МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СУКАЛО МАКСИМ ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 004.056.5:004.7/.9:502/504

ДИСЕРТАЦІЯ

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ АДАПТИВНИМ МОНІТОРИНГОМ ОБМЕЖЕНИХ ЕКОСИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Галузь знань _15_ - Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

М. Л. Сукало

Науковий керівник: Мошенський Андрій Олександрович,
кандидат технічних наук, доцент

Науковий керівник: Чумаченко Сергій Миколайович,
доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Підпис(и) завіряю
Вчений секретар

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Сукало М.Л. Інформаційна технологія керування автоматизованим адаптивним моніторингом обмежених екосистем із застосуванням хмарних технологій та Інтернету речей – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» - Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2024.

Мета дисертаційної роботи. Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності автоматизованого адаптивного моніторингу за станом обмеженої екосистеми за рахунок впровадження інформаційної технології із використанням хмарних та IoT технологій.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Запропоновано нову формалізовану модель управління автоматизованими системами збору даних та прийняття рішень в умовах невизначеності на основі розподіленої мережі статичних та динамічних сенсорів, що дає змогу збільшити достовірність даних та розширити спектр застосування системи в цілому.

2. Удосконалено систему збору даних на основі дублювання каналів передачі та комірчастої (MESH) комп'ютерної мережі мобільних станцій в ISM діапазоні 868Мгц із застосуванням малопотужних модулях LoRa, які інтегровані в супутникові і наземні мережі, що значно збільшило живучість та забезпечило надійність автоматизованих систем керування комплексів збору даних.

3. Знайшли подальшого розвитку автоматизовані роботизовані комплекси керування сенсорами в Україні в Києві, Луганській області, Волинській області, які базуються на визначенні нових станів обмеженої екосистеми та ідентифікацію, що дозволило отримати нові уточнені карти забруднення за бета та гама від 15KEV.

4. Удосконалено алгоритм ідентифікації стану екосистеми на базі аналізу обмежених скалярних полів, елементів образного та дискримінантного (статистичного, кореляційного, регресійного) аналізу, що дозволило розширити зону покриття моніторингу системи.

5. Розроблено інтегровану систему автоматизованого адаптивного моніторингу обмежених екосистем з використанням хмарних технологій та Інтернету речей, яка включає інформаційно-телекомунікаційні ланки та розподілені системи збору і оброблення даних, керування енергоспоживанням сенсорних блоків, що призводить до збільшення об'єму та точності даних, зниження часу оперативного розгортання та зниження вимог до систем електроживлення на більш ніж 50%.

Одержані результати можуть бути використані при розробці, проектуванні, вдосконаленні систем автоматизованого адаптивного моніторингу екосистем, при підготовці фахівців з автоматизації, інформаційних технологій, комп'ютерних наук, екологічної безпеки та інших суміжних галузей.

Результати роботи були використані фахівцями цивільного захисту України для удосконалення існуючих мереж постів екологічного моніторингу.

Ключові слова: інформаційна технологія, керування, автоматизація, адаптивний моніторинг, обмежена екосистема, хмарне середовище, Інтернет речей, безпроводові сенсорні мережі, скалярне поле, енергоспоживання, метеодані, радіометрія, LoRa, супутникові системи зв'язку.

ABSTRACT

Sukalo M.L. Information technology managing automated adaptive monitoring restricted ecosystems using cloud technologies and the Internet of Things - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies" - National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The purpose of the dissertation. The purpose of the study is to increase the effectiveness restricted ecosystem state automated adaptive monitoring due to the information technology introduction using cloud and IoT technologies. **Scientific novelty of the obtained results.**

1. A new formalized model for controlling automated data collection and decision-making systems under uncertainty based on a distributed network of static and dynamic sensors is proposed, which allows to increase the reliability of data and expand the range of applications of the system as a whole.

2. Improved data collection system based on duplication of transmission channels and mesh (MESH) computer network of mobile stations in the ISM band of 868 MHz using low-power LoRa modules integrated into satellite and terrestrial networks, which significantly increased the survivability and reliability of automated control systems of data collection complexes.

3. Further development of automated robotic sensor control systems in Ukraine in Kyiv, Luhansk region, Volyn region, based on the identification of new states of a limited ecosystem and identification, which allowed to obtain new updated maps of pollution by beta and gamma from 15KEV.

4. An algorithm for identifying the state of the ecosystem based on the analysis of limited scalar fields, elements of figurative and discriminant (statistical, correlation, regression) analysis was improved, which allowed to expand the coverage of the system monitoring.

5. An integrated system for automated adaptive monitoring of restricted ecosystems using cloud technologies and the Internet of Things has been developed, which includes information and telecommunication links and distributed data collection and processing systems, and power management of sensor units, leading to an increase in the volume and accuracy of data, a reduction in the time of operational deployment, and a reduction in the requirements for power supply systems by more than 50%.

The obtained results can be used in the development, design, improvement of systems of automated adaptive monitoring of ecosystems, in the training of specialists in automation, information technologies, computer sciences, environmental safety and other related fields.

The results of the work were used by civil defense specialists of Ukraine to improve existing networks of environmental monitoring posts.

Keywords: information technology, control, automation, adaptive monitoring, restricted ecosystem, cloud environment, Internet of Things, wireless sensor networks, scalar field, energy consumption, meteorological data, radiometry, LoRa, satellite communication systems.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті:

1. Чумаченко С. М., Пісня Л. А., Мошенський А. О., Сукало М. Л. Особливості інформаційної технології адаптивного управління станом обмеженої екосистеми // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: збірник наукових статей XV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 9-13 вересня 2019 р.). – Харків: Укрндіеп, 2019. – С. 292-298.

http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/Konfer2019.pdf

2. Чумаченко С. М., Парталян А. С., Мошенський А. О., Сукало М. Л., Філатова Л. Д. Автоматизована система передачі даних про стан об’єктів критичної інфраструктури із застосуванням сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій // Науковий журнал «Інженерія природокористування». – 2021. – № 3(21). – С. 127-135. Doi: 10.5281/zenodo.7336168

http://enm.khntusg.com.ua/index.php/enm/article/view/442/495

3. Oleshchenko L.M. Medvedev M.G. Kobryn D.R. Sukalo M.L. Agent modelling software of population behavior in emergency situations // Вчені записки таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – Т. 32 (71). – № 5. – С. 132-138. Doi: 10.32838/2663-5941/2021.5/21

https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/5_2021/23.pdf

4. Дерман В. А., Сукало М. Л. Method of justification of the necessary number of environmental monitoring tools and optimization of their location places // Technologies and Engineering. – 2023. – № 4. – С. 17-27. Doi: 10.30857/2786-5371.2023.4.2.

https://drive.google.com/file/d/1uHFEDM9Kr2tGoEUvC56VLtuW8nVwnX-9/view

5. Новак Д. С., Сукало М. Л. Quantitative assessment software development for the chlorella vulgaris microalgae population // Technologies and Engineering. – 2024. – № 1. – С. 77-84. Doi: 10.30857/2786-5371.2024.1.8.

https://vistnuk.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/2/2024/03/1-2024-8.pdf

6. Мошенський А. О., Сукало М. Л. Апаратно-програмний комплекс адаптивного моніторингу обмеженої екосистеми з хмарним сегментом // Механіка гіроскопічних систем. – 2023. – № 46. – С. 71-81. Doi: 10.20535/0203-3771462023302695.

http://mgsys.kpi.ua/article/view/302695

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

Тези доповідей та матеріали конференцій:

Тези:

7. Мошенський А.О., Сукало М.Л., Чумаченко С.М. Застосування технології LoRa для контролю автоматичних комплексів обмежених екосистем з різним типом рельєфу місцевості.// VII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 227. (НУХТ, 2020).

https://drive.google.com/file/d/1uqm12pA_MKFlcB1wJMGySg_Y_NuyguFR/view

8. Мошенський А.О., Сукало М.Л., Чумаченко С.М. Електронна система моніторингу пасіки.// VII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 228-229. (НУХТ, 2020).

https://drive.google.com/file/d/1uqm12pA_MKFlcB1wJMGySg_Y_NuyguFR/view

9. Chumachenko S., Moshenskyi A., Sukalo M. Comparison of LoRa and LoRaWAN// 87 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 362. (НУХТ, 2021).

https://drive.google.com/file/d/1oGheQecr5Qojx1zwKVyCMdVTjqRjMOGg/view

10. Новак Д., Мошенський А.О., Сукало М.Л. Розроблення системи для дистанційного моніторингу параметрів навколишнього середовища.// Четверта міжнародна науково-практична конференція «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 132-134. (НУХТ, 2022).

https://drive.google.com/file/d/1CmaL1qqxGT-PGe3sy0KJHtT2h1STE7Cl/view

11. A. Moshenskyi. D. Novak. M. Sukalo. Experimental coverage on the UHF LoRa LEO satellites. //88 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 282. (НУХТ, 2022).

https://drive.google.com/file/d/12y379HqcezFP_NC-GC_An4fQmEldwKh0/view

12. Сукало М.Л., Чумаченко С.М. Бортовий інформаційний комплекс керування обмеженою екосистемою зеленої мікроводорості Chlorella vulgaris. // 89-а міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 337. (НУХТ, 2023).

https://drive.google.com/file/d/1cqXHR1S-LHzXkJ-V9nQUY01BJSDM3-Ry/view

13. Новак Д., Мошенський А., Сукало М.Л. Розробка програмного забезпечення для оцінки рівномірності розподілу частинок наповнювачів в полімерній матриці мовою Python. // 89-а міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 324. (НУХТ, 2023).

https://drive.google.com/file/d/1cqXHR1S-LHzXkJ-V9nQUY01BJSDM3-Ry/view

14. Новак Д., Сукало М.Л. Розроблення програмного забезпечення для кількісної оцінки популяції мікроводорості Chlorella vulgaris // X Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 202-203. (НУХТ, 2023).

https://drive.google.com/file/d/1oX1ZKPCzzY0z8OksArdMiHzmT30bCoiR/view

15. Сукало М.Л. Програмно-апаратний комплекс адаптивного моніторингу обмежених екосистем. // 90 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 409. (НУХТ, 2024).

https://drive.google.com/file/d/1FLKqxdSoSjZ5b3kcyCw_h6xPU0qNRoLn/view

16. Сукало М.Л., Чумаченко С.М. Програмно-апаратний комплекс адаптивного моніторингу обмеженої екосистеми. // Вісімнадцята міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи Телекомунікацій" і Шістнадцята міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем», 280 – 282. (КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024).

https://conferenc.its.kpi.ua/2024

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень……..13
ВСТУП……14
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ В ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ……...23
1.1. Аналіз сфери моніторингу екосистем та наукових досліджень в цій сфері……23
1.2. Огляд громадських спільнот екологічного моніторингу…….43
1.3. Lora, огляд технології…….49
1.4. Наукова постановка задачі ……53
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ФОРМАЛІЗОВАНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ……..……...55
2.1. Формалізована постановка задачі прогнозування……...55
2.2. Збір даних з хмарних сховищ даних…….……62
2.3. Моделювання антен ……..66
2.4. Прогнозування як результат комп’ютерної та статистичної обробки експериментальних даних……75
2.5. Кореляційний аналіз……...82
2.6. Регресійний аналіз……..87
2.7. Методика обґрунтування необхідної кількості засобів моніторингу довкілля та оптимізації місць їх розташування……..90
Висновки…..…….97
РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ОБМЕЖЕНИХ ЕКОСИСТЕМ……98
3.1. Автоматизований модуль загального моніторингу довгих вимірювань з режимами сну……....98
3.1.1. Схема структурна……...98
3.1.2. Вибір МК…….99
3.1.3. Вибір сенсорів …….....102

3.1.4. Схема електрична ……..112
3.1.5. Алгоритм роботи ……..115
3.1.6. Ініціалізація периферії.....116
3.2. Автоматизований модуль оперативного моніторингу……...118
3.2.1. Схема структурна……..118
3.2.2. Вибір МК……119
3.2.3. Вибір сенсорів …….....125
3.2.4. Схема електрична ……..127
3.2.5. Алгоритм роботи ……..130
3.3. Автоматизований модуль метеорологічного або фонового моніторингу132
3.3.1. Схема структурна……..132
3.3.2. Вибір МК……133
3.3.3. Вибір сенсорів …….....139
3.3.4. Схема електрична ……..142
3.3.5. Алгоритм роботи ……..144
3.4. Безпроводові модулі наземних та супутникових каналів передачі даних на основі технології LoRa……146
3.5. Автоматизований модуль фонового моніторингу з акселерометром……154
3.5.1. Схема структурна……..154
3.5.2. Вибір МК……156
3.5.3. Вибір сенсорів …….....157
3.5.4. Схема електрична ……..159
3.5.5. Алгоритм роботи ……..160
Висновки……..161
РОЗДІЛ 4. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ РІЗНИХ ТИПІВ МОНІТОРИНГУ ОЕС ТА ЛАНОК ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ……...…….162
4.1. Результати вимірювання автоматизованим комплексом експерименту з мікроводоростю Chlorella vulgaris……162
4.2. Результати вимірювань автоматизованим модулем оперативного моніторингу……171

4.3. Результати вимірювань автоматизованого модуля метеорологічного або фонового моніторингу……175
4.4. Результати вимірювань енергетичних характеристик наземних та супутникових каналів передачі даних на основі технології LoRa……..181
4.4.1. Вимірювання покриття мережі передачі даних на основі технології LoRa з використанням проекту Meshtastic……181
4.4.2. Вимірювання покриття наземної станції супутникової ланки передачі даних на основі технології LoRa з використанням проекту TinyGS……..185
4.5. Результати вимірювань автоматизованим модулем фонового моніторингу сонячної радіації……191
Висновки...……..……..194
ВИСНОВКИ…….195
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..…….197
ДОДАТКИ...…….210

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСЕКМ - Автоматизована система екологічного контролю і моніторингу;

ОЕС – обмежена екосистема;

ОК – об’єкт контролю;

ОД – об’єкт дослідження;

UAQI - Український індекс якості повітря;

EPA USA - Агентство з охорони навколишнього середовища США;

EEA EU - Європейське агентство з навколишнього середовища;

WHO – Всесвітня Організація Охорони Здоров’я;

Canada AQHI - Ризики забруднення повітря для здоров'я Канада;

LoRa - бездротова платформа;

LoRaWAN - протокол зв'язку, який керує/визначає шлях передачі даних;

IoT – інтернет речей;

ISM - industrial, scientific and medical - частина радіочастотного спектра загального призначення, яка може бути використана без ліцензування;

TTN Mapper - проект спільноти для картографування покриття The Things Network;

The Things Network - глобальна спільна екосистема Інтернету речей, яка створює мережі, пристрої та рішення за допомогою LoRaWAN;

WiFi - технологія бездротової мережі;

Bluetooth - стандарт технологій бездротового підключення малого радіуса дії;

OK Lab Stuttgart – програма сприяння розробкам у сферах прозорості, відкритих даних та громадянської науки в Німеччині;

DNMS – цифровий датчик вимірювання шуму;

БАК - безпілотний авіаційний комплекс;

ПНО - потенційно небезпечний об’єкт;

НС – надзвичайна ситуація;

ОКІ – об’єкт критичної інфраструктури;

МК – мікроконтролер

ВСТУП

Актуальність. Сучасна цивілізація зіткнулась з екзистенціальною проблемою виживання людства в умовах глобального впливу цілого ряду природних і техногенних чинників, які можуть призвести до його загибелі.

Якщо розглянути навколишнє природне середовище, що було колискою для людського виду, то його можна представити у вигляді вкладених одна в одну екосистем з усіма їх взаємо поєднаними компонентами [1], які певним чином повторюють на різних ієрархічних рівнях одну і ту ж структуру. І в цьому випадку ієрархічний рівень обмежених екосистем має значний вплив на їх просторово-часові характеристики.

Для виживання людства, як технологічно розвинутої цивілізації, проблема управління обмеженими екосистемами в сучасних умовах стає все більш помітною через зростаючий вплив як зовнішніх так і внутрішніх чинників. Через глобальне потепління та пов'язані з ним зміни клімату багато видів рослин не можуть плодоносити в нових, складних умовах. Швидко деградує і збіднюється біорізноманіття екосистем. Людство весь час знаходиться в умовах швидкого поширення збройних конфліктів за ресурси, чисту воду і глобальних пандемій.

Сучасні обмежені екосистеми, як об'єкти управління, стикаються з низкою проблем, пов'язаних з незадовільною динамікою та нестабільністю параметрів. Ці проблеми виникають через особливості функціонування окремих компонентів екосистеми та домінуючих в сучасному світі технологій агротехнічного виробництва. Агротехнічні норми вимагають не лише високої точності стабілізації температури, але й її динамічного регулювання залежно від рівня фотосинтезу, фази розвитку рослин і тварин, часу доби. Це ставить високі вимоги до програмно-апаратного забезпечення, яке використовується для управління обмеженими екосистемами.

Уряд України, згідно з Концепцією Загальнодержавної Цільової Програми розвитку промисловості до 2017 року, схваленою постановою

Кабінету Міністрів №1174 від 28 липня 2003 року, активно підтримує впровадження новітніх комп'ютерних технологій в управлінні промисловими об'єктами. Цей факт підкреслює актуальність даної теми, адже автоматизація не лише покращує екосистеми, але й мінімізує ризики людських помилок, покращує умови праці та підвищує культуру виробництва.

Більшість існуючих методів та засобів моніторингу та керування кліматом обмежених екосистем мають суттєві недоліки. По-перше, вони не забезпечують віддаленого вимірювального контролю всіх необхідних фізико-хімічних параметрів мікроклімату штучних екосистем з належними метрологічними характеристиками. По-друге, їм бракує науково-обґрунтованих алгоритмів функціонування, які б адаптувалися до типів та фаз зростання культур. По-третє, вони не мають методів та засобів компенсації взаємно дестабілізуючих впливів вимірюваних параметрів мікроклімату обмеженої екосистеми.

Модернізація штучних екосистем з захищеними ґрунтами для підвищення їх продуктивності потребує розробки, дослідження та впровадження сучасних методів і засобів моніторингу та керування. Це дозволить оптимізувати технологічні процеси в обмежених екосистемах та, як наслідок, покращити показники темпів і обсягів виробництва сільськогосподарської продукції.

Сучасні наукові дослідження та розробки в галузі рослинництва дають можливість створювати принципово нові технології вирощування рослин. Завдяки цьому ми можемо отримувати більші врожаї, покращувати якість продукції та зменшувати негативний вплив на довкілля. Розробка сучасної технології вирощування рослин - це важливий крок на шляху до забезпечення продовольчої безпеки та сталого розвитку.

В зв’язку з цим актуальним є **наукове завдання розробки інформаційної технології для автоматизованого адаптивного моніторингу за станом обмеженої екосистеми із використанням хмарних та IoT технологій.**

Зв’язок із науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводились в межах Планів наукової та науково-технічної діяльності Національного університету харчових технологій (НУХТ) та науково-дослідних робіт, що виконувалися на кафедрі автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління в 2020 – 2024 рр.

У цих науково-дослідних роботах автор був виконавцем.

Мета та завдання дослідження. Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності автоматизованого адаптивного моніторингу за станом обмеженої екосистеми за рахунок впровадження інформаційної технології із використанням хмарних та IoT технологій.

Для розв’язання наукового завдання та досягнення мети дослідження в роботі поставлені і розв’язані такі **часткові наукові завдання**:

- Проведено аналіз наукових досягнень в галузі систем автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем.
- Проведено аналіз можливості використання хмарних технологій та IoT та алгоритмів і моделей для екологічного моніторингу обмежених екосистем.
- Розроблено інформаційну технологію для адаптивного екологічного моніторингу з використанням хмарних та IoT технологій.
- Розроблено програмно-апаратний комплекс автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу із застосуванням ефективних інформаційно-телекомунікаційних технологій.
- Перевірено ефективність системи автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем. Проведено експертно-аналітичні дослідження, оцінено достовірність та адекватність отриманих результатів.
- Обґрунтовано рекомендації щодо практичного впровадження автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем.

Об’єктом дослідження є процес автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем.

Предметом дослідження є програмно-апаратні засоби, моделі та алгоритми автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем.

Методологія дослідження базується на системному підході, використанні методів теорії дослідження операцій та підтримки прийняття рішень, апарату математичної статистики, експертного оцінювання, методу аналізу ієрархій, імітаційного моделювання, теорії ймовірностей, хмарних та IoT технологій.

Методи дослідження є експериментальними з використанням інформаційних технологій, автоматизованого вимірювального устаткування, математичного моделювання, статистичної обробки даних стану обмежених екосистем.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Запропоновано нову формалізовану модель управління автоматизованими системами збору даних та прийняття рішень в умовах невизначеності на основі розподіленої мережі статичних та динамічних сенсорів, що дає змогу збільшити достовірність даних та розширити спектр застосування системи в цілому.

2. Удосконалено систему збору даних на основі дублювання каналів передачі та комірчастої (MESH) комп’ютерної мережі мобільних станцій в ISM діапазоні 868Мгц із застосуванням малопотужних модулів LoRa, які інтегровані в супутникові і наземні мережі, що значно збільшило живучість та забезпечило надійність автоматизованих систем керування комплексів збору даних.

3. Знайшли подальшого розвитку автоматизовані роботизовані комплекси керування сенсорами в Україні в Києві, Луганській області, Волинській області, які базуються на визначенні нових станів обмеженої

екосистеми та ідентифікацію, що дозволило отримати нові уточнені карти забруднення за бета та гама від 15KEV.

