічильник СБМ-20;
- 6.HG1 – дисплей LCD 1602 Blue I2C;
- 7.HA1 – активний зумер;
- 8.SA1 – кнопка 6x6x5 4-pin;
- 9.VT1 – C945;
- 10.VT2 – IRF840;
- 11.VD1 – HER106;
- 12.R1 – 10 кОм;

- 13.R2 – 100 Ом;
- 14.R3 – 22 Ом;
- 15.C1 – 470 пФ;
- 16.C2 – 4,7 мкФ;
- 17.ZQ1 – кварцевий резонатор 16 МГц;
- 18.L1 – 220 мкГн;
- 19.GB1 Акумулятор Li-ion Samsung 18650.

Завдяки оптимізації зв'язків між вузлами, представлена принципова схема забезпечує високу завадостійкість вимірювальних каналів та стабільну роботу всього мікропроцесорного комплексу під час проведення польового моніторингу.

4.10. Розрахунок похибок визначення радіаційного фону

Проведено десять повторних радіаційних вимірювань лічильника СБМ-20, діапазон мкР/год виміру згідно технічних характеристик від 0 - 999 мкР/год.

Було отримано наступну вибірку:

$$N = (18; 20; 21; 19; 15; 18; 21; 22; 18; 19) \text{ мкР/год}$$

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне $\bar{N}$ за (4.1):

$$\bar{N} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} N_i \cong 19,1 \quad (4.1)$$

1) похибки повторних вимірювань ΔN_i та ΔN_i^2 (4.2):

$$\Delta N = |\bar{N} - N_i| \text{ та } \Delta N_i^2 = (\bar{N} - N_i)^2, \quad (4.2)$$

де $i = 1, 2 \dots 10$;

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.1.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1.

№ з. п.	N, мкР/год	ΔN_i , мкР/год	ΔN_i^2 , мкР/год ²
1	18	1,1	0,20703
2	20	0,9	0,18063
3	21	1,9	0,19803
4	19	0,1	0,18923
5	15	4,1	0,19803
6	18	1,1	0,19803
7	21	1,9	0,19803
8	22	2,9	0,20703
9	18	1,1	0,20703
10	19	0,1	0,19803
сер	19,1	1,52	0,022012

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (4.1). За даними табл. 4.2 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{N} - N_i)^2} \approx 0,64 \text{ мкР/год}$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B N = 2,26 * 0,64 = 1,45 \text{ мкР/год}$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.1.)

1) похибку приладу за (4.3):

$$\Delta_{\text{пр}} N = \frac{1}{300} t_p k T_{\text{гр}} \quad (4.3)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.2 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $N_{\text{гр}} = 9,99$ мкР/год, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} N = \frac{1}{300} 2,0 * 9,99 * 1 \approx 0,06 \text{ мкР/год};$$

2) похибку заокруглення за (4.4):

$$\Delta N_3 = P \frac{h}{2}. \quad (4.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду вимірюваної величини – 0,05. Отже:

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta N_3 = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,02 \text{ мкР/год};$$

3) загальну абсолютну похибку (4.5):

$$\Delta N = \sqrt{(\Delta_B N)^2 + (\Delta_{\Pi} N)^2 + (\Delta_3 N)^2} = \sqrt{1,45^2 + 0,06^2 + 0,02^2} \approx \quad (4.5)$$

$$\approx 1,45 \text{ мкР/год.}$$

4) Відносну похибку за формулою:

$$\delta L = \frac{\Delta N}{\bar{N}} \times 100\% = \frac{1,45}{19,1} \times 100\% \approx 7,6\%$$

Отже, отримаємо абсолютну похибку вимірювання 1,45 мкР/год, відносну похибку вимірювання відсотках 7,6%.

Отримані метрологічні показники повністю вкладаються в межі допустимих норм для цифрових засобів радіаційного моніторингу (згідно з ДСТУ, допустима похибка для приладів такого класу може становити до ± 20 –25%). Це підтверджує високу точність, технічну надійність та метрологічну спроможність спроектованого комп'ютеризованого пристрою при роботі в умовах природного радіаційного фону.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

Для забезпечення чіткої послідовності збору, обробки та візуалізації вимірювальних даних було розроблено алгоритм роботи головного мікропроцесорного модуля. Графічне представлення послідовності виконання операцій у вигляді блок-схеми наведено на рис.5.1.

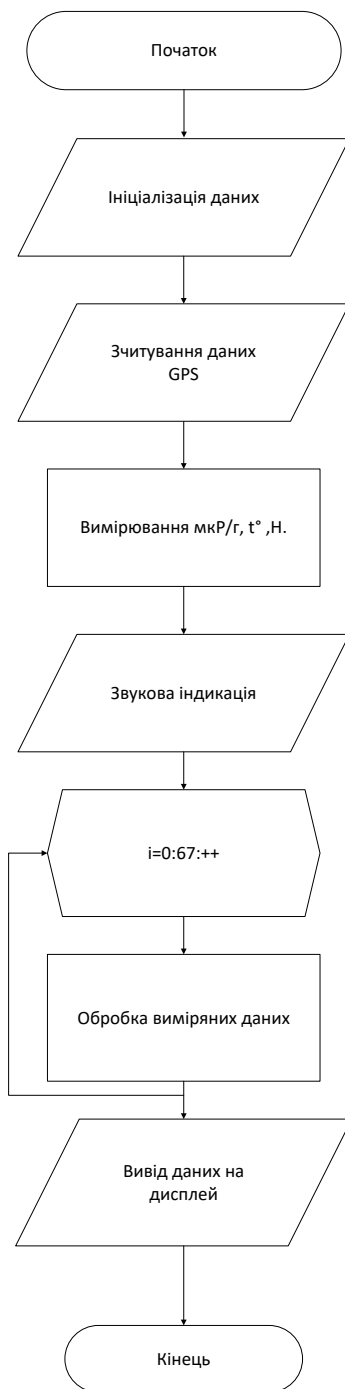


Рис.5.1. Алгоритм роботи прилада

Робота алгоритму складається з таких послідовних етапів:

1.Початок та ініціалізація системи: При подачі напруги живлення від модуля J5019 відбувається запуск мікроконтролера ATmega328P. На етапі «Ініціалізація даних» виконується первинне налаштування внутрішніх регістрів, конфігурування портів вводу-виводу, виділення оперативної пам'яті під змінні та буфери даних, а також запуск системних інтерфейсів UART та I2C.

2.Зчитування координатної інформації: Наступним кроком є «Зчитування даних GPS». Мікроконтролер звертається до апаратного порту UART (піни D0/D1) та приймає інформаційні пакети стандарту NMEA-0183 від супутникового модуля NEO-7M для фіксації поточних географічних координат і точного часу.

3.Збір вимірювальних даних: У блоці «Вимірювання мкР/г, °С, Н» програма здійснює паралельне опитування вимірювальних датчиків. По шині I2C зчитуються цифрові значення температури °С та відносної вологості (Н) з сенсора АНТ10, а через вхід зовнішнього переривання фіксується кількість імпульсів від газорозрядного лічильника СБМ-20.

4.Звуковий супровід та сигналізація: Етап «Звукова індикація» відповідає за генерацію коротких тональних сигналів (кліків) зумера при детектуванні кожної іонізуючої частинки, а також за активацію безперервного тривожного сповіщення у разі програмного фіксування перевищення встановленого безпечного порогу радіації.

5.Цикл інтегрування та обробки вимірів (i=0:67:++): Цей блок є ключовим для метрологічного перерахунку радіаційного фону. Цикл виконується рівно 68 разів, що жорстко синхронізовано з часом експозиції лічильника СБМ-20. Оскільки для даного типу датчика номінальна швидкість заліку імпульсів на нормальному фоні розраховується строго за 60 секунд (1 хвилину), цей покроковий цикл забезпечує точний щосекундний моніторинг та накопичення даних. У підциклі «Обробка вимірюваних даних» мікроконтролер сумує отримані імпульси, фільтрує випадкові завади та перераховує загальну суму у потужність еквівалентної дози.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.Візуалізація результатів: Після завершення циклу обробки та формування фінальних значень виконується крок «Вивід даних на дисплей». Результати вимірювання радіаційного фону (в мкР/год), географічні координати, температура і вологість транслуються по шині I2C на символний рідкокристалічний індикатор LCD 1602.

7.Завершення роботи: Блок «Кінець» описує переведення системи у пасивний стан. Оскільки прилад спроектовано для безперервного моніторингу в реальному часі, цей етап є умовним і настає лише при апаратному розмиканні кола живлення за допомогою механічного вимикача.

5.2. Розробка програми

Програмне забезпечення для головного мікроконтролера приладу (ATmega328P) розроблено у спеціалізованому інтегрованому середовищі Arduino IDE (Integrated Development Environment). Це кросплатформове середовище підтримує повний цикл створення програмного продукту: від написання вихідного коду та підключення зовнішніх бібліотек до компіляції і прямого завантаження бінарного файлу в пам'ять мікроконтролера через вбудований завантажувач (bootloader).

Ядром для написання коду є високорівнева мова програмування C++ (з використанням стандартного каркаса Arduino Wiring). Вибір мови C++ обумовлений наступними факторами:

- Компіляція в чистий машинні коди: Забезпечує максимальну швидкодію приладу та раціональне використання обмежених ресурсів оперативної (SRAM) і флеш-пам'яті мікроконтролера.

- Прямий доступ до апаратної периферії: Мова дозволяє гнучко працювати з регістрами мікроконтролера, апаратними таймерами та зовнішніми перериваннями, що критично важливо для точної реєстрації швидких імпульсів з лічильника Гейгера-Мюллера СБМ-20.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з логічною структурою алгоритму, вихідний код програми розділено на чотири функціональні блоки. Розглянемо кожен із них у форматі «код та технічний опис».

Блок 1. Підключення бібліотек, директиви препроцесора та глобальні змінні

Цей блок розташований на самому початку програми. Він відповідає за конфігурацію зв'язків з периферією та виділення пам'яті.

```
#include "GyverPWM.h"
#define _LCD_TYPE 1          // Конфігурація для роботи з I2C дисплеями
#include <LCD_1602_RUS_ALL.h>
LCD_1602_RUS lcd(0x27, 16, 2); // Ініціалізація дисплея за адресою 0x27

#include <Adafruit_AHT10.h>
Adafruit_AHT10 aht;          // Об'єкт для роботи з датчиком мікроклімату
AHT10

#include <TinyGPS++.h>         // Бібліотека для парсингу NMEA-пакетів з
GPS
TinyGPSPlus gps;              // Об'єкт супутникової навігації GPS

char myStr[6];                // Буфер для форматування текстових виводів
sprintf
#define DUTY 550               // Шпаруватість ШІМ для генерації високої
напруги ~400В

volatile int counter = 0;      // Лічильник зафіксованих імпульсів від
СБМ-20
int doza = 0;                  // Обчислене значення потужності еквівалентної
дози (мкР/год)
uint32_t sec = 0;              // Опорна мітка часу для залікової хвилини
uint32_t ch_sec = 0;           // Поточна мітка часу в секундах
volatile boolean event = LOW;  // Прапорець фіксації прольоту іонізуючої
частинки
```