4. Удосконалено алгоритм ідентифікації стану екосистеми на базі аналізу обмежених скалярних полів, елементів образного та дискримінантного (статистичного, кореляційного, регресійного) аналізу, що дозволило розширити зону покриття моніторингу системи.

5. Розроблено інтегровану систему автоматизованого адаптивного моніторингу обмежених екосистем з використанням хмарних технологій та Інтернету речей, яка включає інформаційно-телекомунікаційні ланки та розподілені системи збору і оброблення даних, керування енергоспоживанням сенсорних блоків, що призводить до збільшення об'єму та точності даних, зниження часу оперативного розгортання та зниження вимог до систем електроживлення на більш ніж 50%.

Практичне значення одержаних результатів. Огляд та оцінка експлуатаційно-технічних характеристик існуючих систем та апаратних засобів підтримки прийняття рішень показали можливість розв'язання лише досить вузького кола завдань для галузі моніторингу параметрів ОЕС. В більшості випадків моніторинг надзвичайних ситуацій, техногенних катастроф та руйнування промислових об'єктів є першочерговим функціоналом для систем екологічного контролю. А отже варто провести як модернізацію, так і інтеграцію та до оснащення постів публічного та внутрішнього моніторингу для виконання завдань екологічного контролю та моніторингу і особливо в умовах ведення військових дій з Російською Федерацією.

Розроблені автором програмно – апаратні комплекси має сенс застосовувати при розв'язку екологічних задач моніторингу навколишнього середовища, а не лише обмежених екосистем.

В харчовій промисловості та аграрному секторі наведені пристрої з мінімальною адаптацією, або взагалі без неї можуть бути використані для збору поточних показників піддослідного об'єкту.

Адаптація народного господарства України в повоєнний період вимагатиме інтенсифікації аналізу загроз та розширення сфер сектору екологічної безпеки.

Особистий внесок здобувача.

Автор самостійно виконав дисертаційну роботу. У статтях, опублікованих у співавторстві, здобувачем виконано наступні завдання:

1. Чумаченко С. М., Пісня Л. А., Мошенський А. О., Сукало М. Л. Особливості інформаційної технології адаптивного управління станом обмеженої екосистеми // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: збірник наукових статей XV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 9-13 вересня 2019 р.). – Харків: Укрндіеп, 2019. – С. 292-298.
http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/sbornik2019.pdf

Автором запропоновано інформаційну технологію, яка дозволяє оцінювати та прогнозувати стан обмежених екосистем на основі даних про біотичні фактори, що використовується для комплексного аналізу результатів моніторингу та відстеження динаміки відновлювальних процесів. Співавтори Чумаченко С.М. – постановка задачі, Пісня Л.А. – аналіз публікацій, Мошенський А.О. – запропоновано методи управління станом обмежених екосистем.

2. Чумаченко С. М., Парталян А. С., Мошенський А. О., Сукало М. Л., Філатова Л. Д. Автоматизована система передачі даних про стан об’єктів критичної інфраструктури із застосуванням сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій // Науковий журнал «Інженерія природокористування». – 2021. – № 3(21). – С. 127-135. Doi: 10.5281/zenodo.7336168
http://enm.khntusg.com.ua/index.php/enm/article/view/442/495

Автором запропоновано аналіз інформації, отриманої з різних джерел за допомогою технічних засобів, а саме радіометрів, катарометрів, акселерометрів, гігрометрів, безпроводових сенсорних мереж, і фотографування з місця виникнення НС за допомогою спеціалізованого

програмного забезпечення. Співавтори Чумаченко С.М. – постановка задачі, Парталян Л.А. – аналіз публікацій, актуальність, Мошенський А.О. – запропоновано методи збору і передачі інформації, Філатова Л.Д. – джерела, висновки.

3. Oleshchenko L.M. Medvedev M.G. Kobryn D.R. Sukalo M.L. Agent modelling software of population behavior in emergency situations // Вчені записки таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – Т. 32 (71). – № 5. – С. 132-138. Doi: 10.32838/2663-5941/2021.5/21
https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/5_2021/23.pdf

Автором запропоновано шляхи подальшого розвитку програмного забезпечення, а саме створення модуля для машинного аналізу динамічної симуляції поведінки руху натовпу в надзвичайній ситуації. Співавтори Олещенко Л.М. – постановка задачі, Медведєв М.Г. – аналіз публікацій, актуальність, Кобрін Д.Р. – розроблення програмних модулів, моделювання в середовищі Unity.

4. Дерман В. А., Сукало М. Л. Method of justification of the necessary number of environmental monitoring tools and optimization of their location places // Technologies and Engineering. – 2023. – № 4. – С. 17-27. Doi: 10.30857/2786-5371.2023.4.2.
https://drive.google.com/file/d/1uHFEDM9Kr2tGoEUvC56VLtuW8nVwnX-9/view

Автором на наведеному прикладі розраховано вибір ділянки території області для розміщення безпілотного авіаційного комплексу, що підвищило рівень екологічної безпеки під час проведення засобів моніторингу техногенного впливу. Співавтор Дерман В.А. - запропоновано методи розрахунку для вибору ділянки, зроблено переклад на англійську мову.

5. Новак Д. С., Сукало М. Л. Quantitative assessment software development for the chlorella vulgaris microalgae population // Technologies and Engineering. – 2024. – № 1. – С. 77-84. Doi: 10.30857/2786-5371.2024.1.8.

https://vistnuk.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/2/2024/03/1-2024-8.pdf

Автором вирощено дослідну популяцію мікроводорості Chlorella Vulgaris, проведено експериментальні заміри, побудовано програмне забезпечення, проведено аналіз графічного образу. Співавтор Новак Д.С. - запропоновано метод аналізу графічного образу, зроблено переклад на англійську мову.

6. Мошенський А. О., Сукало М. Л. Апаратно-програмний комплекс адаптивного моніторингу обмеженої екосистеми з хмарним сегментом // Механіка гіроскопічних систем. – 2023. – № 46. – С. 71-81. Doi: 10.20535/0203-3771462023302695.

http://mgsys.kpi.ua/article/view/302695

Автор змоделював та розробив апаратно-програмний комплекс, який складається з набору інструментів, призначених для моніторингу обмежених екосистем в зонах техногенного забруднення. Співавтор Мошенський А.О. - запропоновано набір сенсорів з характеристиками для моніторингу в умовах техногенного забруднення.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідалися і схвалені на VII Міжн. науково-техн. Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами, 26 листопада 2020р., м.Київ, НУХТ, 87 Міжн. наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 15-16 квітня 2021р., м.Київ, НУХТ, Четверта міжнародна науково-практична конференція «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій» на базі кафедри інформаційних систем НУХТ, 1-2 лютого 2022р., м.Київ, 88 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», квітень-травень 2022р., 89-а міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів (НУХТ), 3-7квітня 2023р., мКиїв, Х

Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 24 листопада 2023р., м.Київ, НУХТ, 90 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 11–12 квітня 2024р, м.Київ, НУХТ, Вісімнадцята міжнародна науково-технічна конференція "ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ" і Шістнадцята міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ», 15–19 квітня 2024р, м.Київ, НТУУ «КПІ імені Сікорського» та Навчально-Науковий Інститут Телекомунікаційних Систем Нді Телекомунікацій.

Реалізація. Результати роботи реалізовані: у Асоціації фахівців цивільного захисту (м. Київ) – Інформаційна технологія автоматизованого адаптивного моніторингу обмеженої екосистеми (акт впровадження від 21.10.23), Київський міський радіоклуб (м. Київ) – Стосовно застосування WSN ISM (акт впровадження від 07.05.24), в навчальному процесі НУХТ на кафедрі автоматизації і комп’ютерно-інтегрованих технологій – програмно-апаратний комплекс автоматизованої системи моніторингу стану ОЕС.

Публікації. Результати дослідження опубліковано у 16 наукових роботах: 6 наукових статей (6 у співавторстві), опублікованих у фахових виданнях України з технічних наук; матеріали представлені на наукових конференціях: 10 публікацій (9 у співавторстві).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота має загальний обсяг 210 аркушів, включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, вісім додатків, містить 183 рисунків, 8 таблиць. Список використаних джерел має 137 найменувань, займає 14 сторінок.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ В ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.

1.1. Аналіз сфери моніторингу екосистем та наукових досліджень в цій сфері.

В даний час існує ряд інформаційних автоматизованих систем моніторингу екологічного стану довкілля. Керуванням процесами автоматизації спеціалісти займались останніми десятиліттями. Варто відмітити фундаментальні роботи таких авторів як Ладанюк О.П., Сідлецький В.М., Єльперін І.В., Кишенько В.Д., Луцька Н.М., Смітюх Я.В., Іващук В.В., Бойко Р.О., Валуйський С.В., Новожилов А. С., Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Тесленко О.М., Скопецький В.В. та інші.

Автоматизована система екологічного контролю і моніторингу (АСЕКМ) - сукупність приладів та елементів, призначених для виконання заданої функції (контроль за параметрами повітряного або водного середовища, оповіщення персоналу, передача сигналів на пульт централізованого спостереження тощо) [2].

Види моніторингу навколишнього середовища діляться на:

- Загальний або стандартний.

Оптимальні параметри та періодичність розміщення спостережних пунктів за станом навколишнього середовища дозволяють на основі оцінки та прогнозування його стану підтримувати прийняття відповідних рішень на всіх рівнях відомчої та загальнодержавної екологічної діяльності.

- Оперативний або кризовий моніторинг.

Спостереження за природними об'єктами та джерелами техногенного впливу в районах екологічної напруженості, в аварійних зонах з небезпечними природними явищами, що мають шкідливі екологічні наслідки, здійснюються із великою інтенсивністю. Головна мета - забезпечення оперативної реакції на кризові та надзвичайні екологічні ситуації і прийняття ефективних рішень для їх ліквідації. Ця діяльність також націлена на створення нормальних умов для життєдіяльності населення та нормального господарювання.

- Фоновий або науковий.

Це довгострокові та комплексні дослідження визначених об'єктів в природоохоронних зонах з метою прогнозування і оцінки змін у стані екосистем. Дослідження проводяться в областях, віддалених від промислових та господарських ділянок або в тих, що не піддаються значному впливу цих видів діяльності. Головна мета – отримання інформації, що містить середньостатистичний або фоновий рівень забруднення довкілля в умовах антропогенного впливу [17].

Загальна структурна схема видів моніторингу зображена на рисунку 1.1.1



Рис.1.1.1 Загальна структурна схема видів моніторингу природного середовища.

Розглянемо серед АСЕКМ найбільш розвинені та ті що мають найбільш інноваційні технологічні рішення в своєму складі. Також ж треба зробити

акцент на розповсюдженості систем моніторингу на території України. Перша платформа для порівняльної оцінки це SaveEcobot [3]. Дана платформа позиціонується як Єдина в Україні екологічна система, яка поєднує дані про поточний стан довкілля, про забруднення, забруднювачів та інструменти захисту довкілля. Ресурс пропонує такі сервіси як:

- інтерактивна карта радіаційного фону;

- детальну інформацію про стан радіаційного фону в областях та населених пунктах.

- Карту якості повітря з напрямком та швидкістю вітру.

- Інформацію про якість повітря з кожного поста моніторингу та дані по населених пунктах.

- Аналітику та карту пожеж України з деталями по кожному з регіонів.

- Аналітику екологічних податків.

- Статистику результатів роботи екоінспекції.

На платформі реалізовано чатбот для Viber та Telegram, який надає таку інформацію [3]:

- Моніторинг реєстру ОВД (оцінка впливу на довкілля), що показує етапи проходження процедури екологічної оцінки планової діяльності підприємств.

- Інформацію про дозволи на викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами підприємств-забруднювачів 1, 2 та 3 груп.

- Відомості про спеціальні дозволи на користування надрами.

- Дані про дозволи на спеціальне водокористування.

- Інформацію про ліцензії на поводження з небезпечними відходами.

- Відомості про суб’єктів господарювання, які мають податковий борг.

- Дані про ліцензії на виробництво особливо небезпечних хімічних речовин

- Інформацію про декларації про відходи.

SaveEcoBot об’єднує в собі ряд платформ, проектів та органів місцевого самоврядування, з яких збираються дані [3]. Перелік цих ресурсів вказаний в таблиці 1.1.1.

Таблиця 1.1.1.

Назва	Станція моніторингу якості повітря		Пост контролю радіаційного стану	
	Працююча кількість	Загальна кількість	Працююча кількість	Загальна кількість
SaveDnipro	97	378	0	8
DNEPR.com				
luftdaten.info	35	159		
Eco City	0	473		
AirBG.Info				
КП «ЦЕМ» ДОР	0	20	0	12
Департамент екології та природних ресурсів Донецької ОДА	0	57		
AirVisual	6	13		
Департамент екології та природних ресурсів Київської ОДА	0	15	0	24
AirPol	0	68		
Бурштинський екологічний Канал	0	1		
Kyiv Smart City	0	13		
Guru.ua				
Дніпронет			3	3
Одеський державний екологічний університет	0	1	1	1
Грузинське національне екологічне агентство				
EcoSys				
ЛУН Місто	96	254		
Sensor.Community				
Київський національний університет імені Тараса Шевченка	1	1		
AirMQ				
Український гідрометеорологічний центр			155	178
Європейська система обміну радіологічними даними			1	1
ДСП "Екоцентр"			29	67
ВП "Запорізька Атомна Електростанція"			0	39
ВП "Южно-Українська Атомна Електростанція"			0	13
ВП "Хмельницька Атомна Електростанція"			0	14
ВП "Рівненська Атомна Електростанція"			0	13

Назва	Станція моніторингу якості повітря		Пост контролю радіаційного стану	
	Працююча кількість	Загальна кількість	Працююча кількість	Загальна кількість
Головний центр спеціального контролю			6	11
Белгідромет				
Київська міська державна адміністрація	7	7	7	7
Броварська міська рада	0	7		
Департамент екології та природних ресурсів Одеської ОДА	1	2		
Львівська міська рада	0	1		
Кременчуцька міська рада	0	1	0	1
Airly	14	22		
PurpleAir	4	11		
ДТЕК			0	7
ДСП "Чорнобильська Атомна Електростанція"			10	10
uRADMonitor			1	7
Метінвест				
Міністерство охорони здоров'я України			221	308
Державне підприємство "Білоруська АЕС"				
Державна служба України з надзвичайних ситуацій			27	30
ЕКОТЕСТ			0	1
АТ "Криворізький залізорудний комбінат"			0	1
Державна інспекція ядерного регулювання України				
ДСП "Об'єднання Радон"				
Держпродспоживслужба			2	8
Safecast				
ЕкоЗагроза				
Луцька міська рада	7	17	4	6
Вишнева міська ради	0	1		
Вінницька міська рада	0	1		
Диканська селищна територіальна громада				
Дубенська міська рада	0	1		
Кам’янець-Подільська міська рада	0	6	0	2
Хмельницька міська рада	0	6		
Паланська сільська громада			0	1
Гельмязівська сільська громада			0	1
Ватутінська міська громада			0	1
Катеринопільська селищна громада			1	1
Стеблівська селищна громада			1	1
Покровська міська військова адміністрація				

Назва	Станція моніторингу якості повітря		Пост контролю радіаційного стану	
	Працююча кількість	Загальна кількість	Працююча кількість	Загальна кількість
Покровська сільська рада			0	1
Єрківська селищна рада			1	1
Пальчиківська сільська рада			1	1
Лисичобалківська сільська рада			1	1
VozMeteo				
ДП «НАЕК «Енергоатом»			0	4
Черкаський обласний онкологічний диспансер			0	1
Покровська міська рада			2	3
Монастирищенська міська рада			0	1
Іваньківська сільська рада			1	1
Христинівська міська рада				
Великосевастянівський ліцей			0	1
Верхняцький ліцей (Ліщинівська філія)			0	1
Уманський гуманітарно-педагогічний фаховий коледж			0	1
Кузьминогребельський ліцей			1	1
Ярошівська сільська рада			0	1
Ладижинська сільська рада			1	3
Михайлівська сільська рада			0	1
Жаботинська сільська рада			0	1
Райгородська сільська рада			0	1
Будищенська сільська рада			0	1
Свидівоцька сільська рада			1	1
Вознесенська сільська рада			0	1
Балаклеївська сільська рада			0	1
Червонослобідська сільська рада			0	1
Драбівська селищна рада			0	3
Селищенська сільська рада			0	1
Маньківська селищна рада			0	1
SaveDnipro & Greenpeace			6	10
SaveDnipro & uRADMonitor			12	18
SaveDnipro & Safecast			2	2
SaveDnipro & SÚRO			1	1
	268	**1536**	**499**	**843**

На рисунку 1.1.2 вказана карта покриття станціями аналізу радіації, на рисунку 1.1.3 – карта покриття станціями якості повітря на території України.

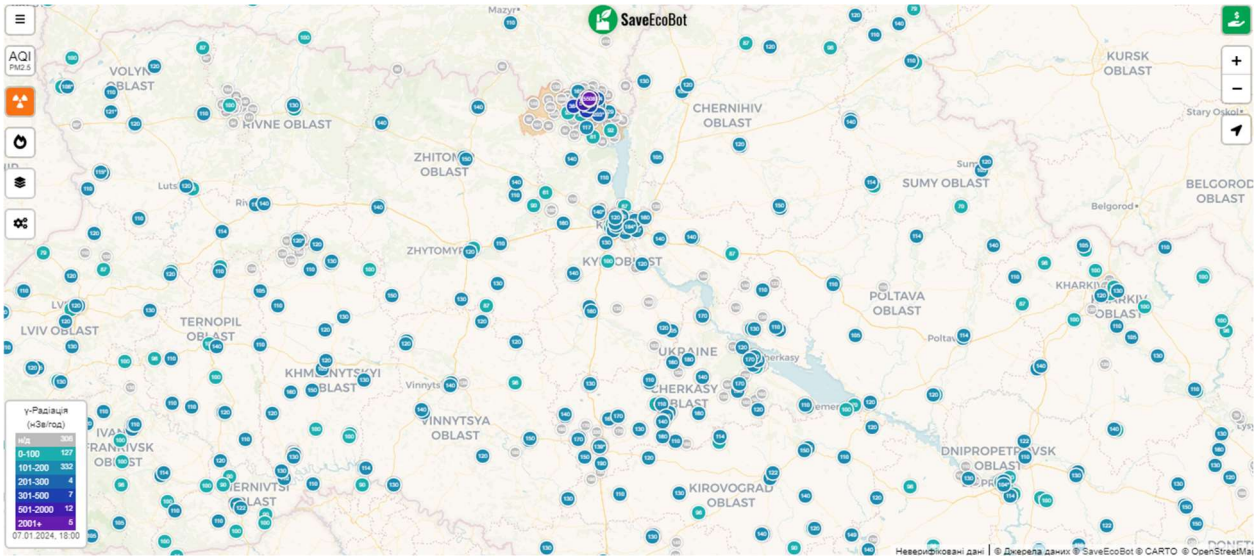


Рис.1.1.2. Карта покриття сенсорів радіації на території України (SaveEcoBot).

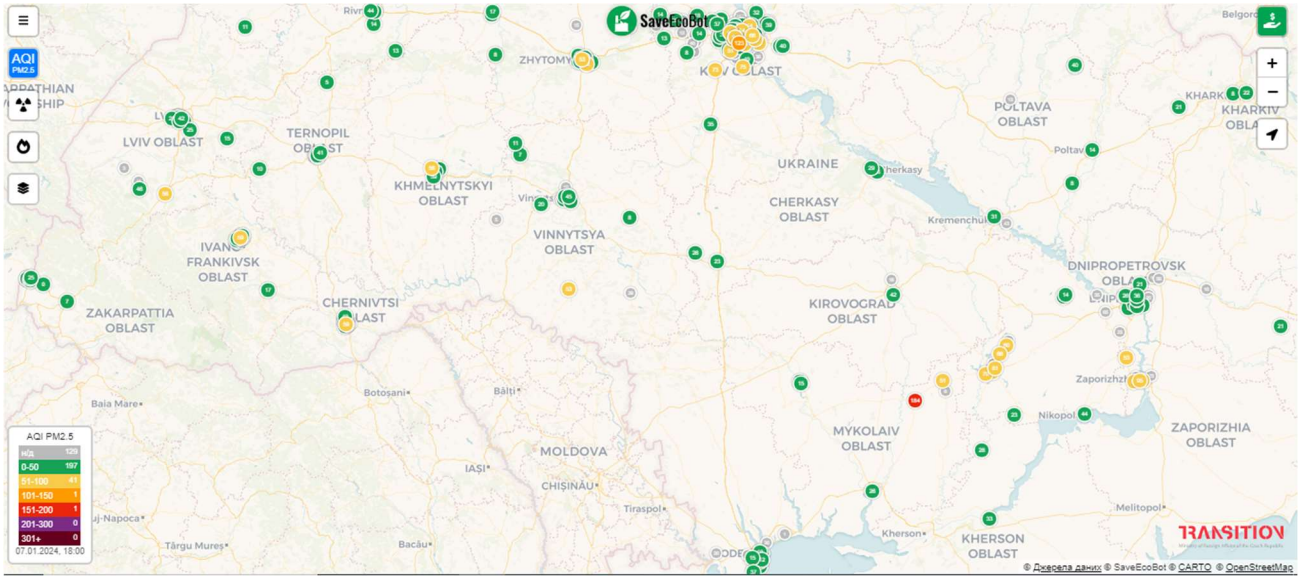


Рис.1.1.3. Карта покриття сенсорів якості повітря на території України (SaveEcoBot).