За допомогою директив `#include` у програму інтегруються зовнішні драйвери: GyverPWM (для генерації стабільної ВЧ-напруги накачки), LCD_1602_RUS_ALL (для виведення кирилиці та символів по шині I^2C), Adafruit_AHT10 (для зчитування мікроклімату) та TinyGPS++ (обробка координат). Директива `#define DUTY 550` фіксує шпаруватість для високовольтного каскаду. Змінна counter оголошена із модифікатором volatile, що вказує компілятору заборонити її оптимізацію, оскільки вона змінюється всередині асинхронного переривання.

Блок 2. Функція початкового налаштування апаратури (void setup())

Виконується одноразово під час подачі живлення або при скиданні (Reset) системи.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void setup() {
    Serial.begin(9600);           // Ініціалізація UART на швидкості 9600 бод
    pinMode(A0, INPUT);          // Вхід для контролю заряду АКБ

    lcd.init();                  // Апаратна ініціалізація LCD
    lcd.backlight();             // Увімкнення підсвічування дисплея

    aht.begin();                 // Запуск сенсора АНТ10 по шині I2C
    delay(500);

    pinMode(9, OUTPUT);          // Запуск апаратного ШІМ 16 кГц на піні D9
    PWM_16KHZ_D9(DUTY);

    pinMode(3, OUTPUT);          // Пін активного зумера
    pinMode(2, INPUT_PULLUP);    // Вхід катода лічильника СБМ-20 з підтяжкою
    attachInterrupt(0, btnIsr, FALLING); // Прив'язка переривання до піна D2

    sec = millis() / 1000ul;     // Старт відліку часу
}

```

Блок конфігурує режими роботи цифрових та аналогових виводів. Функція `Serial.begin(9600)` відкриває канал зв'язку з GPS-модулем. Рядок `PWM_16KHZ_D9(DUTY)` запускає високовольтну накачку на частоті 16 кГц, що виводить лічильник СБМ-20 на робочу напругу 400 В . Функція `attachInterrupt()` пов'язує фізичний імпульс пробією на піні D2 (апаратний вектор INT0) із функцією обробки `btnIsr` по спаду сигналу (FALLING).

Блок 3. Обробник апаратного переривання (void btnIsr())

Цей блок працює поза основним циклом програми, реагуючи на фізичні події в реальному часі.

```

void btnIsr() {
    counter++;                    // Інкремент загальної кількості зареєстрованих
    event = HIGH;                // Встановлення прапорця події
}

```

Це критично важливий блок для дозиметрії. Коли іонізуюча частинка пролітає крізь газ лічильника СБМ-20, на аноді виникає завадовий імпульс струму, який через транзистор формує логічний нуль на піні D2. Мікроконтролер миттєво призупиняє виконання основної програми, збільшує лічильник `counter` на одиницю та піднімає прапорець `event`, після чого повертається до основних обчислень. Це гарантує 100% залік частинок.

Блок 4. Головний операційний цикл (void loop())

Виконується циклічно та безперервно протягом усього часу роботи пристрою.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void loop() {
  // 1. Постійне фонове читання GPS
  while (Serial.available() > 0) {
    gps.encode(Serial.read());
  }
  // 2. Миттєва реакція на частинку (Звук та Мікроклімат)
  if (event) {
    event = LOW;
    digitalWrite(3, 1);          // Увімкнути зумер
    sensors_event_t humidity, temp;
    aht.getEvent(&humidity, &temp); // Зчитування АНТ10
    sprintf(myStr, "%+03d", int(temp.temperature));
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("T="); lcd.print(myStr); lcd.write(223); lcd.print("C "); //
Вивід Т
    sprintf(myStr, "%d", int(humidity.relative_humidity));
    lcd.print("Вл="); lcd.print(myStr); lcd.print("% "); //
Вивід Вологості
    digitalWrite(3, 0);          // Вимкнути зумер
  }
  // 3. Метрологічний підрахунок дози один раз на 60 секунд
  ch_sec = millis() / 1000ul;
  if ((ch_sec - sec) > 59) {
    doza = round(counter * FON_NORMA / NORMA); // Розрахунок ПЕД за
формулою
    counter = 0;
    sec = ch_sec;
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("R="); lcd.print(doza); lcd.print(" ");
    if (gps.location.isValid()) { // Перевірка валідності супутників
      lcd.print("L:");
      lcd.print(gps.location.lat(), 2); // Вивід широти
      lcd.print(" ");
      lcd.print(gps.location.lng(), 2); // Вивід довготи
    } else {
      lcd.print("No GPS");
    }
    // 4. Захист акумулятора від глибокого розряду
    voltage = (float)(analogRead(0) * 5.0) / 1024.0;
    if (voltage < 3.2) {
      // Блокування системи та вивід попередження "АКБ розрядився !"
      while(1);
    }
  }
}

```

Основний цикл виконує три завдання в квазіпаралельному режимі. По-перше, він безперервно вичитує UART-буфер для оновлення координат GPS. По-друге, за наявності прапорця event він миттєво видає клацання у динамік і оновлює показники клімату у верхньому рядку дисплея. По-третє, кожні 60 секунд (інтервал експозиції) спрацьовує таймерний блок, який обчислює потужність еквівалентної дози за формулою відносно еталона СБМ-20, оновлює нижній рядок екрана (виводить радіацію та координати з точністю до 2 знаків після коми для економії місця) та перевіряє стан батареї через аналоговий порт А0, захищаючи літієвий елемент від критичного перерозряду.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1 Розробка друкованої плати

Трасування та розробка топології двошарової друкованої плати (ДП) комп'ютеризованого пристрою радіаційного та мікрокліматичного моніторингу виконано у спеціалізованому середовищі автоматизованого проєктування EasyEDA. Дана хмароорієнтована платформа обрана завдяки високій точності позиціонування елементів, наявності інтегрованої системи перевірки проектних вимог (DRC — Design Rule Check) та великій базі уніфікованих посадкових місць (footprints) для промислових електронних компонентів.

Проєктна робота в середовищі EasyEDA охоплювала повний цикл конструкторської підготовки, включаючи перенесення принципової електричної схеми, безпосереднє компонування елементної бази на площині та ручне трасування струмопровідних доріжок. Окрему увагу було приділено створенню індивідуальних посадкових місць для специфічних вузлів, відсутніх у стандартній бібліотеці, зокрема для кріпильних затискачів газорозрядного лічильника СБМ-20. Результати тривимірного моделювання та пошарової топології розробленої друкованої плати представлено на рисунках 6.1–6.3.

Геометричні розміри та загальна площа друкованої плати визначалися габаритними параметрами основних конструктивних елементів, інтегрованих у систему:

- Обчислювальне ядро (модуль мікроконтролера ATmega328P): 44x18 мм;
- Газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера СБМ-20: 11 x11x108 мм;
- Алфавітно-цифровий індикатор LCD1602 з інтерфейсним адаптером: 80 x36 мм;
- Цифровий сенсор температури та вологості АНТ10:15,5x11 мм;
- Автономне джерело живлення (Li-ion акумулятор типу 18650): 65x18 мм;
- Імпульсний підвищувальний перетворювач напруги J5019: 34x24x5 мм;

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

– Тактові кнопки керування: 6х6х5 мм.

Під час компонування друкованого вузла враховувалися вимоги ергономіки, взаємного теплового та електромагнітного впливу елементів, а також необхідні технологічні зазори (робоча зона під пайку та кріплення плати в корпусі). З урахуванням довжини трубки СБМ-20 (108 мм) та габаритів індикатора LCD1602, фінальні оптимізовані розміри друкованої плати склали 136х90 мм. Розрахована геометрія забезпечує компактність приладу в цілому при збереженні високої завадостійкості вимірювальних каналів та зручності його практичної експлуатації під час польового екологічного моніторингу.