Найбільша концентрація станцій моніторингу спостерігається в місті Києві. Більш різноманітний вибір датчиків дають станції від «Департаменту захисту довкілля та адаптації до зміни клімату виконавчого органу Київської міської ради». Карта покриття станціями моніторингу в місті Києві ресурсу SaveEcoBot зображена на рисунку 1.1.4. Приклад виводу даних в графічному та цифровому форматі однієї зі станцій в місті Києві зображено на рисунку 1.1.5.

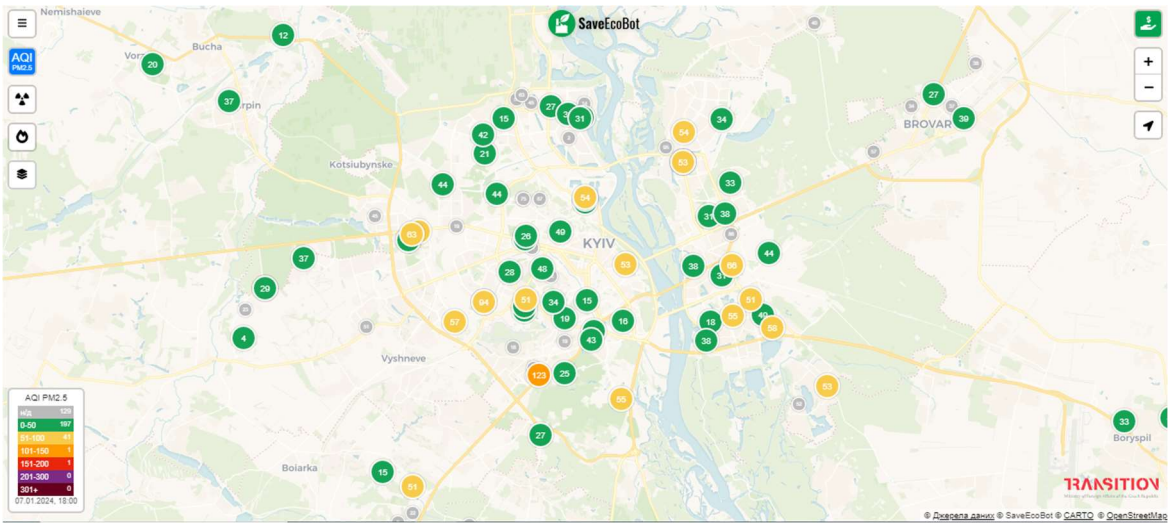


Рис.1.1.4. Карта покриття станції моніторингу м.Київ (SaveEcoBot).

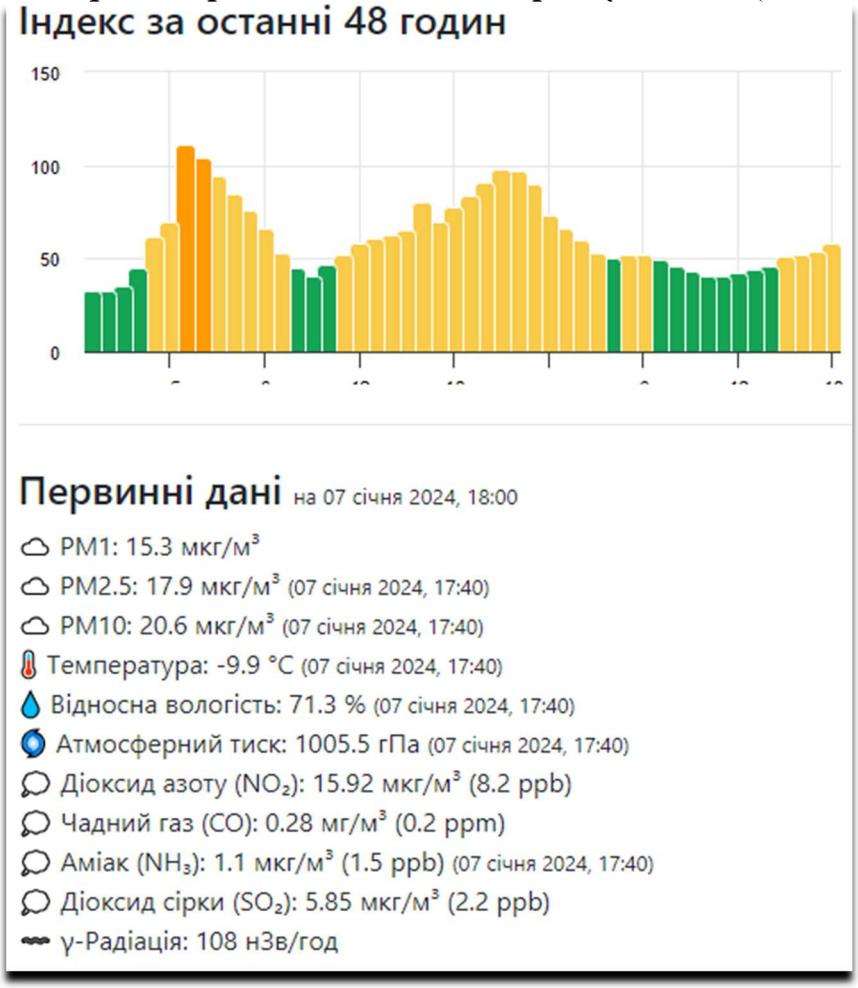


Рис.1.1.5. Дані станції моніторингу в м. Київ за 48 годин.(SaveEcoBot).

По інформації зі станцій можемо спостерігати моніторинг та збір даних по якості повітря (наявність частинок пилу різного розміру PM1, PM2.5, PM10, діоксид азоту, чадний газ, аміак, діоксид сірки), температурі, вологості, атмосферному тиску, радіації. Станції контролю для міста Києва мають районну географічну установку локального характеру. Як правило станції

моніторингу передають дані в мережу інтернет через стільникових операторів, за живлені від міських електромереж та не мають джерел безперебійного живлення. Під час початку бойових дій з 24 лютого 2022 року, в періоди блекаутів та збоїв стільникових операторів мережа моніторингових станцій в більшості випадків не працювала.

Як правило основним початковим розробником інформаційних систем контролю якості повітря можна вважати американську компанію IQAir (iqair.com) [4]. Компанія об’єднує на своїй платформі моніторингу світову мережу постів контролю якості повітря, що можна спостерігати на рисунку 1.1.6.

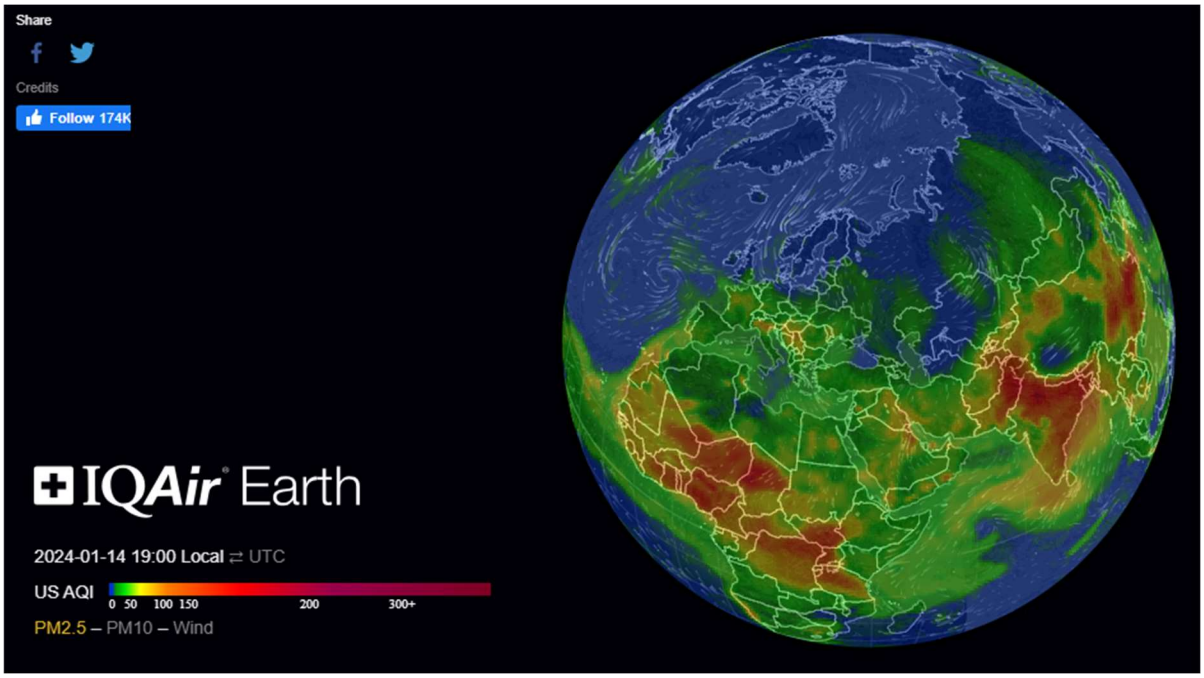


Рис.1.1.6. Карта якості повітря від компанії IQAir.

Компанія IQAir по даним з інтернет ресурсів має еталонний підхід до якості повітря з наукової точки зору, розробляє нові технології по моніторингу, очищенню повітря та методи зменшення шкідливих викидів від промисловості. Компанія є основними технологічним партнером Програми ООН з навколишнього середовища, ООН-Хабітат і Грінпіс [4].

Заслуговує особливого розгляду Українська мережа громадського моніторингу EcoCity. Проект включає програму "Чисте повітря для України", яку з 2018 року реалізує неурядова організація Arnika (Чеська Республіка) у співпраці з місцевими громадськими ініціативами з різних регіонів України

[63]. Фінансову підтримку забезпечує Transition Promotion Program Міністерства закордонних справ Чеської Республіки. В проекті використаний досвід обчислення індексів якості повітря від EPA USA та EEA EU та їх застосування з метою інформування населення про екологічний стан навколишнього середовища та ризики для здоров'я. В проекті введено поняття український індекс якості повітря (Ukrainian Air Quality Index, UAQI) – це шкала якісної та кількісної оцінки якості атмосферного повітря. UAQI складається з чотирьох груп основних забруднюючих речовин, а також фізичних параметрів, які впливають на якість та безпечність повітря. Деталізована структура UAQI наведена у таблиці 1.1.2.

UAQI встановлює 10 категорій якості повітря, шість основних, дві додаткові та дві спеціальні (рис. 1.1.7.).



Рис. 1.1.7. Категорії якості та безпечності повітря UAQI.

Таблиця 1.1.2. Деталізована структура UAQI Eco city.

Група параметрів якості повітря		Індивідуальний параметр якості повітря			Примітка та уточнення
Позначення	Назва	Позначення у комунікації	Позначення у базах даних	Назва	
Група (A)	Вміст у повітрі аерозолів та інших дрібнодисперсних твердих часток	TSP	A1	Загальний вміст недиференційованого за складом пилу (аерозолю)	Моніторинг не здійснюється
		PM_{10}	A2	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 10 мкм	
		$PM_{2.5}$	A3	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 2.5 мкм	
		PM_1	A4	Дрібнодисперсний пил, тверді часточки фракцією до 1 мкм	У режимі дослідної експлуатації
		PM_{100}	A5	Загальний вміст пилу, тверді часточки диференційовані за розміром, фракцією до 100 мкм	Моніторинг не здійснюється
		Інші	A7-A99	Інші	Зарезервовані
Група (B)	Вміст у повітрі газоподібних забруднюючих речовин пріоритетного переліку, визначеного ВООЗ	NO_2	B1	Азоту діоксид	
		CO	B2	Вуглецю оксид (чадний газ)	У режимі дослідної експлуатації
		O_3	B3	Озон (приземний озон)	
		SO_2	B4	Ангідрид сірчистий (сірки діоксид)	Оцінка не здійснюється
		Інші	B7-B99	Інші	Зарезервовані
Група (C)	Вміст у повітрі інших забруднюючих речовин з пріоритетного переліку	VOC (H_2CO)	C1	Леткі органічні сполуки[1)]	У режимі дослідної експлуатації
		NH_3	C2	Аміак	
		H_2S	C3	Сірководень	
		Cl_2	C4	Хлор	
		PH_3	C5	Фосфін	
		DNO	C6	Еквівалентний показник одорації (запахів)	У режимі дослідної експлуатації
		Інші	C7-C99	Інші	Зарезервовані
Група (D)	Параметри фізичних факторів, які впливають на якість та безпечність повітря	T	D1	Температура атмосферного повітря[2)]	
		W	D2	Відносна вологість атмосферного повітря[3)]	
		P	D3	Атмосферний тиск[4)]	
		RAD (мкР/год)	D4	Потужність експозиційної дози у атмосферному повітрі	
		RAD (нЗв/год)	D5	Потужність еквівалентної дози/ потужність ефективної дози у атмосферному повітрі	Оцінка не здійснюється
		Інші	D6-D99	Інші	Зарезервовані

В основному використовуються перші чотири категорії для фонового моніторингу довкілля, іноді в окремих випадках, наприклад при ракетних обстрілах чи бойових зіткненнях, рівні забрудненості можуть доходити до п’ятої і навіть шостої категорії. Починаючи з сьомої категорії виникає ряд труднощів з фіксацією показників забрудненості що пов’язано з діапазоном роботи сенсорів встановленого обладнання, а також вивід інформації може викликати паніку серед населення. Показники H2S, Cl2, PH3 та NH3 є важливими для системи

оповіщення про хімічну безпеку повітря. Оскільки інструменти моніторингу виявляють високу чутливість до цих параметрів, не всі категорії якості повітря застосовуються до них. Це обумовлено необхідністю врахування особливостей інструментів та їх завдань в процесі моніторингу. Для узагальнення концепції "радіаційний фон" у атмосферному повітрі широко використовують дві основні одиниці вимірювання - потужність експозиційної дози (в мікро рентгенах на годину, системна одиниця вимірювання у кулоні на кілограм на секунду) та потужність еквівалентної/ефективної дози (у нА/год, позасистемна одиниця вимірювання в Бертах на секунду). Важливо розуміти, що класифікація показників радіаційної безпеки ґрунтується на потужності експозиційної дози, і значення потужності еквівалентної дози можуть бути отримані конвертацією одиниць вимірювання за допомогою відповідних коефіцієнтів переходу. Для визначення категорій якості повітря важливо враховувати, що моніторингові інструменти Української мережі громадського моніторингу якості повітря Eco City оцінюють експозиційну дозу фотонного випромінювання, переважно гамма-випромінювання, за допомогою трубок Мюллера-Гейгера. Ці інструменти вимірюють потужність в одиницях А/кг або Кл/кг. Щоб використовувати системні одиниці вимірювання еквівалентної дози, такі як Зв або Дж/кг, потрібно враховувати вагові коефіцієнти різних типів випромінювання та їх вплив на різні типи тканин. У зв'язку з цим, для зручності комунікації рекомендується використовувати позасистемну одиницю мкР/год.

Для довгострокової оцінки якості повітря, здійснюваної на місячному, квартальному чи річному рівні, потрібні спеціалізовані числові методи аналізу результатів моніторингу, оскільки ці оцінки можуть значно відрізнятися від короткострокових [61].

Метод оцінки якості повітря включає етапи розрахунків:

- Накопичення даних одиничних результатів моніторингу;
- Усереднення одиничних результатів моніторингу;
- Послідовність визначення категорії якості повітря;
- Основні правила визначення категорії якості повітря;

- Додаткові правила визначення категорії якості повітря.

Зв'язок між параметрами групового результату моніторингу MC та категорії якості повітря AQC забезпечується через основні та додаткові правила (рис.1.1.8.)

Категорія якості повітря	Головне повідомлення	Значення параметра **AQC=R**	Основні правила визначення	Додаткові правила уточнення
I	Добра якість повітря	1	CR3	CR11 CR12 CR13 CR14 CR15 CR16 CR17 CR18
II	Задовільна якість повітря	2		
III	Якість повітря несприятлива для чутливих до забруднення повітря груп населення	3		
IV	Погана якість повітря	4		
V	Дуже погана якість повітря	5		
VI	Надзвичайно погана якість повітря	6, 7		

Рис.1.1.8. Зв'язок категорії якості повітря та правил його визначення та уточнення.

Трансформація робочого листа баз даних системи моніторингу наведена на рис. 1.1.9. Приклад: У період з 07:00 до 07:20 10 серпня 2022 року в розрахунковому періоді "25" на станції моніторингу з координатами LoLa в адміністративній одиниці XYZ отримано загальну оцінку якості повітря на рівні "3". Це відповідає категорії якості повітря "Несприятлива для чутливих до забруднення повітря груп населення" (категорія III). Оцінка якості повітря базується на параметрах моніторингу з групи "A", зокрема на параметрі "13" - вмісті PM2.5 у повітрі. Розрахунки виконані за правилом CR13, яке враховує посилену дію NO2 [61].

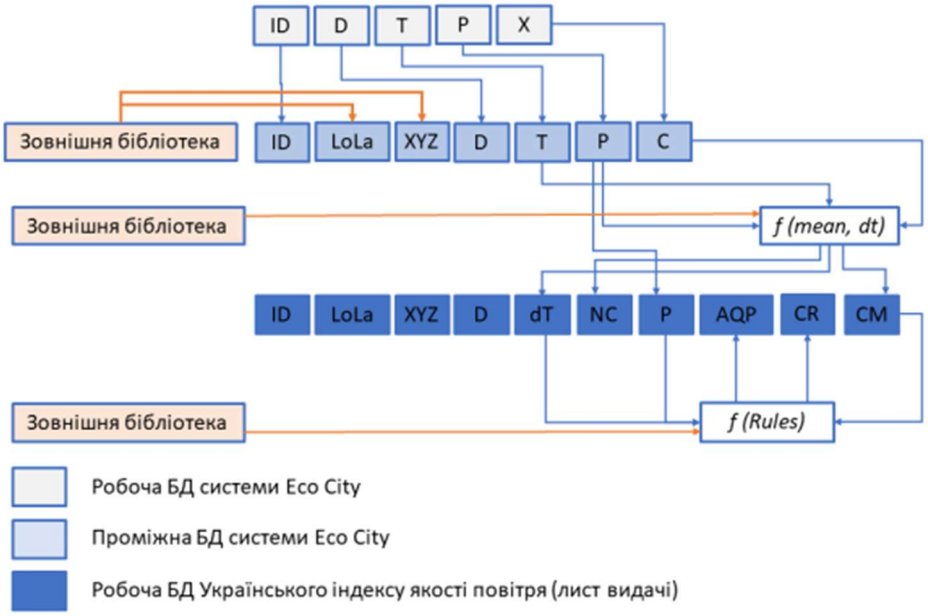


Рис.1.1.9. Структура та транспозиція робочого листа бази даних UAQI.

Алгоритм уточнення категорії якості повітря для параметрів без прихованих зв'язків та ефекту сумації зображений на рисунку 1.1.10.

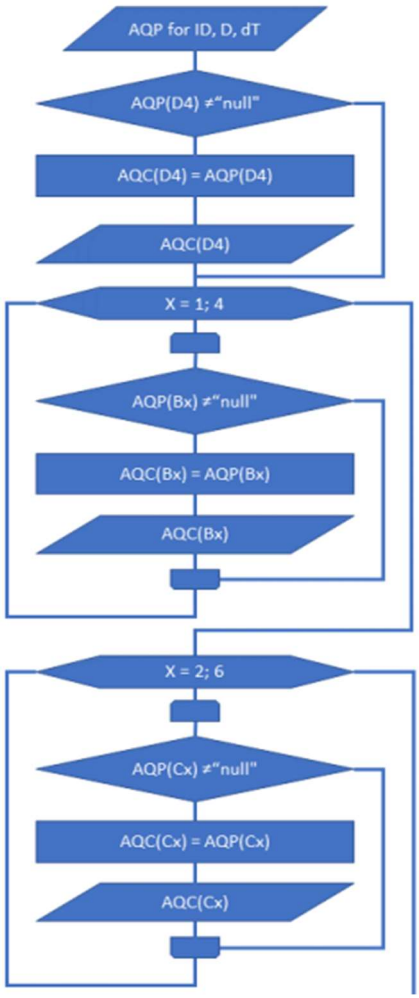


Рис.1.1.10. Алгоритм уточнення категоруії якості повітря для параметрів без прихованих зв'язків та ефекту сумації.

Для ефективного ухвалення усвідомлених рішень у випадку погіршення якості повітря, важливо надавати повідомлення, які не лише вказують на категорію забруднення, а й містять загальні поради щодо зменшення негативного впливу забрудненого повітря на здоров'я. Ці повідомлення повинні бути зрозумілими для населення і містити конкретні рекомендації, які можна виконати без спеціальних фахових пояснень та консультацій. Для цієї мети UAQI встановлює спеціальні повідомлення для загальної групи населення та окремих груп населення, які є уразливими або чутливими до забруднення повітря певною речовиною або загалом. У таблиці 1.1.3 перелічені чутливі до забруднення групи населення. Інформацію про уразливі та чутливі до забруднення категорії населення складено узагальненням досліджень WHO, досвіду EPA USA, EEA EU, Canada AQHI.

Для виконання завдань оповіщення про якість повітря, громадська мережа Eco City використовує чат-бот з назвою Radiation and Smog Alarm.

Таблиця 1.1.3. Чутливі до забруднення групи населення.