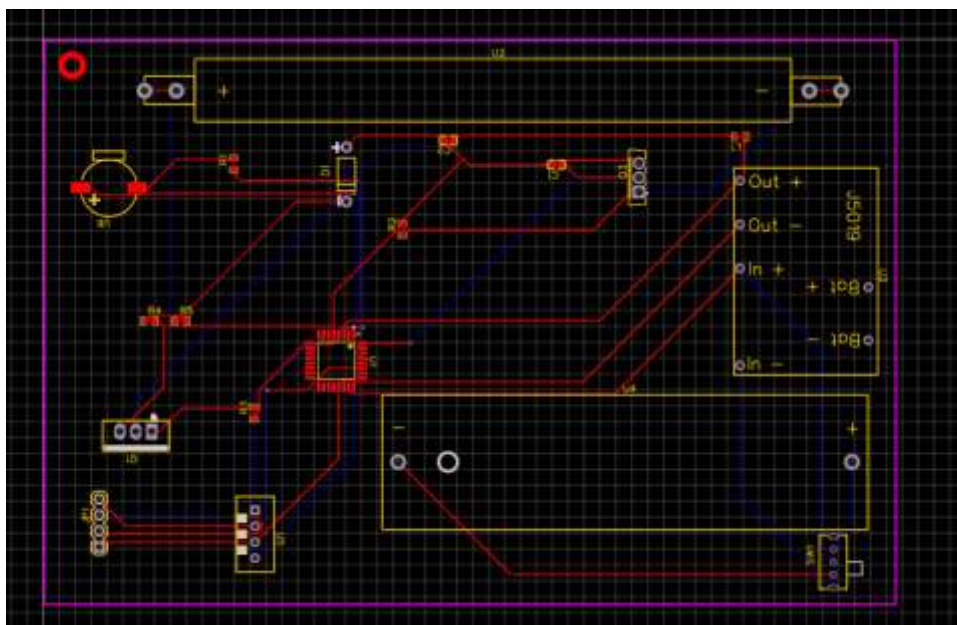
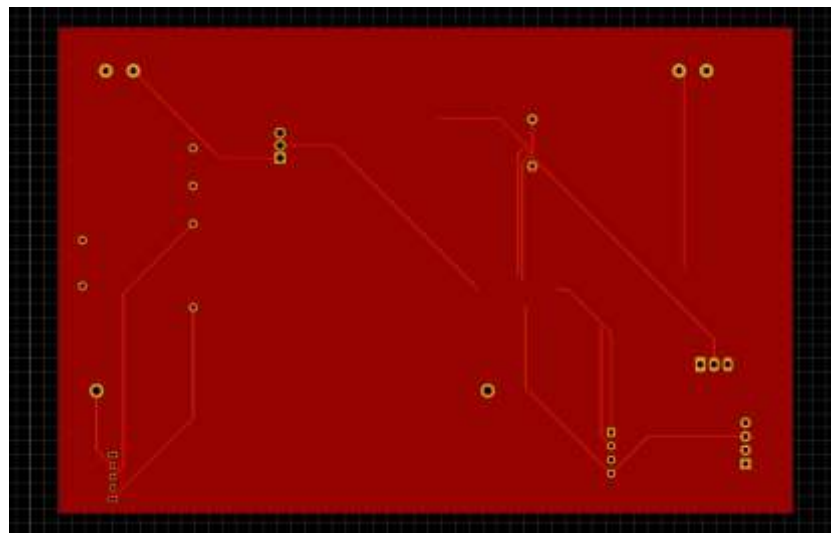
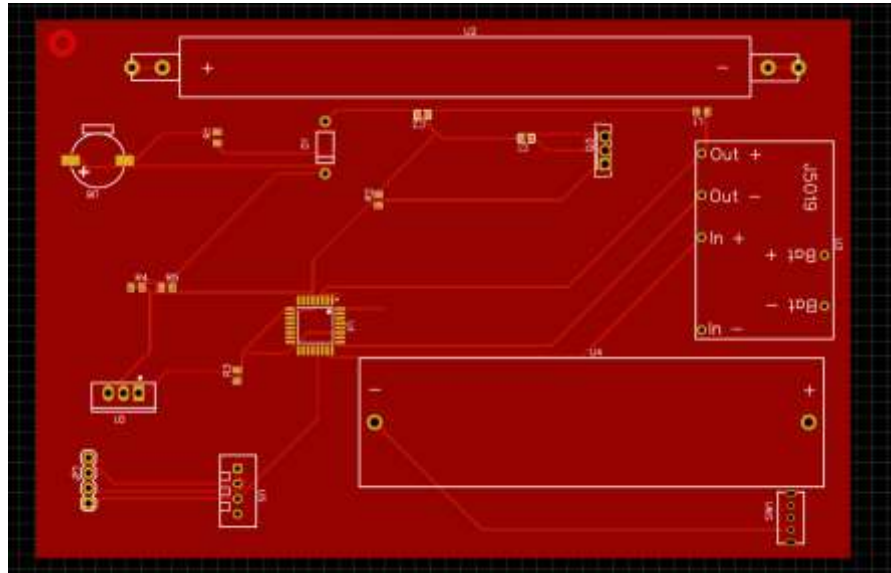


Рис.6.1. Двошарова друкована плата

Дозиметр виконаний в плоскому прямокутному пластмасовому корпусі з заокругленими кутами.



Конструкція корпусу спроектованого комп'ютеризованого пристрою розроблена за блочно-модульним принципом і забезпечує надійний захист внутрішніх електронних компонентів від механічних пошкоджень, пилу та бризок, а також задовольняє вимогам ергономіки та зручності проведення польового моніторингу. Корпус виготовлено з ударостійкого аморфного матеріалу (ABS-пластику) та конструктивно розділено на два основні елементи: верхню та нижню захисні кришки.

Компонування та взаємодія конструктивних елементів корпусу
полягають у наступному:

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.Елементи верхньої панелі приладу: У центральній зоні верхньої кришки передбачено прямокутне технологічне вікно під панель індикації – рідкокристалічний дисплей LCD1602. Симетрично по обидва боки від РК-індикатора інтегровано дві тактові кнопки керування режимами роботи пристрою, які мають відповідне стійке маркування (позначення функціонального призначення). У верхній частині панелі виконано перфоровану зону для безперешкодного проходження звукових хвиль від акустичного сповіщувача (зумера).

2.Особливості конструкції нижньої панелі: Нижня кришка корпусу містить спеціалізований ізольований відсік для автономного джерела живлення (Li-ion акумулятора типу 18650), на дно якого нанесені рельєфні позначки полярності для запобігання помилкам підключення. Також у нижній кришці безпосередньо під геометричним центром розміщення газорозрядної трубки СБМ-20 виконано профільне вимірювальне вікно, призначене для безперешкодного проходження та фіксації м'якого потоку жорстких бета-частинок. Відсік живлення та радіометричне вікно закриваються знімними захисними фальш-панелями, фіксація яких реалізована за рахунок пружних властивостей та зачіпних замків самого матеріалу корпусу. На зовнішній площині нижньої кришки розташована інформаційна табличка (шильдик) із базовими технічними та експлуатаційними даними приладу.

3.Внутрішнє компонування та механічне з'єднання: Усередині сформованого об'єму корпусу горизонтально позиціонується розроблена друкована плата розміром 136 x90 мм з усією змонтованою елементною базою. Трасування та архітектура плати виконані так, що дисплей і органи керування суміщаються з відповідними отворами верхньої панелі. Фіксація друкованого вузла до стійок верхньої кришки здійснюється за допомогою нарізних гвинтів. П'єзоелектричний акустичний перетворювач закріплений безпосередньо на внутрішній стороні верхньої кришки поблизу перфорації та з'єднується з контактними майданчиками друкованої плати за допомогою надійних пружинних контактів, що спрощує процес збирання.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Остаточне механічне з'єднання верхньої та нижньої кришок корпусу між собою виконується за допомогою системи внутрішніх пазових замків-защіпок та двох фіксуючих гвинтів у торцевій частині, які одночасно забезпечують жорстке притискання та стабільний електричний контакт клем підключення системи автономного живлення. Розроблене конструктивне виконання гарантує ремонтпридатність пристрою та зручність його утримання в одній руці оператора під час проведення екологічних досліджень.

6.2. Розрахунок надійності системи

Надійність системи – це властивість системи функціонувати без відмов або з відмовами, що не перешкоджають її правильному функціонуванню. Це показник, який відображає здатність системи виконувати свої призначені функції протягом певного періоду часу в заданих умовах.

Надійність системи вимірюється за допомогою різних параметрів, таких як:

- Середній час безвідмовної роботи (MTBF, Mean Time Between Failures) - це середня тривалість роботи системи до виникнення відмови. Він вказує на середню тривалість, протягом якої система працює без відмови.
- Імовірність відмови (PF, Probability of Failure) - це ймовірність того, що система вийде з ладу протягом певного періоду часу. Чим нижча ймовірність відмови, тим більш надійна система.
- Імовірність відновлення після відмови (PR, Probability of Recovery) - це ймовірність успішного відновлення системи після виникнення відмови. Вона вказує на здатність системи відновитися до працездатного стану після відмови.
- Інтервали технічного обслуговування (MTTR, Mean Time To Repair) - це середній час, необхідний для відновлення системи після виникнення відмови. Він вказує на час, який потрібно для виправлення відмови та відновлення системи до робочого стану.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальною метою досягнення надійності системи є забезпечення безперебійної та безвідмовної роботи системи протягом тривалого періоду часу. Для досягнення високої надійності системи можуть використовуватися різні методи, такі як подвоєння складових, використання резервних блоків, тестування та моніторинг стану системи.

Розрахунок надійності спроектованого виробу проводиться в відповідності з електричною принциповою схемою виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу спроектованого виробу;
 $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень. Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.1.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у [16] з врахуванням вихідних даних для проєктованого виробу. По формулі (6.2) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 13 таблиці 6.2):

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.3)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год) [17].

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,981095	0,96219	0,943285	0,92438	0,85433	0,67462	0,5352	0,46143

На графіку, приведеному на рис 6.3 приведена залежність надійності $P(t)$.

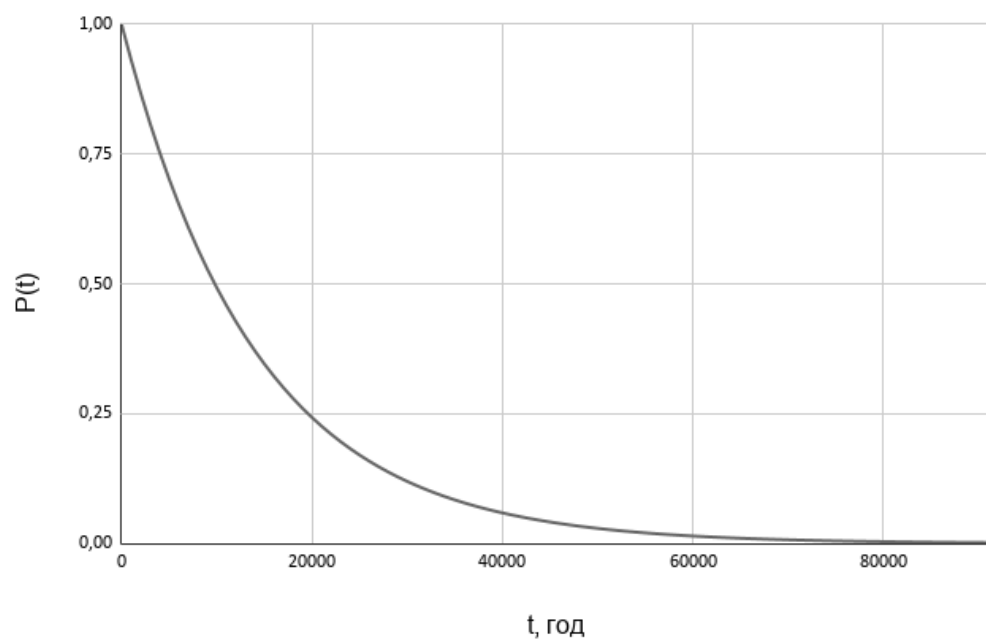


Рис.6.4. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.4)$$

Підставляючи дані в формулу (6.4) одержимо

$$T = (70,84 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14\,116 \text{ годин.}$$

Таблиця 6.2. Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	АТmega328Р	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
2	Перетворювач напруги				a_1	a_2	a_4	a_6	
	U5019	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
3	Датчики				a_1	a_2	a_4	a_6	
	АНТ-10	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	GPS NEO-7M	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
4	Резистори	5	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_6$	2,1	0,8		1	0,0672
5	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	HER106	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
6	Транзистори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	C945	1	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_6$	2,1	0,7		1	0,588
	IRF840	1	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_6$	2,1	0,7		1	0,588
7	Дисплей LCD 1602 з I2C	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
8	Кнопка	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
9	Конденсатори	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_6$	2,1	0,8		1	0,02688
10	Бuzzer	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
11	Пайки	90	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,0189
12	Акумулятор 3.7В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_6$	2,1			1	63
13	Разом								70,84

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1.Охорона праці

Процес проектування, розробки програмного забезпечення та монтажу портативного приладу радіаційного й мікрокліматичного моніторингу супроводжувався впливом низки факторів, що вимагали дотримання правил техніки безпеки. Згідно із Законом України «Про охорону праці», під час виконання робіт було реалізовано комплекс організаційних та інженерних заходів для забезпечення безпечних умов праці.