Група населення	Параметр моніторингу стану та якості повітря										
	TSP PM_{10} $PM_{2.5}$ PM_1	NO_2	CO	O_3	SO_2	VOC (H_2CO)	NH_3	H_2S	HCl	PH_3	DNO
Діти	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Особи похилого віку	+	+		+	+				+	+	
Особи, які працюють на відкритому повітрі	+	+	+	+	+				+	+	
Особи, які займаються фізичною активністю на відкритому повітрі		+	+	+	+				+	+	
Особи, які перебувають на лікуванні або реабілітації	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Особи, які мають виражені рефлекторні реакції на забруднення повітря	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Особи з низьким соціально-економічним статусом	+					+			+	+	
Особи зі значним розумово-когнітивним навантаженням			+			+			+	+	+

Чат-бот Radiation and Smog Alarm функціонує на власному сервері і користується динамічною та ретроспективною базами даних для забезпечення своєї роботи та оповіщення клієнтів. Він отримує первинні дані з динамічної бази даних Української мережі громадського моніторингу якості повітря Eco City, яка об'єднує результати моніторингу громадськості на сайті Eco City [64]. Також, згідно рекомендацій науково-технічних радників мережі "Eco City", чат-бот може використовувати відкриті партнерські бази даних мереж ЛУН Місто Air та Luftdaten.info. Після агрегації та інтерпретації отриманих результатів моніторингу, дані проходять первинну обробку відповідно до настанов та принципів Українського індексу якості повітря (UAQI).

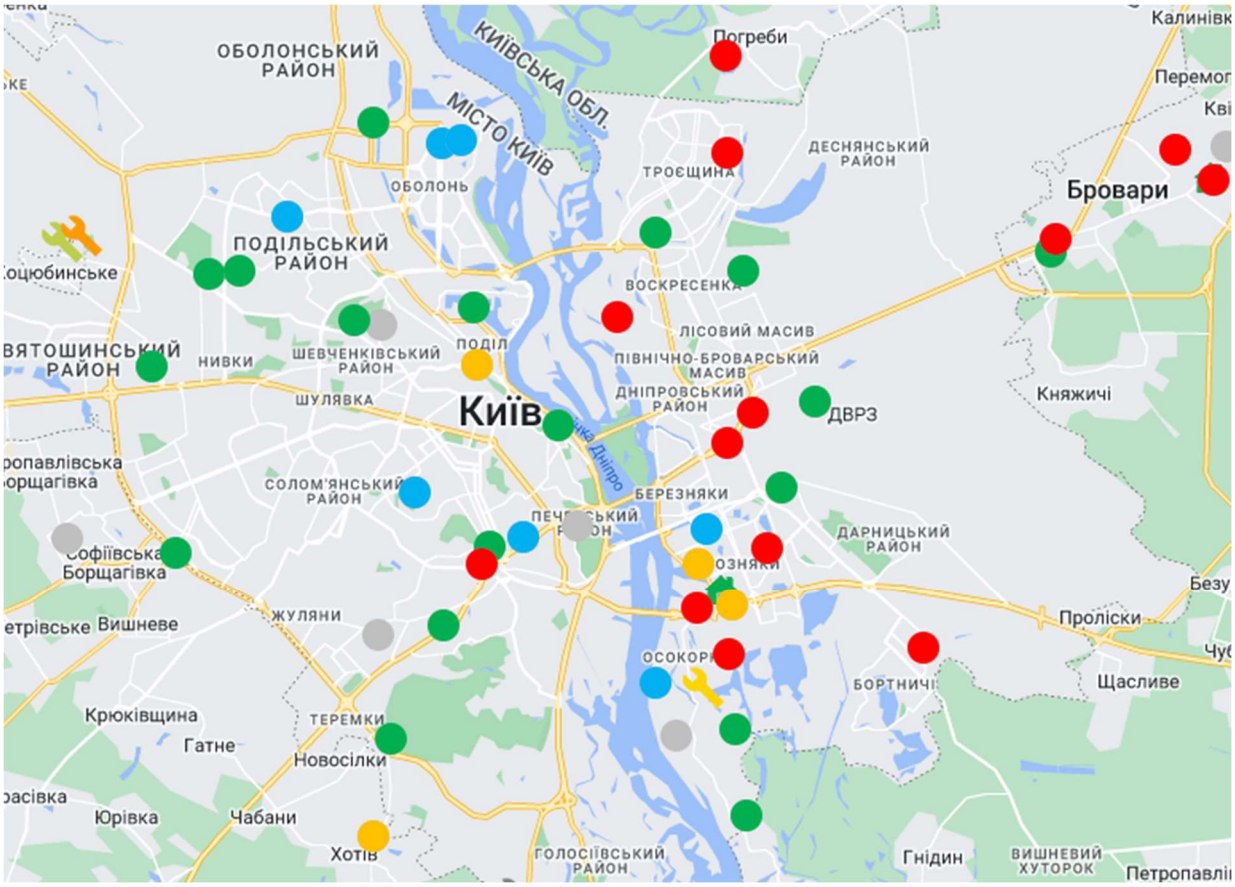


Рис.1.1.11. Карта моніторингу якості повітря Київ та київська обл. (Eco City).

На рисунку 1.1.11 зображена карта моніторингу якості повітря міста Києва і частини Київської області. На рисунку 1.1.12 зображені показники станцій спостереження в місті Києві.

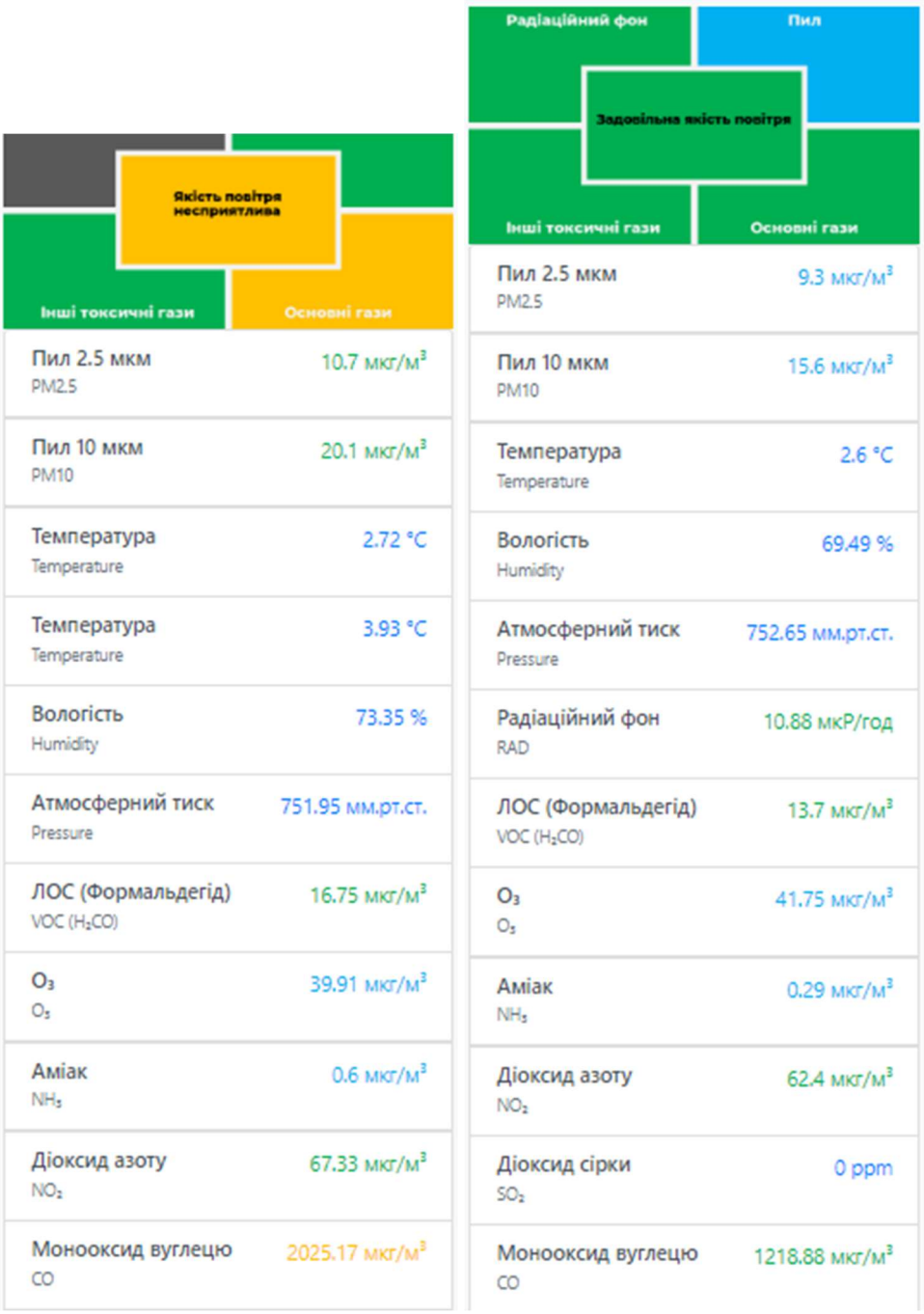


Рис.1.1.12. Показники станцій спостереження Eco-City.

ТОВ "УА-Системи" розробило автоматизовану систему екологічного моніторингу природного середовища під назвою АСЕМ Парус [67]. Ця система виконує ряд важливих функцій, включаючи:

- Вимірювання концентрацій хімічних речовин у повітрі, водних джерелах та ґрунтах.

- Сигналізація у випадку перевищення допустимих концентрацій забруднюючих речовин.

- Візуалізація контрольованих параметрів на робочому місці оператора.
- Побудова спеціалізованих екологічних карт.
- Захист інформації від несанкціонованого доступу.
- Архівування інформації.
- Формування звітів.
- Ведення баз даних.

На нижньому рівні системи АСЕМ Парус розташовані шафа поста контролю, первинні перетворювачі та пробовідбірні засоби. Шафа поста контролю АСЕМ Парус комплектується відповідно до технічного завдання. Основна конфігурація шафи включає систему збору, первинної обробки, зберігання і відображення даних вимірюваних параметрів, систему передачі даних на верхній рівень, систему контролю працездатності АСЕМ Парус, а також електротехнічне обладнання. Додатково шафа поста контролю може бути оснащена автоматичною метеостанцією, обладнанням клімат-контролю, пожежною сигналізацією та іншим обладнанням за замовленням (рис.1.1.14). Устаткування шафи постів контролю розміщується всередині всепогодного блок-контейнера (рис.1.1.13).



Рис.1.1.13. Шафа екологічного моніторингу Парус3М.



Рис.1.1.14. Приклад комплектації АСЕМ Парус рівня первинних перетворювачів і пробовідбірних засобів.

До складу еколого-геологічного моніторингу входить розробка технічного (геологічного завдання), реєстрація об'єкту в Держгеонадра (за потреби), проектно-кошторисні, польові, дослідницькі, лабораторні і камеральні роботи, складання звіту, побудова динамічної моделі об'єкту моніторингу.

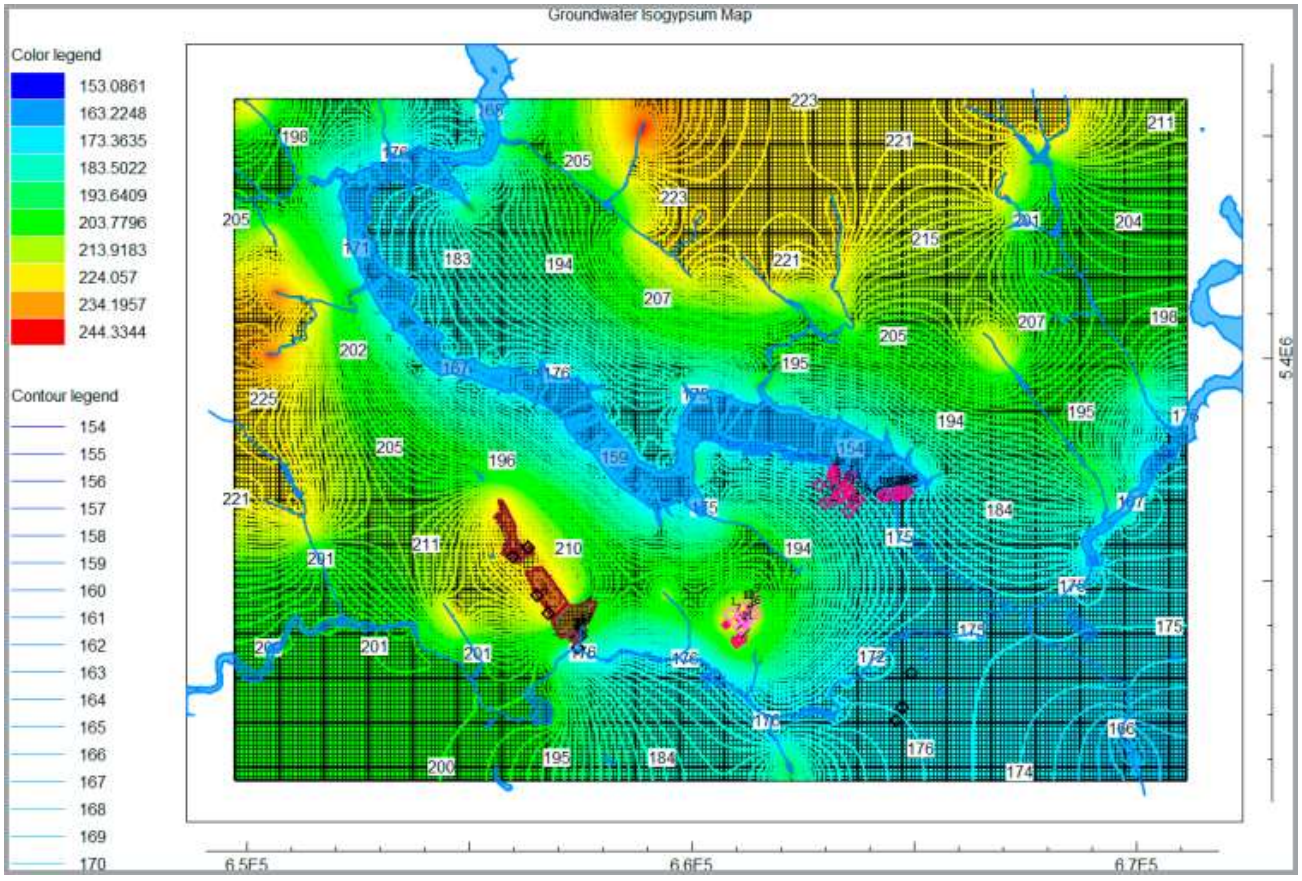


Рис. 1.1.14. Карта підземних вод.

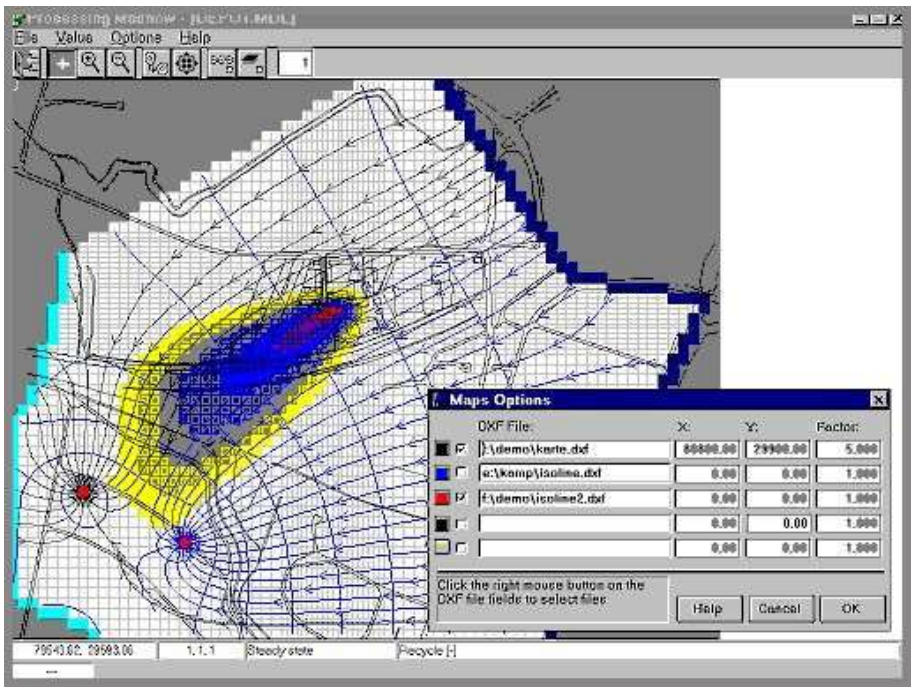


Рис. 1.1.15. Карта структурна водоносного джерела з направленням можливого руху водних потоків.

Результати дослідження екологічного об’єкту формуються в формі карт, тривимірних зображень та іншого. (рис. 1.1.14, 1.1.15, 1.1.16).

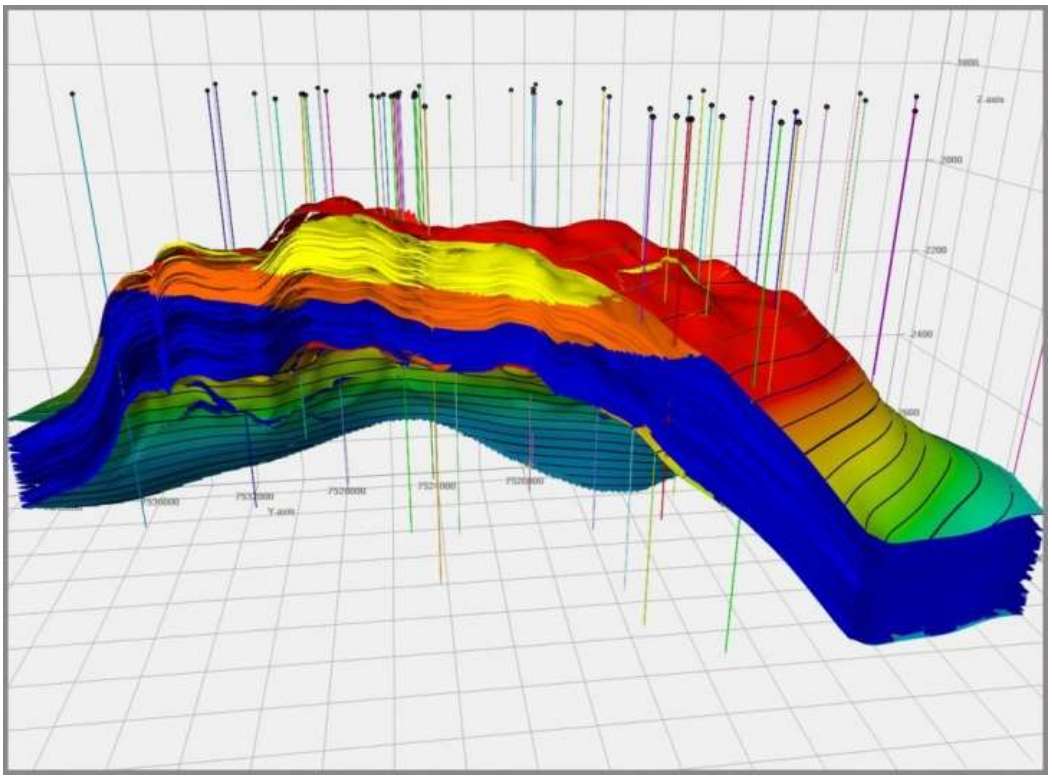


Рис. 1.1.16. Тривимірне зображення ймовірного розташування грунтових вод шарах породи..

1.2. Огляд громадських спільнот екологічного моніторингу.

Треба зазначити розвиток і існування мережі приватних ресурсів моніторингу довкілля що побудовані на аматорських станціях контролю параметрів навколишнього середовища. Серед яких можна виділити narodmon.com, sensor.comunity, purpleair.com та інші. На рисунках 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 зображені карти покриття вище перечисленими ресурсами. При якісному модеруванні аматорських станцій моніторингу досягається не менша якість коефіцієнту довіри до цих ресурсів [7, 6, 5].

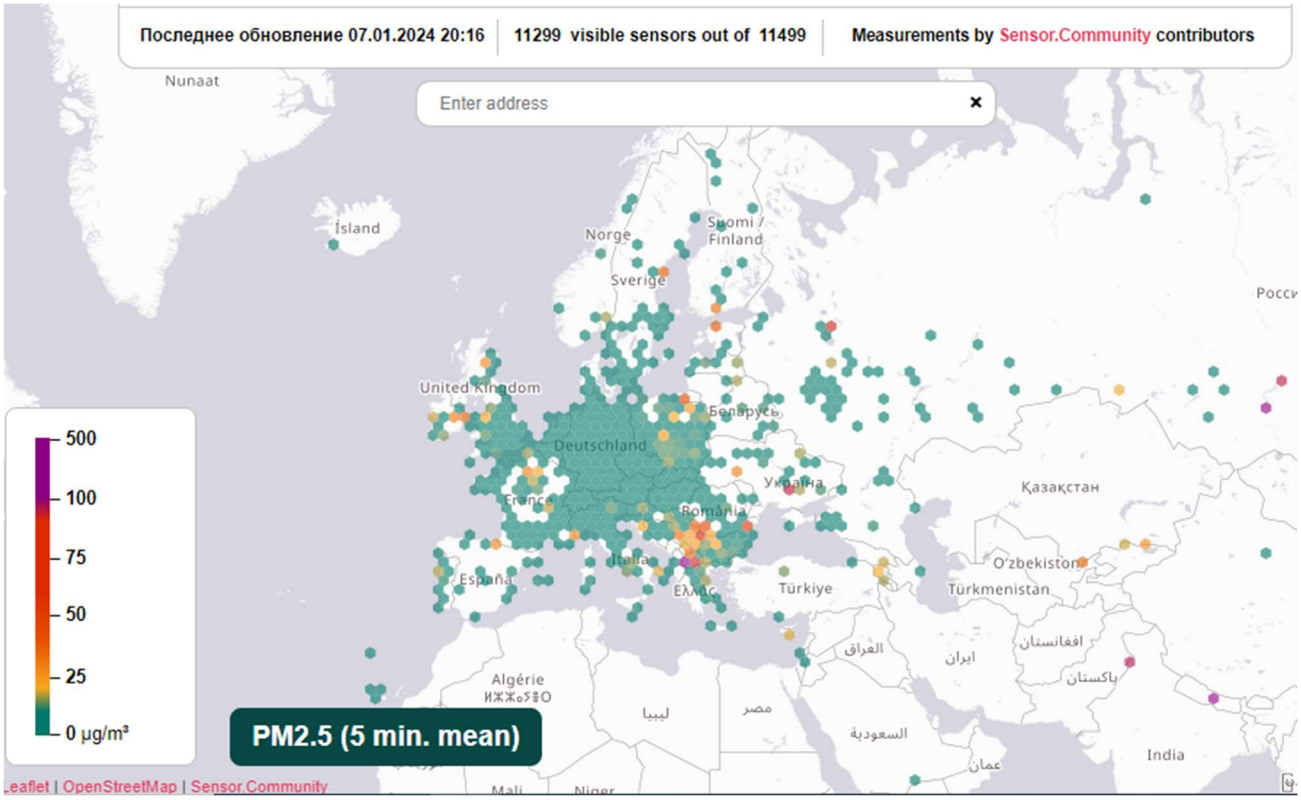


Рис.1.2.1. Карта покриття сенсорами sensor.community.