Безпека при роботі з комп'ютером: Значна частина часу була присвячена розробці топології друкованої плати у програмі EasyEDA та написанню керуючого коду в середовищі Arduino IDE. Для зниження зорової втоми та статичного навантаження робоче місце було організовано згідно з санітарними нормами: забезпечено належне комбіноване освітлення та впроваджено регламентовані перерви для відпочинку.

Техніка безпеки під час монтажу та паяння: Етап збирання плати (паяння мікроконтролера, GPS-модуля NEO-7M, датчика клімату та дисплея) пов'язаний із термічними та хімічними небезпеками. Роботи виконувалися справним паяльним обладнанням із заземленням, а видалення шкідливих парів флюсу та припою забезпечувалося за допомогою вентиляції. Для моніторингу умов у лабораторії використовувався вбудований у прилад датчик АНТ10, який підтвердив оптимальні параметри температури та вологості повітря.

Електробезпека та захист від високої напруги: Особливістю схеми пристрою є наявність високовольтного каскаду, який генерує напругу для живлення лічильника Гейгера СБМ-20. Для захисту від ураження струмом усі високовольтні елементи та струмопровідні доріжки повністю приховані всередині закритого ABS-корпусу, що унеможливорює випадковий дотик до них під час експлуатації.

Програмний захист джерела живлення: Для безпечної експлуатації Li-ion акумулятора в коді програми реалізовано постійний контроль його заряду. При

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

критичному розряді мікроконтролер автоматично блокує роботу системи і виводить на LCD-дисплей попередження про розряд, що повністю виключає ризик пошкодження або займання батареї.

Впровадження цих рішень дозволило успішно завершити розробку приладу, зберігши високі метрологічні показники точності та гарантуючи повну безпеку для здоров'я розробника та оператора [18].

7.2. Розробка заходів з охорони праці

Для забезпечення безпеки під час практичного застосування розробленого комп'ютеризованого приладу та проведення радіаційного й мікрокліматичного моніторингу місцевості було сформовано комплекс інженерно-технічних, організаційних та профілактичних заходів. Головною метою цих заходів є мінімізація радіаційного навантаження на оператора при виявленні локальних джерел випромінювання та гарантування безпечної експлуатації самого пристрою.

Інструктаж та допуск до роботи: Першочерговим організаційним заходом є обов'язкове ознайомлення операторів із принципами роботи газорозрядного лічильника СБМ-20, правилами безпечного увімкнення високовольтного каскаду та інструкціями з експлуатації приладу. Навчання персоналу включає освоєння інтерфейсу користувача, правильне зчитування показників радіаційного фону, температури та вологості з LCD-дисплея, а також коректну інтерпретацію отриманих географічних координат від навігаційного модуля NEO-7M.

Процедури регулярного моніторингу: Для своєчасного виявлення перевищень нормативних рівнів радіації на робочих місцях або досліджуваних ділянках території впроваджено чіткий регламент проведення замірів. Безперервний аудіовізуальний контроль (кліки зумера) дозволяє оператору оперативно оцінювати радіаційну обстановку в реальному часі, не відволікаючись від обходу території. Отримані детальні результати вимірювань

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підлягають обов'язковому обліку та систематизації для подальшого аналізу безпеки робочих зон.

Технічне обслуговування та калібрування: Надійність і точність метрологічних характеристик пристрою забезпечуються завдяки регулярному технічному обслуговуванню, перевірці цілісності ABS-корпусу та періодичному калібруванню вимірювальних каналів. Особлива увага приділяється контролю стабільності високовольтного ШІМ-джерела живлення лічильника Гейгера та перевірці роботи схеми захисту Li-ion акумулятора від глибокого розряду.

План дій у надзвичайних ситуаціях: Оскільки прилад орієнтований на виявлення зон радіаційного забруднення, у заходи безпеки інтегровано чіткий алгоритм дій оператора у разі фіксації небезпечних рівнів ПЕД. Програмна та апаратна інтеграція GPS-модуля дозволяє оперативно визначити координати вогнища небезпеки та негайно передати дані відповідним службам для встановлення зон радіаційного контролю, обмеження доступу сторонніх осіб та безпечної евакуації.

Моніторинг здоров'я та індивідуальний захист: У разі проведення польового моніторингу на потенційно забруднених об'єктах передбачено обов'язкове застосування засобів індивідуального захисту (спецодягу, протипилових респіраторів та рукавичок) для запобігання потраплянню радіоактивного пилу всередину організму. Оцінка радіаційного навантаження на персонал здійснюється через регулярні медичні огляди та аналіз накопиченої дози.

Розроблений комплексний підхід до організації охорони праці повністю відповідає сучасним нормативним вимогам у галузі радіаційної безпеки, гарантує ефективне зниження технічних ризиків і захищає життя та здоров'я оператора під час виконання екологічних досліджень[19].