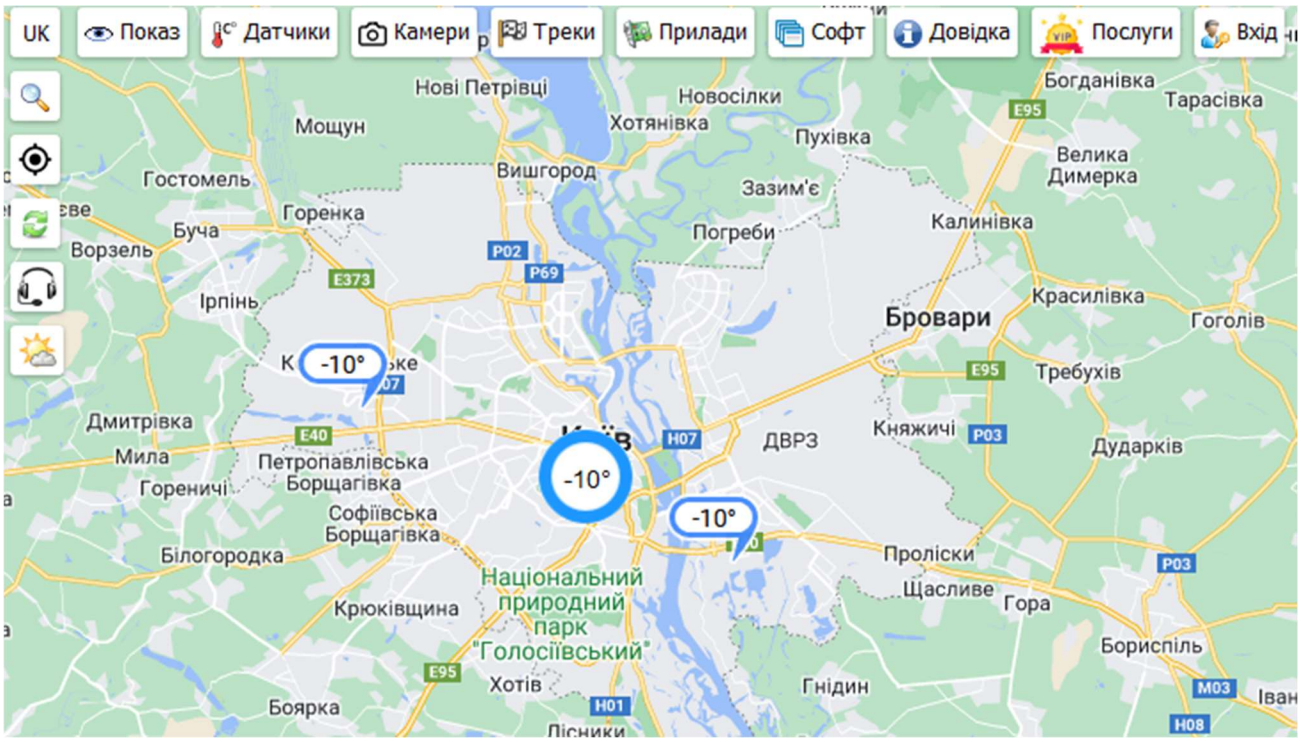


Рис.1.2.2. Карта покриття сенсорами narodmon.com.

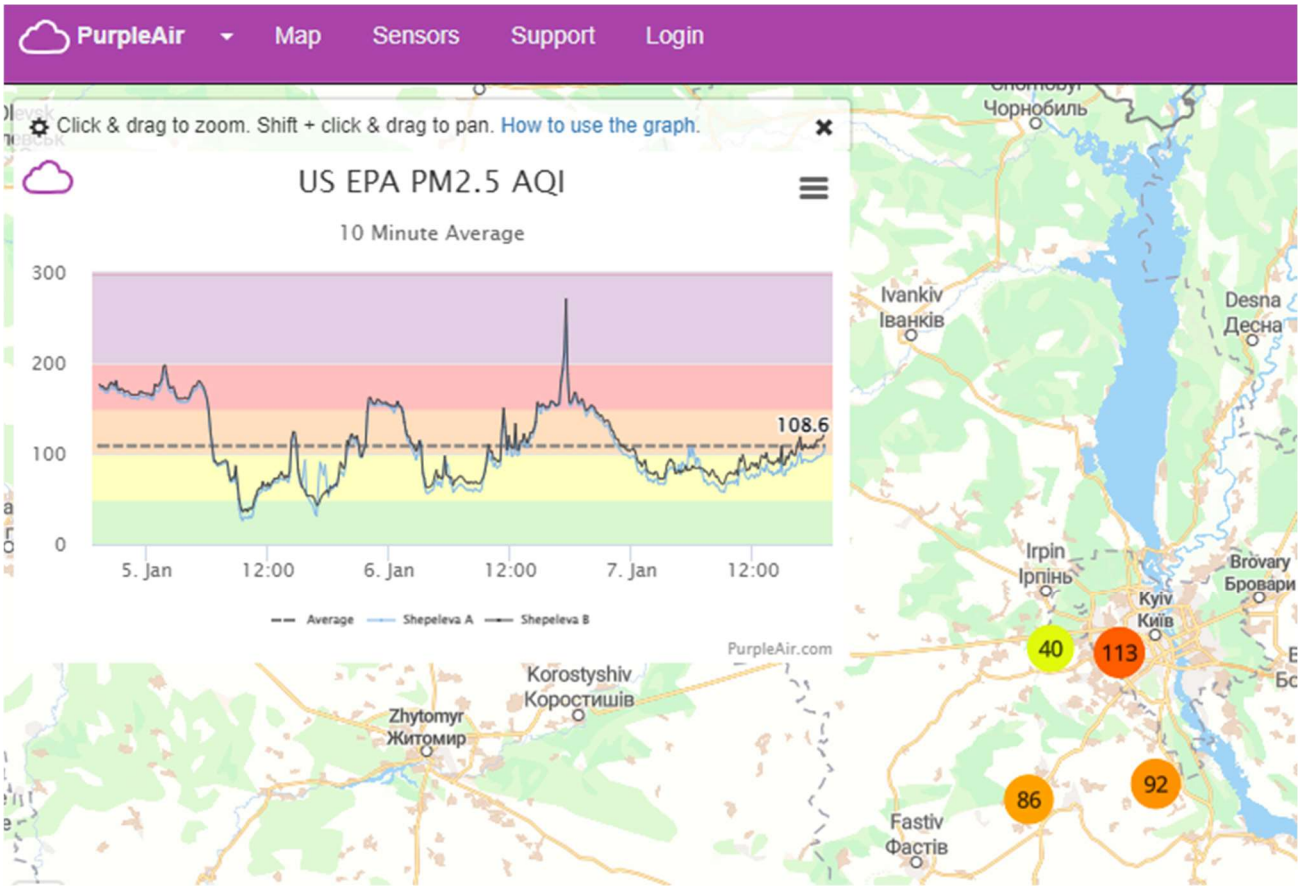


Рис.1.2.3. Карта покриття сенсорами purpleair.com.

При концентрації станцій моніторингу довкілля різного рівня побудови в одному регіоні вимальовується доволі об’єктивна картина для загальної

оцінки стану екологічної системи, що дає можливість отримувати незалежні дані по забрудненню навколишнього середовища.

Luftdatten.info – громадський науковий проект в Німеччині, на якому реалізована програма ОК Lab Stuttgart, що займається вимірюванням дрібного пилу. Метою програми є сприяння розробкам у сферах прозорості, відкритих даних та громадянської науки. Тисячі спонсорів по всьому світу встановлюють саморобні вимірювальні прилади на зовнішній стіні свого будинку. На основі переданих даних luftdaten.info створює постійно оновлювану карту дрібного пилу [68]. На платформі покроково описані процеси створення саморобних вимірювальних приладів стану повітря та шуму. Приклад створення вимірювального приладу наведено на рисунку. Використовується мікроконтролер NodeMCU ESP8266/Wi-Fi, датчик дрібного пилу SDS011, датчик вологості, температури, тиску BME280. Пропонується готова прошивка для мікроконтролера з реалізацією виводу даних на платформу Luftdaten.info.

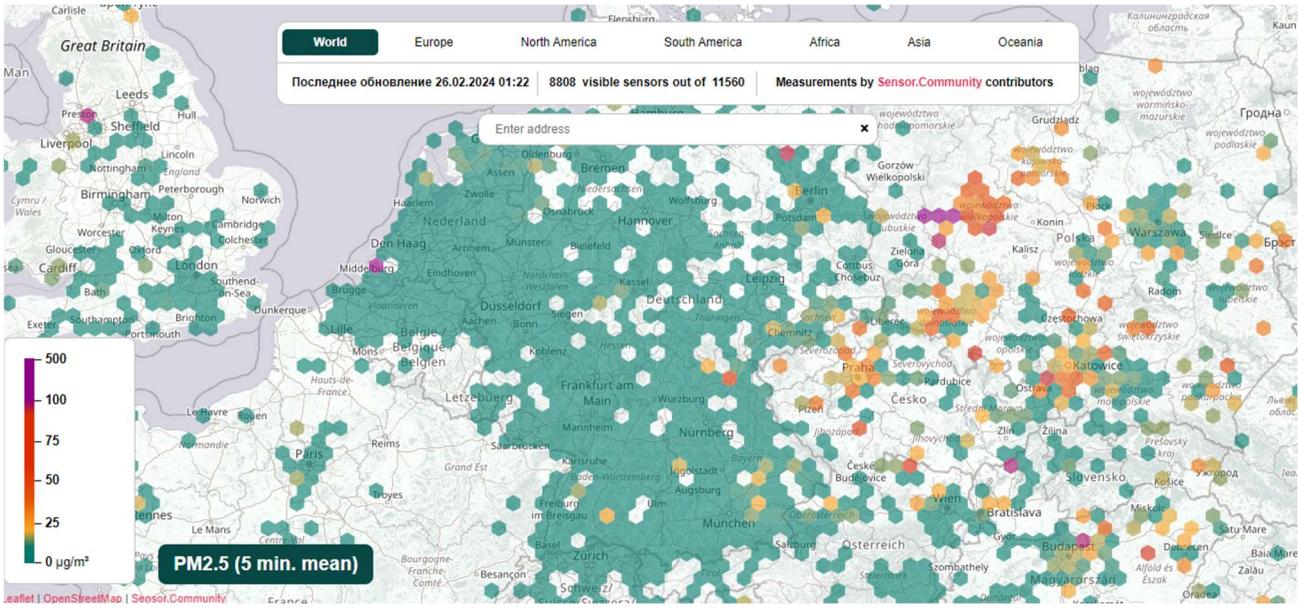


Рис.1.2.4. Luftdaten.info карта дрібного пилу.

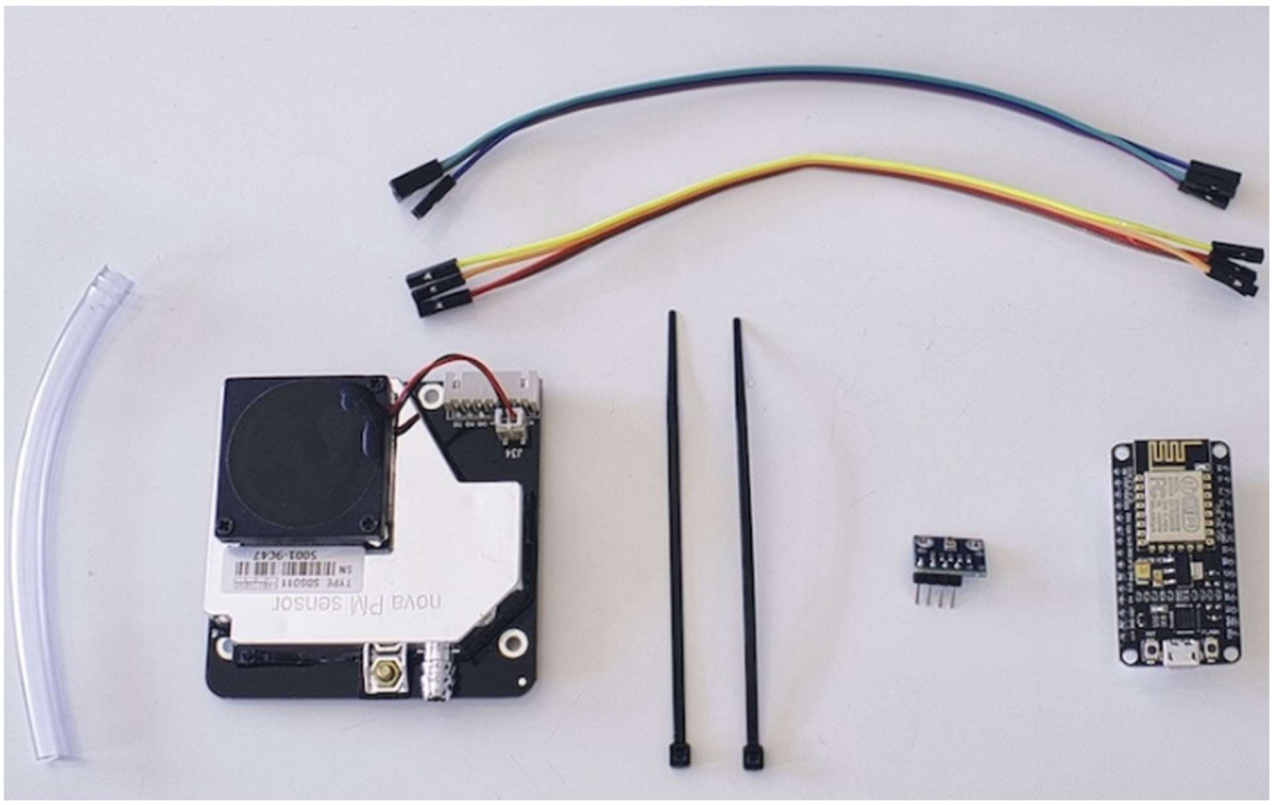


Рис.1.2.5. Реалізація вимірювального приладу Luftdaten.info.

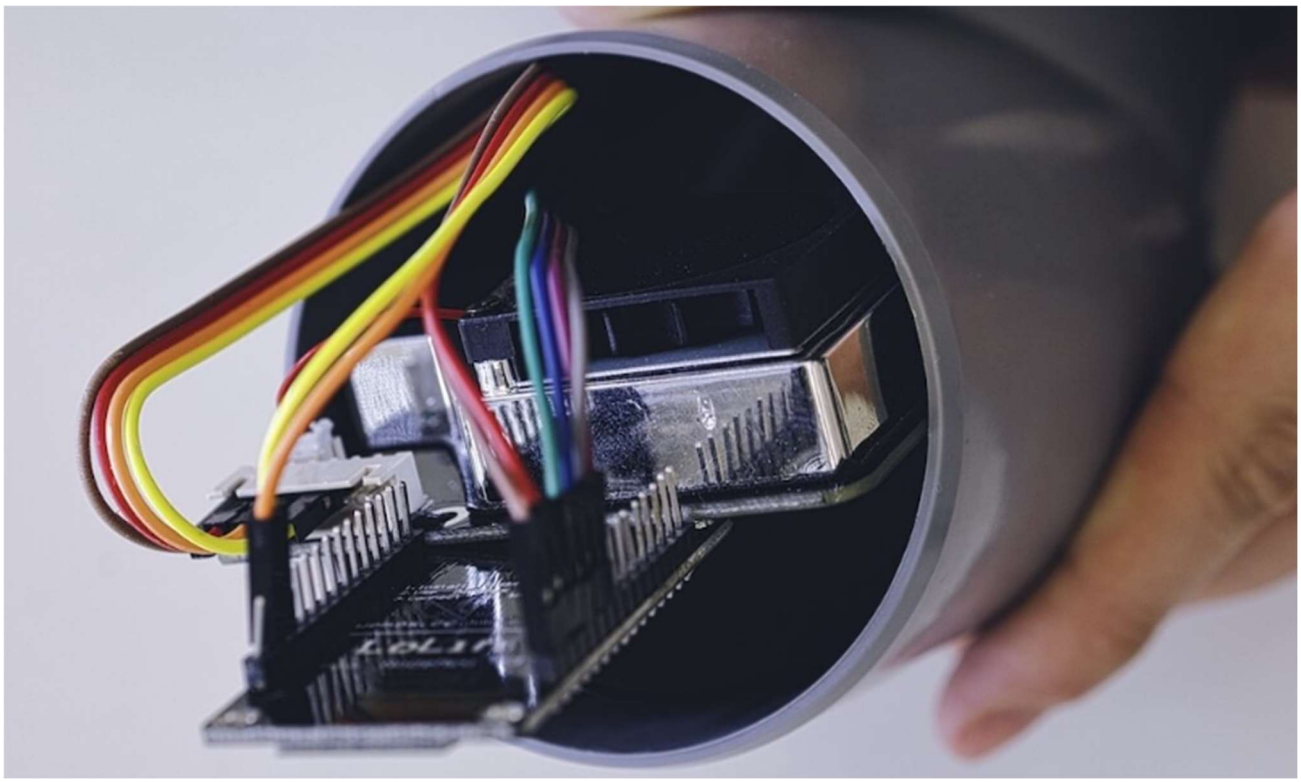


Рис.1.2.6. Реалізація в корпусі труби вимірювального приладу Lufdaten.info.

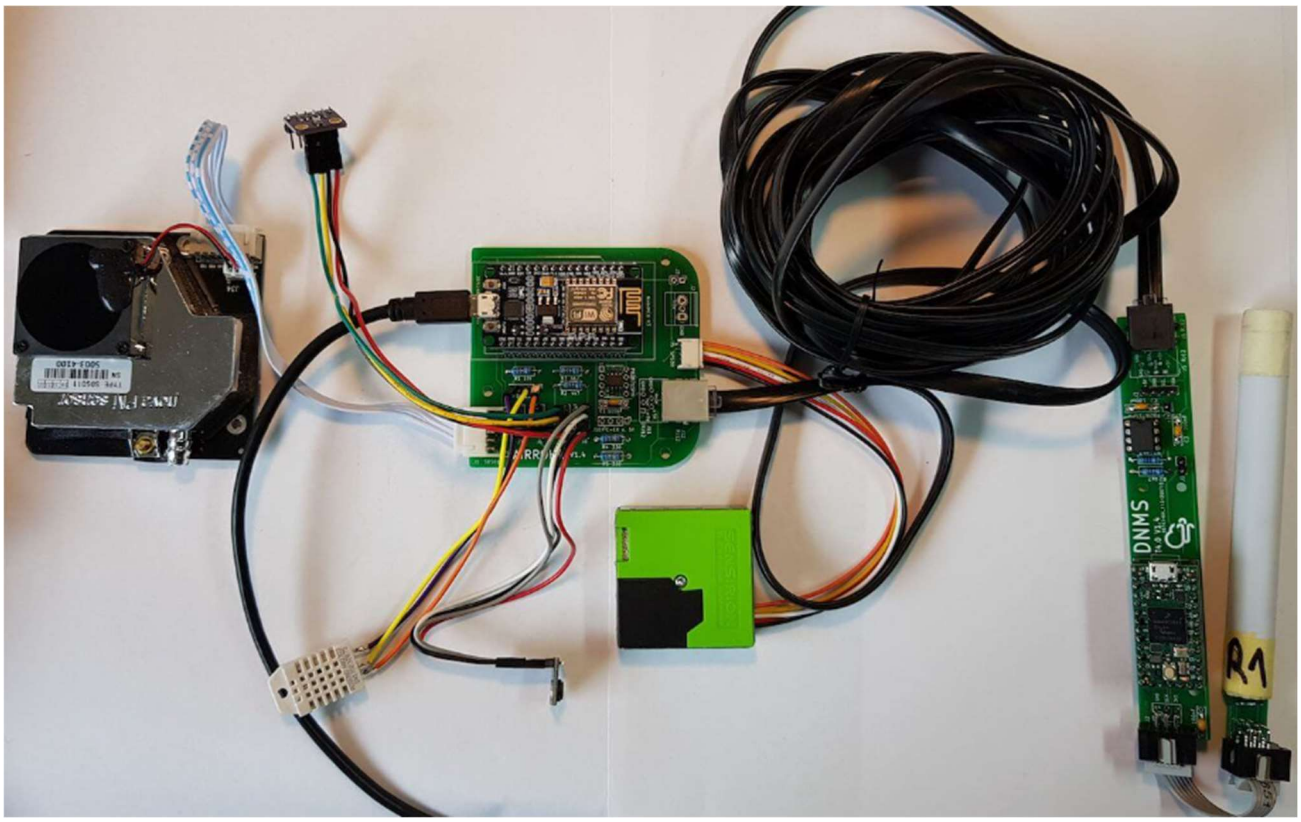


Рис.1.2.7. Реалізація датчику шуму Luftdaten.info.

Цифровий датчик вимірювання шуму (DNMS) реалізується на базі NodeMCU ESP8266/WiFi, використовується плата розробки Tinsy 4.0, цифровий мікрофон ICS-43434 (Рисунок). Датчик шуму може виміряти рівень шуму у вигляді рівнів звуку LAeq, LAmin, Lamax.

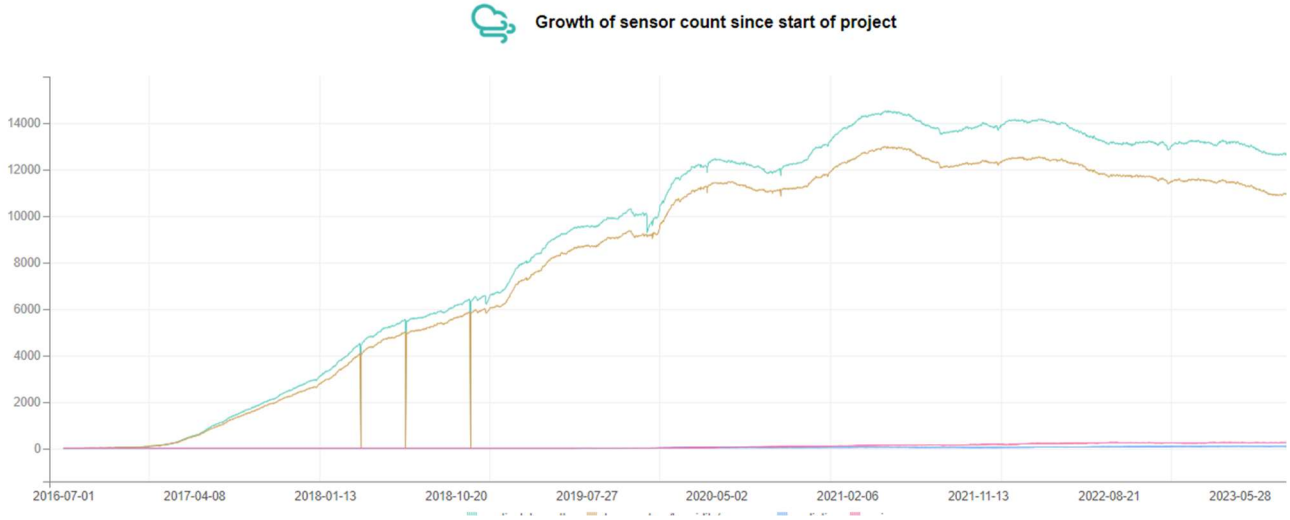


Рис. 1.2.8. Датований графік розвитку проекту Luftdaten.info.

OpenSenseMap - платформа для безкоштовних екологічних даних. Концепція проекту це щоб openSenseMap.org став своєрідною Вікіпедією для даних про навколишнє середовище. Мета - сприяти освіті, захисту навколишнього середовища та клімату, підтримувати інтерес до STEM, громадянської науки, відкритих даних та відкритого коду.

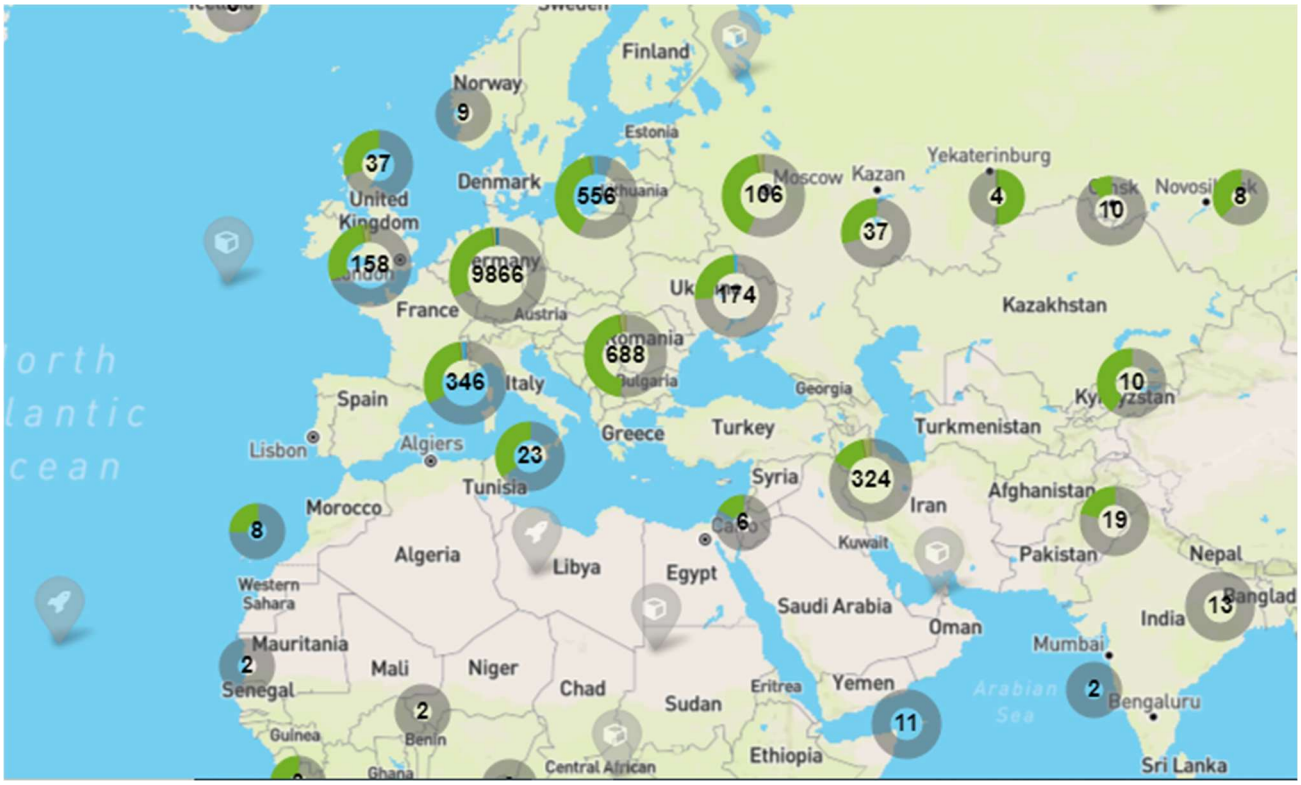


Рис.1.2.9. Карта датчиків OpenSenseMap.

Щоб забезпечити доступність openSenseMap.org для всіх безкоштовно та без реклами, було створено некомерційну організацію openSenseLab gGmbH. Це дозволяє продовжувати технічний та змістовий розвиток openSenseMap.org, а також забезпечує довгострокове фінансування [69].

1.3. Технологія LoRa огляд.

LoRa (скорочення від long range) — це техніка модуляції з розширеним спектром, яка походить від технології розширеного спектра (CSS). LoRa від Semtech – це бездротова платформа великого радіусу дії та малої потужності, яка фактично стала бездротовою платформою Інтернету речей (IoT). Пристрої та мережі LoRa, такі як LoRaWAN®, створюють розумні додатки IoT, які вирішують деякі з найбільших проблем, що постають перед нашою планетою: управління енергією, скорочення природних ресурсів, контроль забруднення, ефективність інфраструктури та запобігання катастрофам. Пристрої Semtech LoRa накопичили кілька сотень відомих варіантів використання для розумних міст, будинків і будівель, спільнот, вимірювань, ланцюгів постачання та логістики, сільського господарства тощо. Завдяки сотням мільйонів пристроїв, підключених до мереж у більш ніж 100 країнах, LoRa створює розумнішу планету [52, 53].



Рис. 1.3.1. Загальний вигляд застосування пристроїв Lora.

Пристрої LoRa та стандарт LoRaWAN пропонують переконливі функції для додатків IoT, включаючи великий радіус дії, низьке енергоспоживання та безпечну передачу даних. Технологія використовується загальнодоступними, приватними або гібридними мережами та забезпечує більший діапазон, ніж

стільникові мережі. Розгортання можна легко інтегрувати в існуючу інфраструктуру та використовувати недорогі додатки Інтернету речей, що працюють від батарей. Чіпсети Semtech LoRa вбудовуються в пристрої, вироблені великою екосистемою постачальників рішень IoT, і підключаються до мереж по всьому світу. Простіше кажучи, LoRa підключає пристрої до хмари, надаючи «голос» речам — роблячи світ кращим місцем для життя, роботи та розваг [54, 55].

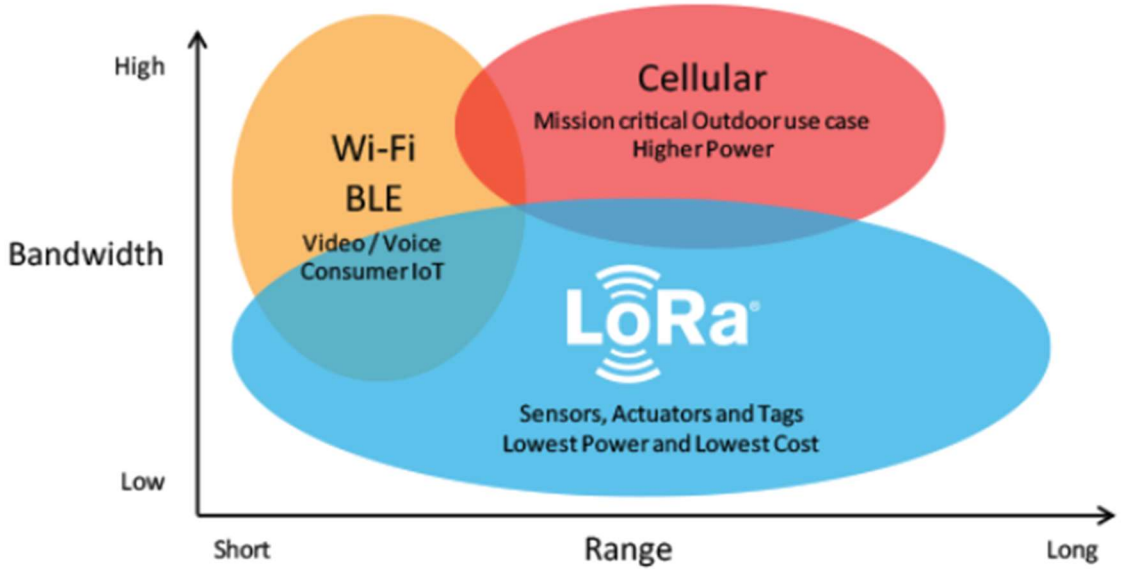


Рис. 1.3.2. Порівняння діапазону покриття Lora та інших радіо технологій.

Пристрої Semtech LoRa, блоки програмного забезпечення LoRa Basics™, програмні рішення LoRa Cloud™ і стандарт LoRaWAN пропонують ефективне, гнучке та економічне рішення реальних проблем у сільській місцевості та всередині приміщень, де стільниковий зв'язок, Wi-Fi та Bluetooth низькі Енергетичні (BLE) мережі неефективні.

Радіоприймач SX1268 суб-ГГц є ідеальним пристроєм для бездротових додатків великої дальності. Він розрахований на тривалий час роботи від батареї лише з 4,2 мА активного струму прийому споживання. SX1268 може передавати до +22 дБм при 490 МГц з високоефективними інтегрованими підсилювачами потужності. На частоті 780 МГц SX1268 споживає менше 20 мА передавати сигнал +10 дБм через антенний порт.

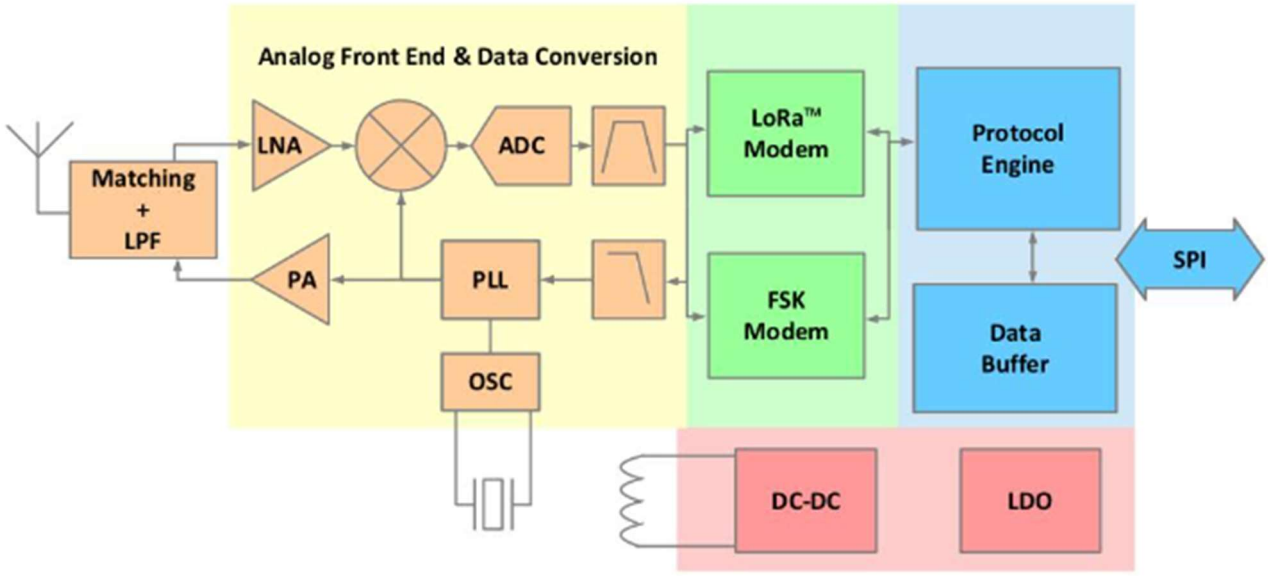


Figure A: SX1268 Block Diagram

Рис. 1.3.3. Блок схема радіомодуля Lora.

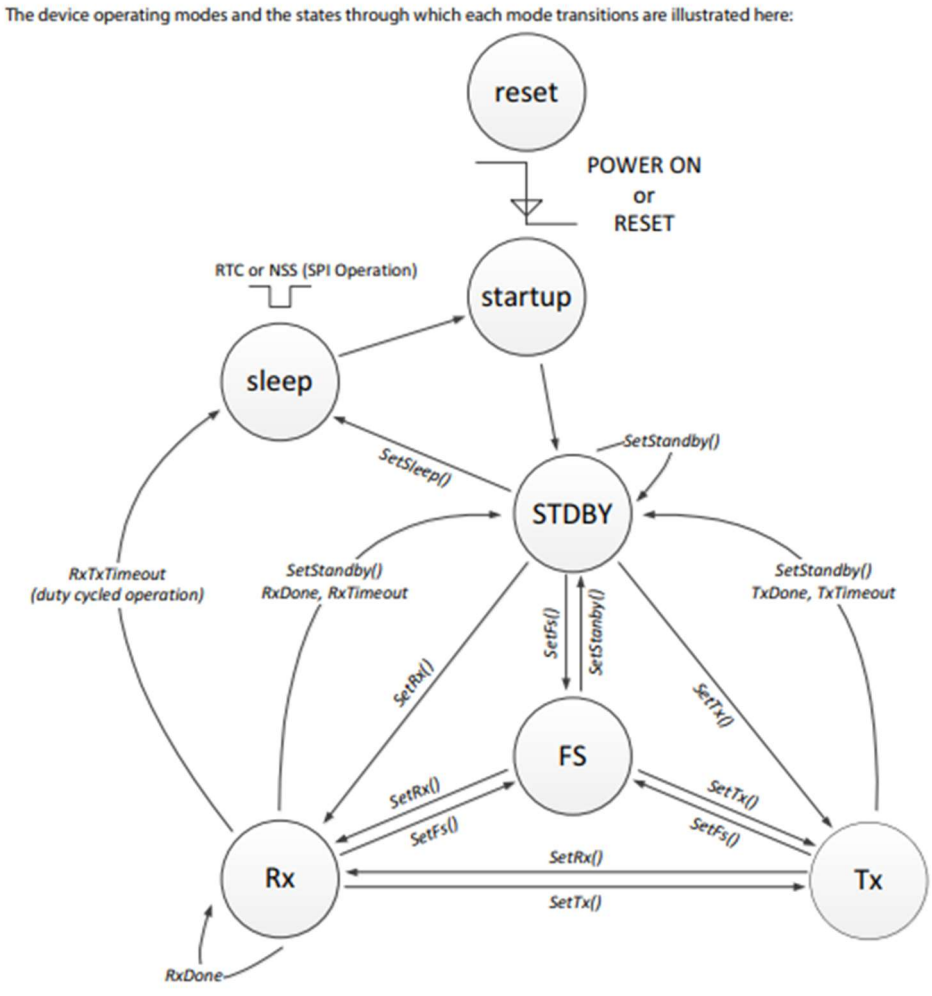


Figure 9-1: Transceiver Circuit Modes

Рис. 1.3.4. Алгоритм роботи радіомодуля Lora.

Розповсюдження використання платформи LoRa для приватних мереж можна наглядно спостерігати через сервіс TTN Mapper. TTN Mapper — це проект спільноти для картографування покриття The Things Network. Добре розвинена мережа LoRa спостерігається в ЄС, наприклад в місті Варшава (Польща), що відображено на рисунку. В Україні використання мереж на базі платформи LoRa знаходиться на початковій стадії і онлайн сервіси не мають розповсюдження.

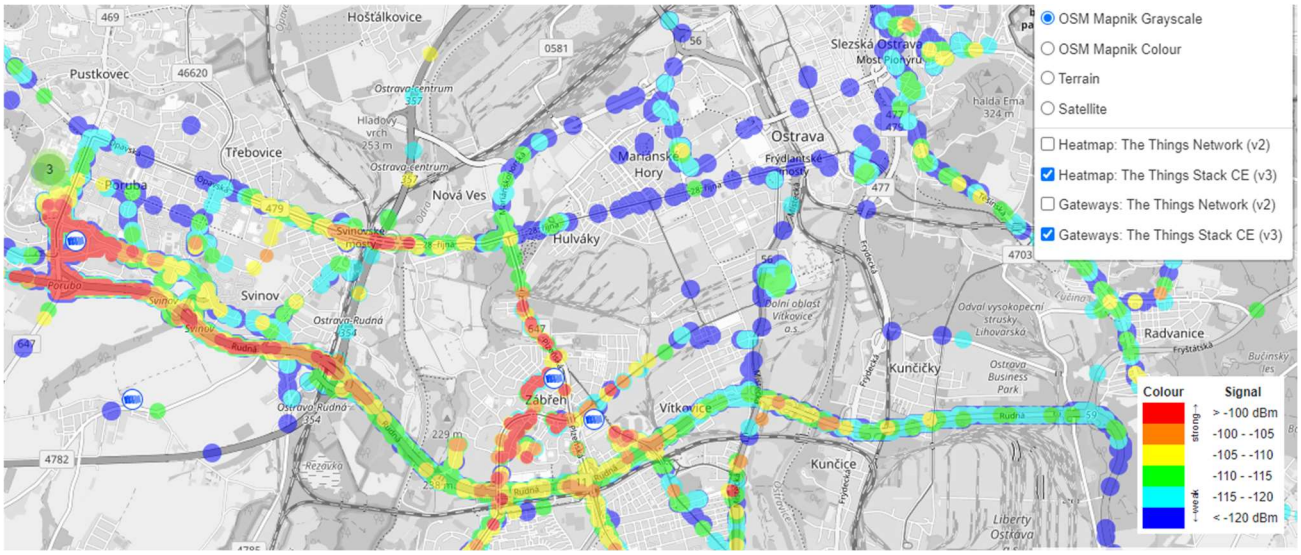


Рис. 1.3.5. Карта покриття платформи TTN Mapper пристроями Lora (Польща, м. Варшава)

1.4. Наукова постановка задачі

В результаті проведеного аналізу існуючих літературних джерел, можемо підсумувати, що на сьогодні автоматизовані системи моніторингу ОЕС недостатньо розвинені в Україні.

В той же час подібні системи проходять апробацію в розвинених країнах Європи, південно-східної Азії, Північної Америки. Парк сенсорів та мікроелектронних приладів дозволяє масово впроваджувати подібні рішення на рівні побутових та державних користувачів.

Є певні проблеми з комунікацією вузлів мережі. Обмеження географічні, просторові, зони невисокої щільності населення. Виникає потреба в побудові низько швидкісних але далекобійних БСМ для під'єднання вузлів в екосистему, тому варто звернути увагу на перспективні технології широкосмугового зв'язку на кшталт LoRa.

Для побудови системи було проведено декомпозицію блоків за критеріями використання АСУ для ОЕС.

Мета та завдання дослідження. Мета дослідження полягає у підвищення ефективності автоматизованого адаптивного моніторингу за станом обмеженої екосистеми за рахунок впровадження інформаційної технології із використанням хмарних та IoT технологій.

Для розв'язання наукового завдання та досягнення мети дослідження в роботі поставлені і розв'язані такі **часткові наукові завдання**:

- Проведено аналіз наукових досягнень в галузі систем автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем.

- Проведено аналіз можливості використання хмарних та IoT технологій, алгоритмів і моделей для екологічного моніторингу обмежених екосистем.