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Розроблений комп'ютеризований прилад для вимірювання радіаційного фону з GPS-трекінгом є ефективним, високоточним та багатофункціональним інструментом для комплексного екологічного контролю навколишнього середовища. Апаратна архітектура пристрою базується на газорозрядному лічильнику Гейгера-Мюллера СБМ-20, супутниковому навігаційному модулі NEO-7M, цифровому датчику температури та вологості АНТ10, мікроконтролері обробки даних ATmega328P, символьному LCD-дисплеї та звуковому сигналізаторі. За допомогою оптимізованого програмного забезпечення на мові C++ система здійснює збір, математичну обробку та візуалізацію інформації в реальному часі, що дозволяє оперативно контролювати стан довкілля і своєчасно реагувати на потенційні загрози.

Інтеграція GPS-модуля забезпечує точну географічну прив'язку кожної точки радіометричного заміру, що є критично важливим для побудови карт радіаційного стану місцевості та виявлення локальних джерел забруднення. Програмно реалізований алгоритм усереднення даних та контролю енергоспоживання робить пристрій надійним елементом комплексного цивільного захисту, а звукова індикація та чітке відображення вимірювальних параметрів на рідкокристалічному індикаторі сприяють швидкому аналізу обстановки оператором.

У дипломному проєкті повністю виконано такі завдання:

1. Проведено аналіз існуючих сучасних методів та засобів вимірювання іонізуючого випромінювання;
2. Обґрунтовано та обрано оптимальну елементну базу комп'ютеризованого приладу з урахуванням габаритних характеристик і критеріїв енергоефективності;
3. Розроблено структурну та принципову електричну схеми пристрою, що об'єднують канали вимірювання радіації, температури, вологості та супутникової навігації;

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Спроектовано топологію двошарової друкованої плати розміром 136x90 мм у спеціалізованому середовищі EasyEDA;

5. Розроблено покроковий алгоритм роботи системи та відповідне програмне забезпечення в середовищі Arduino IDE з використанням апаратних зовнішніх переривань;

6. Проведено розрахунок надійності приладу, який підтвердив стабільну безвідмовну роботу системи протягом 14116 години, при цьому експериментально підтверджена абсолютна похибка вимірювань склала 1,45мкР/год, а відносна похибка – 7,6%;

7. Розроблено комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці та радіаційної безпеки під час лабораторного виготовлення та практичної експлуатації створеного вимірювального приладу.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.Тупицький В. І. Основи радіаційної безпеки: підручник / В. І. Тупицький. – К.: Видавництво «Наука», 2015. – 320 с.
- 2.Дутковський В. Л. Іонізуюче випромінювання та радіаційна безпека: навчальний посібник / В. Л. Дутковський. – Харків: ХНУ, 2012. – 280 с.
- 3.Козловський О. І. Дозиметрія і радіаційний контроль: навчальний посібник / О. І. Козловський. – Львів: ЛНУ, 2016. – 250 с.
- 4.Конструктор лічильника Гейгера Geiger Counter Kit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=302&product_id=7808.
- 5.Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://med-magazin.ua/ua/item_n735.htm.
- 6.Дозиметр радіації FNIRSI GC-01 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sbtr.com.ua/ua/p3034564362-dozimetr-radiatsii-schetchika.html>.
- 7.Дозиметр радіації RM211 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://optimalnyj-vybor.store/ua/p3072815119-dozimetr-radiatsii-radiometr.html>.
- 8.Розпіновка мікропроцесора ATmega328P [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.vyrian.com/blog/atmega328p-microcontroller-features-pinout-configuration-datasheets>.
- 9.Технічні характеристики СБМ-20 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://doza.net.ua/pages/ru_goods_compare.htm.
- 10.Рідкокристалічний дисплей LCD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://co-di.com.ua/ua/p776525104-displej-lcd-1602.html>.
- 11.Цифровий модуль вимірювання температури і вологості АНТ10 I2C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://beegreen.com.ua/cifrovij-modul-vimiryuvannya-temperaturi-i-vologosti-aht10-i2c-analog-sht20-17874>.
- 12.GPS датчик NEO-7М [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod4092-modyl-gps-neo-7m-mini-sma-antenna>.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

13. Акумулятор Battery Li-ion Samsung 18650, 3,7В 4200mAh [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://foton.ua/catalog/litiy-ionnie-/akkumulyatory-battery-li-ion-samsung-18650_-3_7v-4200mah.html.

14. Модуль заряду Li-Ion АКБ з DC/DC step-up перетворювачем J5019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voroн.ua/uk/catalog/037023--modul-zaryada-li-ion-akb-c-dcdc-step-up-preobrazovatelem-j5019>.

15. Кнопка 6х6х5мм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod317-knopka-6x6x5mm>.

16.Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущиповський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу: підручник, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 р., с.331.

17. Вишнівський В.В., Василенко В.В., Гніденко М.П., Звенігородський О.С., Зінченко О.В., Іщеряков С.М. Основи надійності та діагностики інформаційних систем: Навчальний посібник, Київ, Державний університет телекомунікацій, 2020 р., с.184.

18.В. Г. Грибан, О. В. Негодченко Охорона праці: Навчальний Посібник, «Центр учбової літератури», 2011 р., с.280.

19.Білецький В. С., Жидецький В. М. Охорона праці в галузі : навч. посіб. / В. С. Білецький, В. М. Жидецький. – Львів : Афіша, 2020. – 312 с.

					МММТ 480.018.018 – ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		