- Запромоновано розробити інформаційну технологію для адаптивного екологічного моніторингу з використанням хмарних та IoT технологій.

- Запропоновано розробити програмно-апаратні комплекси

автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу із застосуванням ефективних інформаційно-телекомунікаційних технологій.

- Запропоновано перевірити ефективність системи автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем. Проведено експертно-аналітичні дослідження, оцінено достовірність та адекватність отриманих результатів.

- Обґрунтувати рекомендації щодо практичного впровадження автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу для обмежених екосистем.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ФОРМАЛІЗОВАНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

2.1. Формалізована постановка задачі прогнозування.

Існує ряд задач, які описуються наступним чином. На певній поверхні або в просторі у фіксованих точках, визначених координатами, задані або відомі числові значення деякої безперервної функції. Ці точки обмежені умовами експерименту або можливостями вимірювань. Потрібно обчислити ймовірні значення функції в точках, які не належать вихідній множині.

Наприклад, прогнозування погоди, обмежуючись лише температурою в заданих місцях, коли поточні значення температури виміряні лише в обмеженій кількості населених пунктів, що мають відомі координати. Потрібно знайти ймовірні показники температури в інших точках, де заміри не проводились. Подібна ситуація виникає при визначенні атмосферного тиску або температурних показників води в різних точках морського або океанічного басейну. Наступний випадок - прогнозування загасання радіохвиль різного частотного діапазону в залежності від напрямку розповсюдження та віддаленості до передавача.

Також очевидно, що повністю формалізувати описану ситуацію в загальних рисах надскладно. У цьому розділі спробуємо розглянути варіанти такої формалізації та інструменти, які слід використовувати для прогнозування.

При аналізі ОЕС суттєвими є обмеження просторові (географічні) та політичні. Крім того, важливі також структурні особливості навколоземного космічного простору, які необхідні для поширення збурень. Очевидно, що прогнози також не є абсолютно надійними через вплив множини випадкових величин, які практично неможливо врахувати.

Нехай вихідна сукупність точок, з відомим значенням деякого параметра S (загасання, тиску, температури, вологості, тощо), задана на деякій координатній сітці своїми координатами і має відповідне чисельне значення

параметра. Умовне зображення для полярної системи координат показано на рис.2.1.1. Маючи інформацію про значення параметра відомих точок потрібно знайти значення параметра S_{xy} для деякої точки з координатами (x, y).

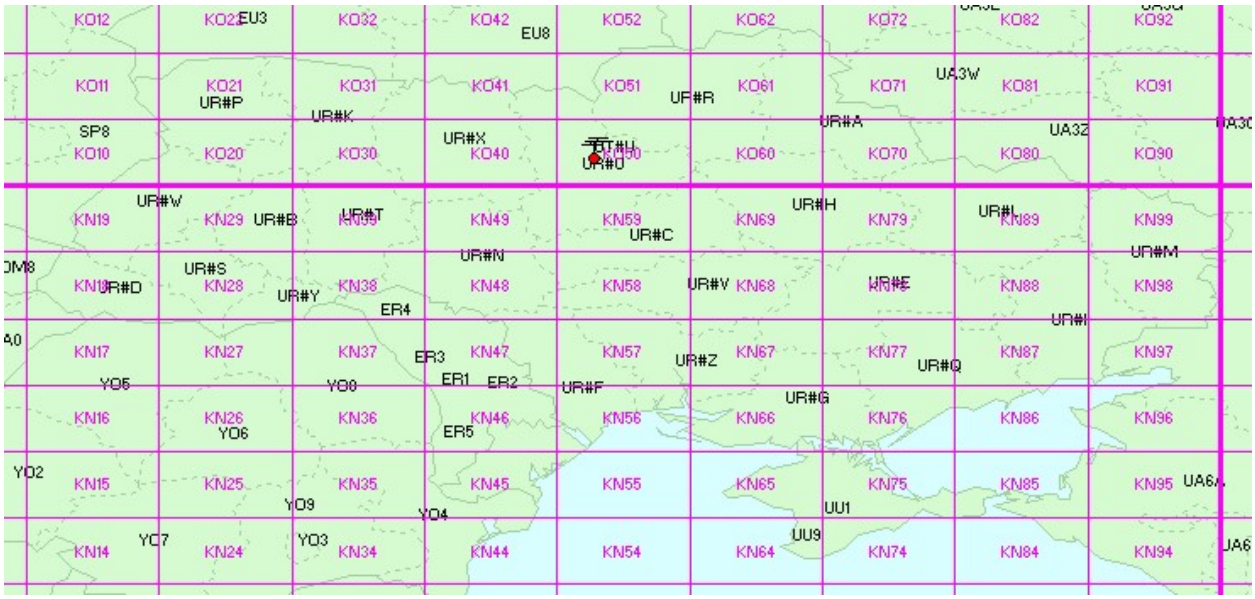


Рис. 2.1.1. Карта забруднення.

Постановка такої досить загальної задачі явно не дуже продуктивна і не підходить для конкретної предметної області, принаймні, для якої є додаткова інформація статистичного характеру. Перш за все, мова йде про кореляцію між значеннями параметрів в різних точках на координатній сітці.

Вважаємо, що вихідна інформація для оцінки представлена у вигляді таблиці 2.1.1 з відсортованими за адресою або часом вимірюваннями, де для кожної точки поля $S_{ij}(i = 1 \ldots k; j = 1 \ldots l)$ записано значення параметра на момент поточного вимірювання. Аналогічні таблиці складені для першої черги більш ранніх вимірювань. Таким чином отримаємо основу для комп'ютерної експертної бази системи прогнозування, що включає в себе сукупність таблиць або матриць. З початком процедури обчислення прогнозування для точки, що має задані координати будуть відомі значення параметра S_{ij} для всіх точок, що доступні для вимірювання в попередніх сеансах вимірювання.

Таблиця 2.1.1.

Дата (час)	Значення параметра S в точках: $A_{11}A_{12}\dots A_{1n}A_{21}A_{22}\dots A_{2n}\dots A_{k1}A_{k2}\dots A_{kn}$
t_1	$S_{11}S_{12}\dots S_{1n}S_{21}S_{22}\dots S_{2n}\dots S_{k1}S_{k2}\dots S_{kn}$
t_2	$S_{11}S_{12}\dots S_{1n}S_{21}S_{22}\dots S_{2n}\dots S_{k1}S_{k2}\dots S_{kn}$
…	…
t_i	$S_{11}S_{12}\dots S_{1n}S_{21}S_{22}\dots S_{2n}\dots S_{k1}S_{k2}\dots S_{kn}$

Перше питання - які точки, що оточують прогнозовану точку S_{xy} слід приймати до уваги в першу чергу? Очевидно, це ті точки, які найбільш сильно пов’язані з S_{xy}. Це означає, що при зростанні значення параметра S_{xy} для деякої точки в порівнянні з попередніми значеннями, для прогнозованої точки значення параметра S_{xy} статистично буде завжди синхронно зростати або зменшуватись, таким чином є статистична закономірність. Ступінь такого взаємозв'язку далі оцінюється за допомогою коефіцієнта кореляції.

Представимо узагальнену схему системи у вигляді взаємопов’язаних блоків та модулів (рис.2.1.2).

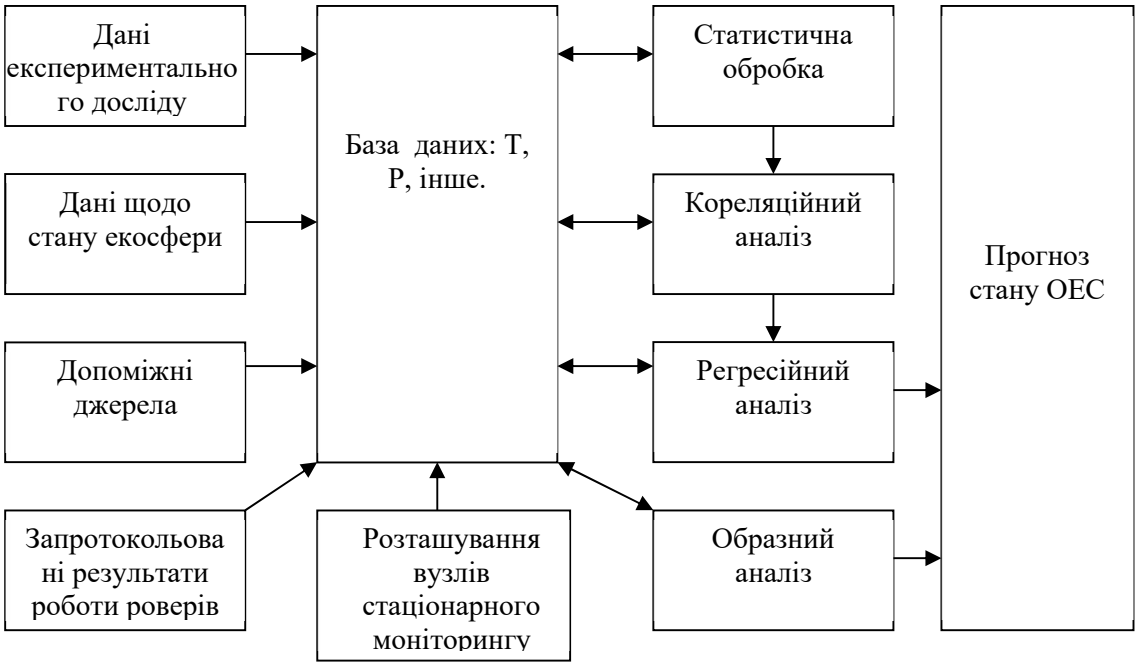


Рис. 2.1.2. Загальна схема системи

В укрупненому вигляді загальний алгоритм обчислення прогнозованого значення параметра S_{xy} може бути представлений у вигляді етапів:

1. Створення первинної інформаційної бази.

З початком першого часового вимірювання t_1, заповнюється таблиця (Табл.2.1.1) . Дані надходять з експериментальних дослідів та інших допоміжних джерел.

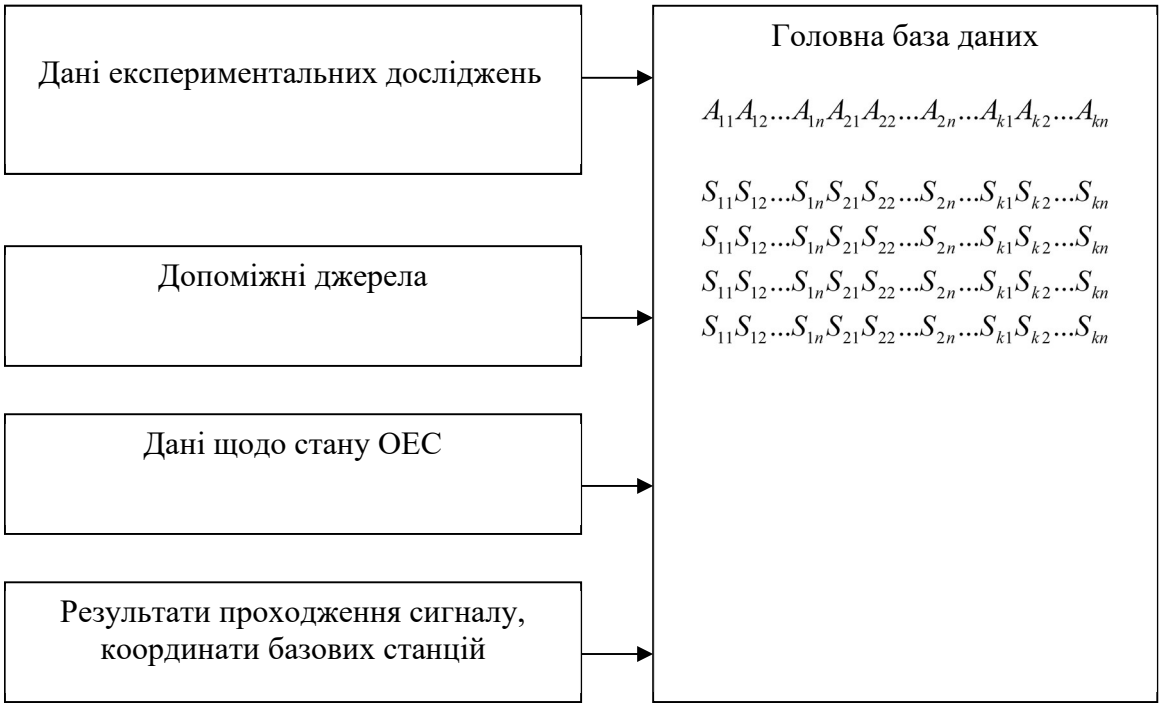


Рис.2.1.3. Формування початкової інформаційної бази.

Розглянемо більш детально її складові.

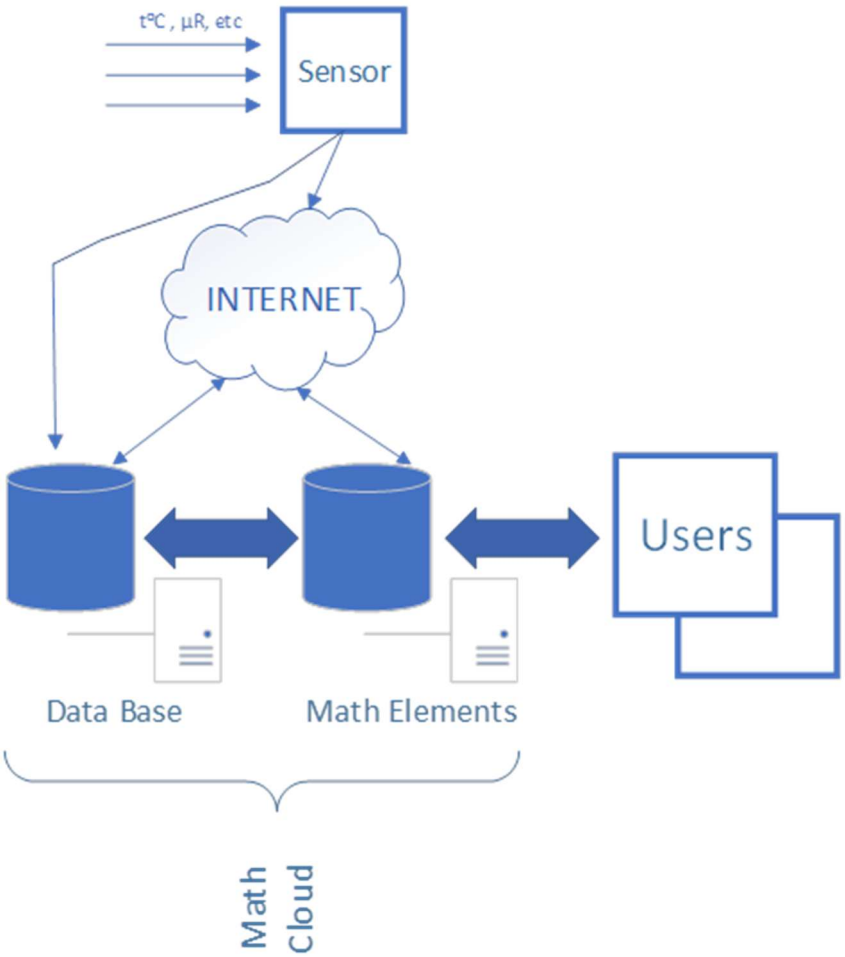


Рис.2.1.4. Розгорнута схема експериментальних досліджень

Результати експериментальних досліджень розглянуті у відповідному розділі 4.

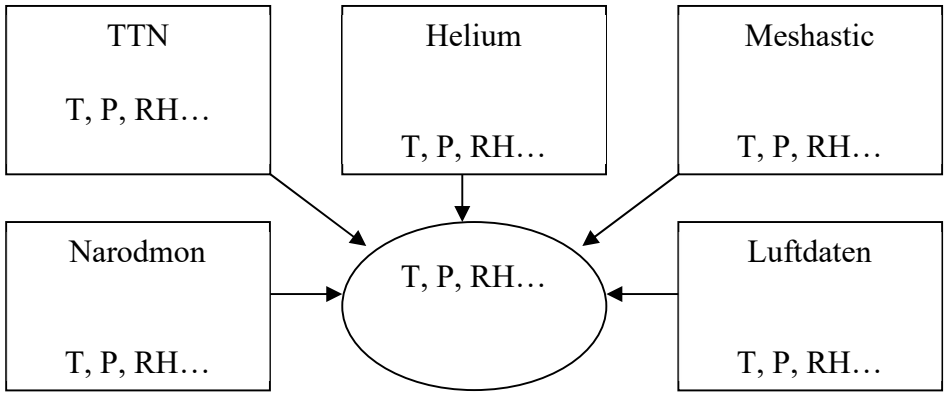


Рис.2.1.5. Дані, що надходять від допоміжних джерел

Отримання даних від допоміжних джерел наведено у відповідному розділі 1.

У даному сеансі ми припускаємо, що вимірювання проводяться лише з обмеженим набором точок. Тобто рядки таблиці містять прочерки, відповідні

точкам, в яких вимір не виконувався. З іншого боку, в рамках конкретного сеансу вимірювання можуть виконуватися з використанням різних незалежних методів, і середні результати вимірювань заносяться в таблицю.

2. Створення кореляційної матриці для точок прогнозування A_{xy}. У відповідності з специфікою об'єкту дослідження обчислюються коефіцієнти кореляції між точкою A_{xy} та оточуючими найближчими точками. Найближча точка визначається вертикаллю, горизонталлю і діагоналлю декартової системи координат, для полярної системи координат визначення йде по віддаленню від початку координат і зміни кутів. (Рис.2.1.1).

3. Знаходження множини точок, що максимально пов'язані між собою. Ця задача є надскладною і не підходить для повної формалізації. Одним із варіантів є наближення функції, яка змінює параметр S з часом, та обчислення результуючої кривої коефіцієнта кореляції між точкою A_{xy} та всіма найближчими точками.

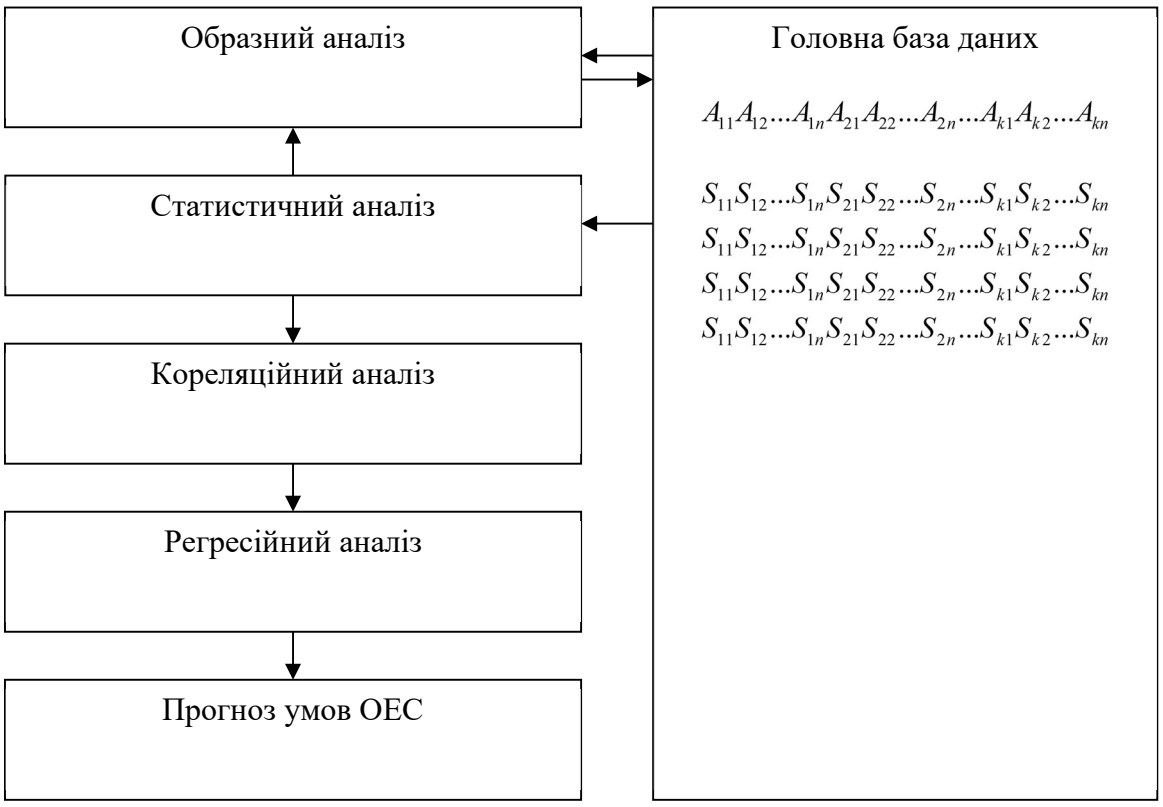


Рис 2.1.6 Отримання прогнозу стану ОЕС.

У більш складних випадках краще вдатися до допомоги людини-оператора, який є експертом в предметній області, в якій виконується прогнозування. Для цього можна скористатися методом аналізу зображень.

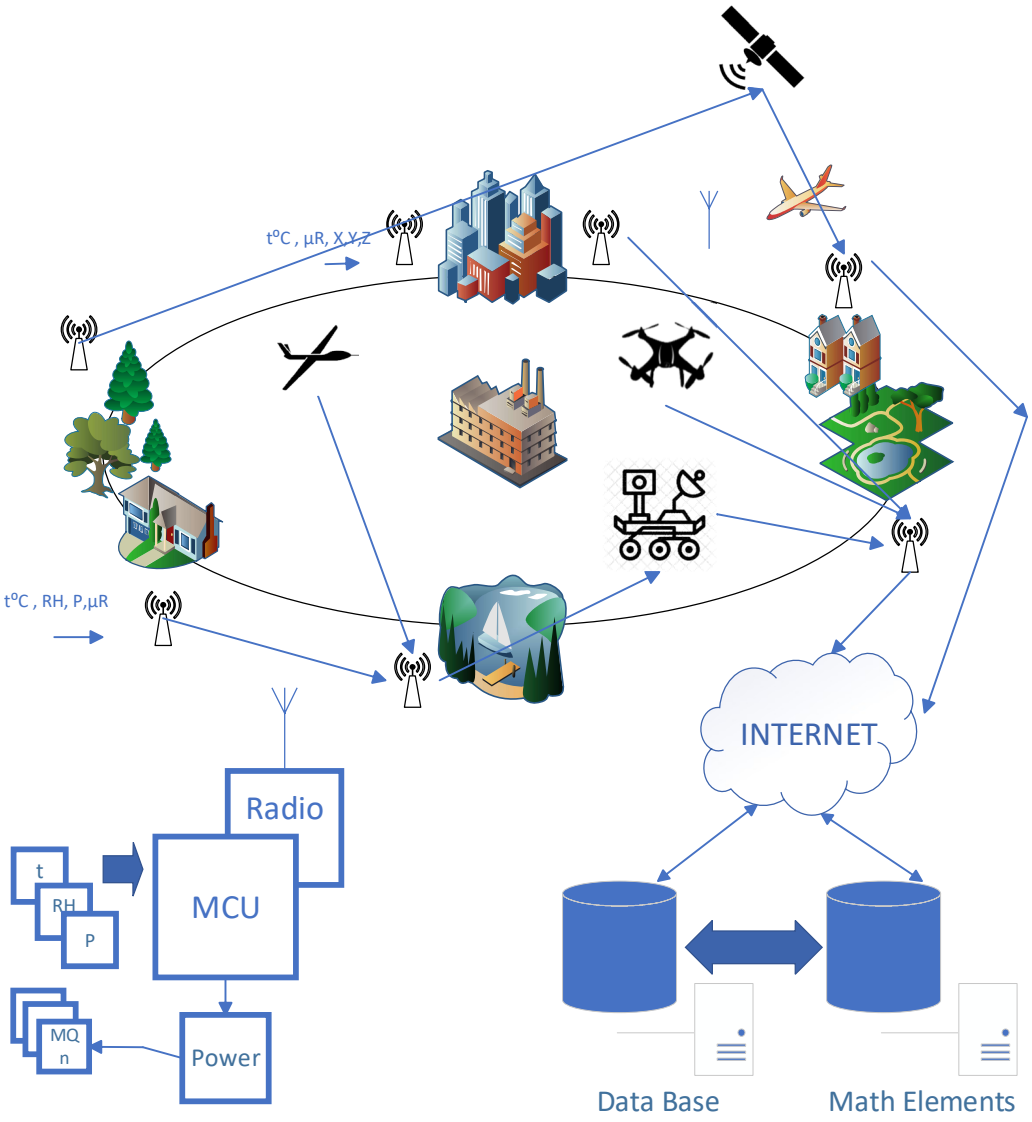


Рис.2.1.7. Реалізація системи автоматизованого адаптивного моніторингу обмежених екосистем.

Реалізація системи автоматизованого адаптивного моніторингу обмежених екосистем з елементами керуванням живленням блока сенсорів зображена на рисунку 2.1.7. Керування сенсорними блоками відбувається як в автоматизованому режимі програмною складовою, також доступний ручний режим для оператора. При селективному наборі сенсорів досягається енергоефективність системи понад 50%.

2.2. Збір даних з хмарних сховищ даних.

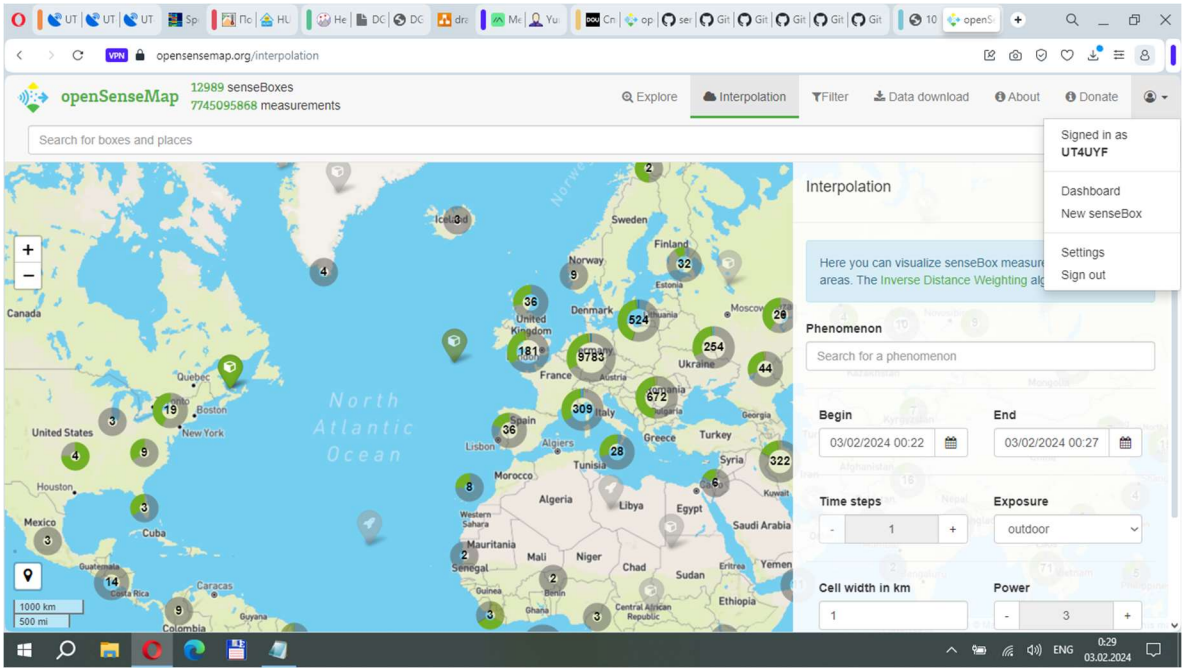


Рис. 2.2.1. Світова карта покриття сенсорами Opensensmap.

Щільність датчиків платформи opensensemap відрізняється в залежності від регіону розташування. В європейській частині континенту кількість датчиків в декілька разів більше ніж в Україні (рис.2.2.1). Але наявність цих джерел екологічної інформації в регіоні дає можливість порівняти показники з даними своєї сенсорної мережі [69].

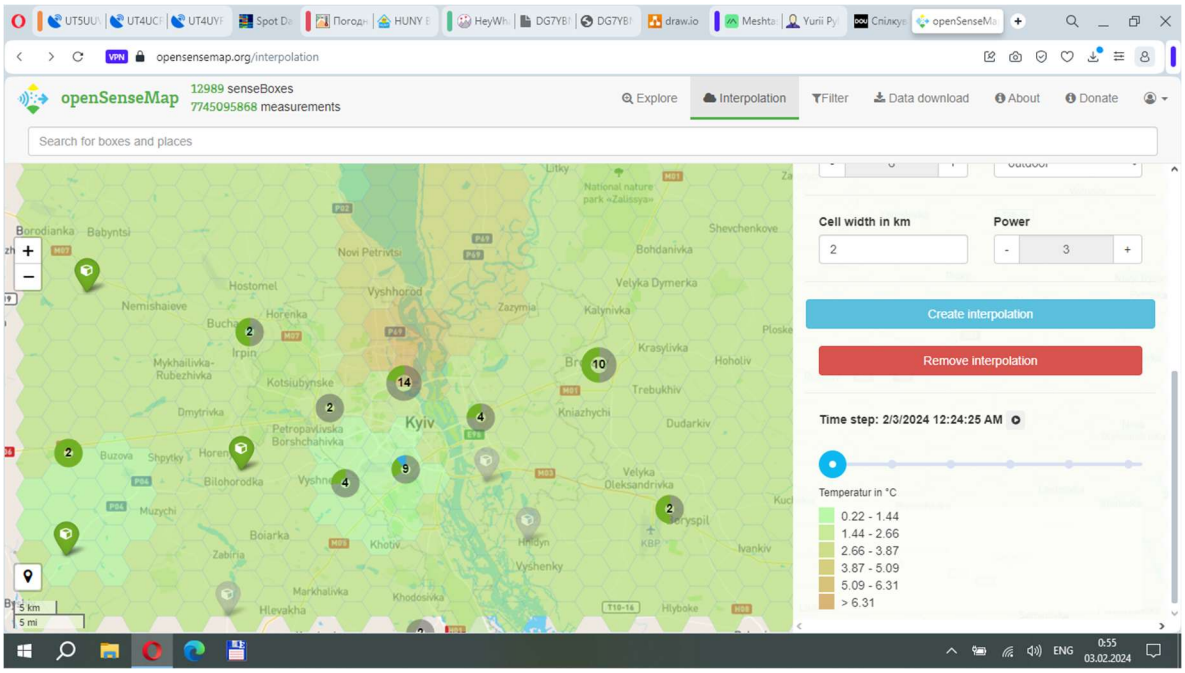


Рис.2.2.2. Карта зон сенсорів з градаціями покриття Opensensemap.

На рисунку 2.2.2 зображено карту з зонами покриття сенсорів в км, що дає можливість прорахувати показники в зонах віддалених від сенсорів. Робиться інтерполяція показників по градації відстані, градієнтом кольору зображені прогнозовані та реальні температурні показники в регіоні. Інструментарій платформи дозволяє знайти потрібний сенсор в регіоні, завантажити дані за тривалий час.

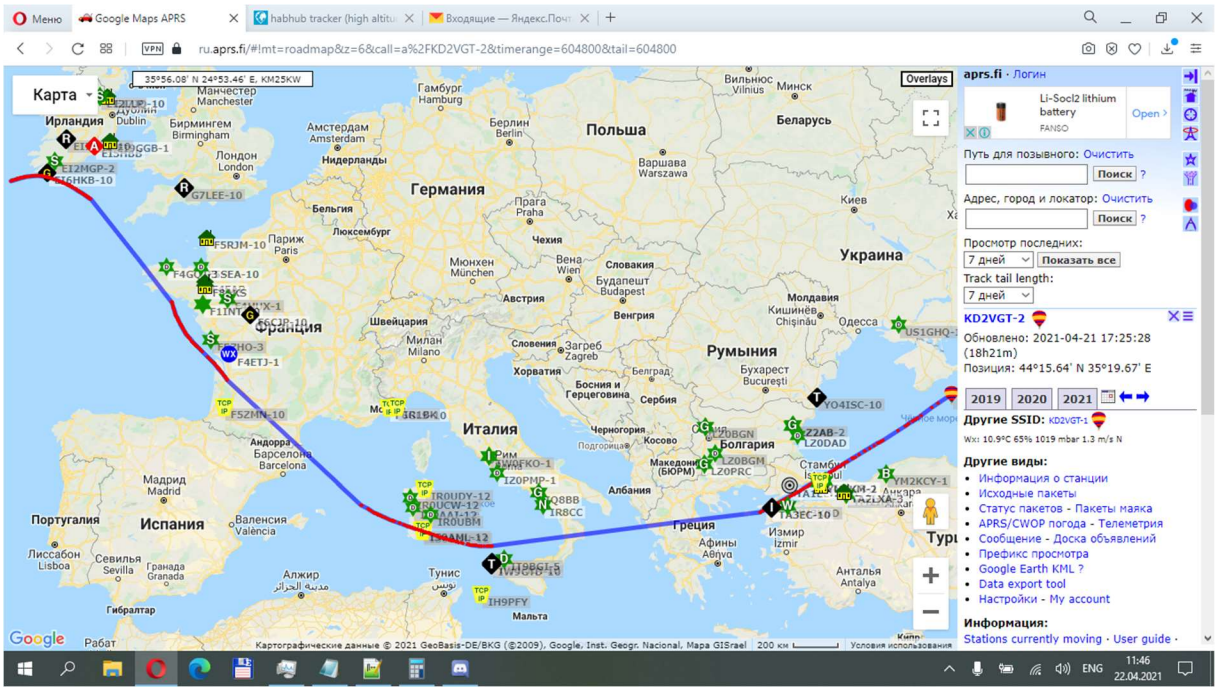


Рис.2.2.3. Карта трек руху метеозонду, aprs.fi Європа.

Наступним джерелом даних екологічного моніторингу є ресурс aprs.fi, на якому відслідковуються багато метеозондів, стаціонарних постів спостереження на інших джерел збору інформації [74]. Інструментарій платформи aprs дозволяє отримувати дані моніторингу екологічного стану як в реальному часі, так і за тривалий час (рис.2.2.3).

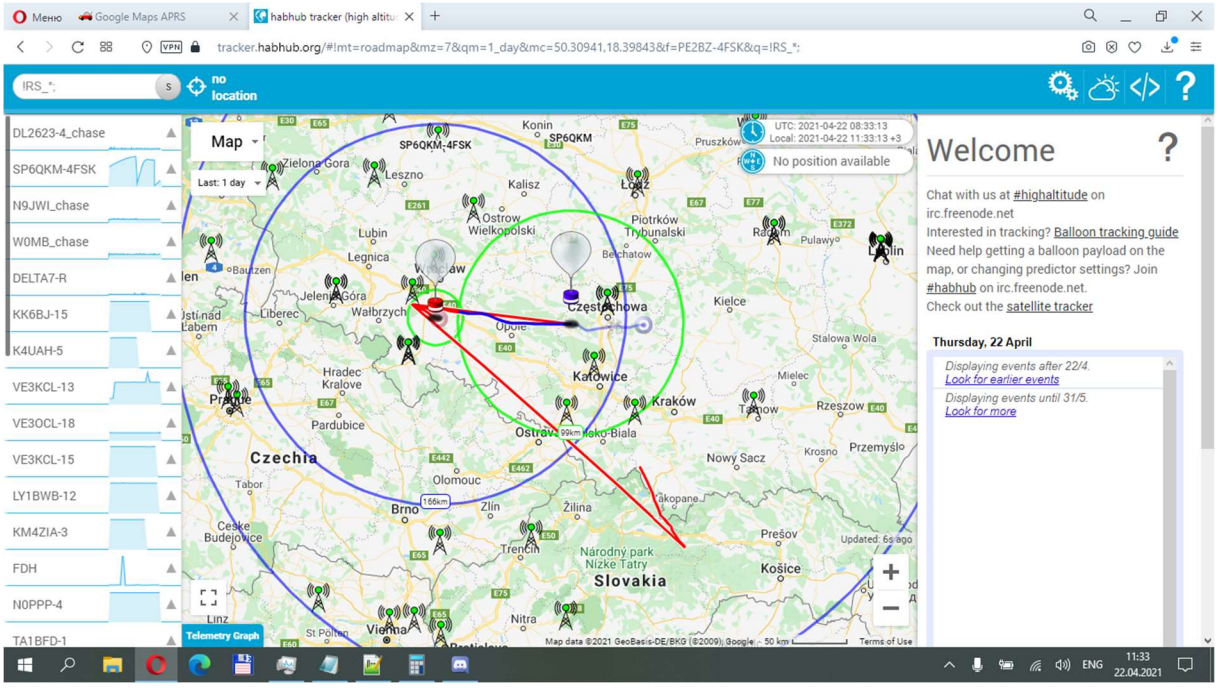


Рис.2.2.4. Карта з зоною покриття метеозондом, habhub.org, Польща.

На платформі habhub.org присутній розширений набір інструментарію, який дозволяє отримати не тільки стандартні показники екологічного моніторингу, а і наприклад швидкість руху, висоту, вектор руху метеозонду, пориви вітру над океаном і так далі (рис.2.2.4) [75].

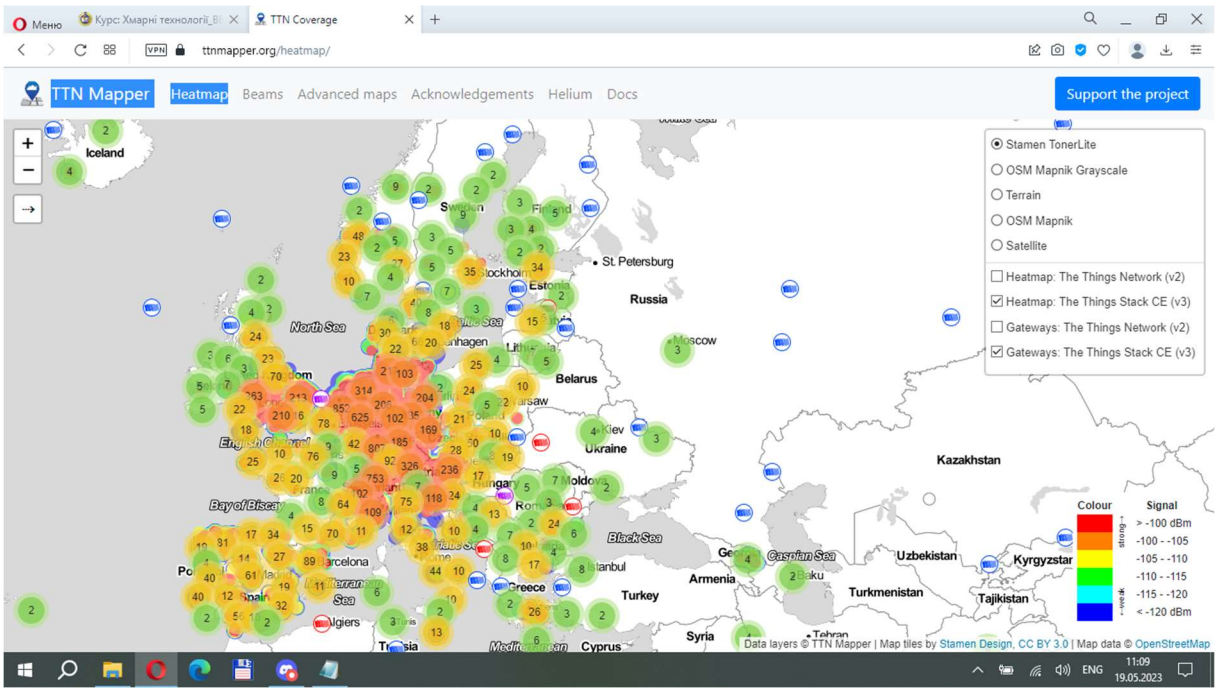


Рис.2.2.5. Карта покриття сенсорами на базі технології Lora , ttnmapper.org, Європа.

Платформа ttnmapper має велику щільність покриття в Європі [66]. Як видно на рисунку 2.2.5 є невелике покриття і в Україні, що дає змогу використовувати дані з цього хмарного ресурсу для розширення аналітичних даних в регіоні. Як видно з градієнту кольору станції спостереження на території Києва мають достатній рівень сигналу передавачів із загального використаного спектру пристроїв 110-115dBm, що збільшує зону сенсорної мережі Lora.

2.3. Моделювання антен

При проведені експериментальних досліджень гостро стоїть задача отримання достовірних значень параметрів приймальної та передавальної антен. Задача ускладняється тим, що однакові антенні системи матимуть відмінні параметри при різному розташуванні відносно інших предметів, Землі. Для розв'язання подібної задачі не достатньо мати довідник з антенної техніки. Навіть один тип антени матиме нескінчену кількість варіацій параметрів залежно від конкретного виконання, розташування, використаних матеріалів [91, 105].

Тому доцільно аналіз антен проводити з урахуванням усіх конкретних факторів що вплинуть на її кінцеві параметри. Для цього необхідно і достатньо використання відповідного програмного забезпечення моделювання антен. Це дасть змогу отримати значення імпедансу антени, тривимірної форми діаграми спрямованості, коефіцієнта підсилення та інших важливих параметрів конкретної моделі.

Для розв'язання цієї задачі можна використовувати широкий набір прикладних програм моделювання антен. При моделюванні антен використовується метод моментів. Антена описується набором тонких проводів, які поділяються на набір відрізків – сегментів. Для кожного сегменту в точці початку і кінця обчислюється, у відповідності до повних рівнянь поля в чисельному вигляді, імпеданси та комплексні струми, як власні, так і наведені. В результаті обчислень стають відомими струми в кожній точці антени і стає можливо обчислити сумарне поле, що ці струми створюють – поле антени. Слід звернути увагу, по-перше, на обчислювальні ядра, яких на даний момент використовується три, а саме MININEC, NEC2, NEC4. Ядро NEC4 відноситься до класу програмних засобів для спеціального виробництва, тому її використання пов'язане з певними складностями. Вибір можна обґрунтувати лише обмеженнями кожного конкретного методу. Цими обмеженнями є довжина сегменту, радіус сегменту, співвідношення цих

величин для суміжних сегментів, а також взаємного розташування сегментів – перетину та екранування, впливу землі [108].

Окрім обчислювального ядра має значення оболонка. Суперпозиція обчислювального ядра та графічної оболонки представляють собою засіб моделювання. Вибір конкретного програмного засобу випливає з обчислювальних ядер, максимально зручного інтерфейсу, ціни. Вважаю за доцільне використання програми MMANA-GAL Basic 3.0.0.31 яка має несекретні обчислювальні ядра та зручний інтерфейс, безкоштовна [76].

Влітку 2022 була виконана побудова легкої антени 4 елементи хвильовий канал з розрізним вібратором. Прототип – YG-4-900 китайська антена для стільникового зв'язку. Антена планується використовуватись як портативна для експедицій автором цих строк. Проведемо побудову моделі, оптимізацію, аналіз.

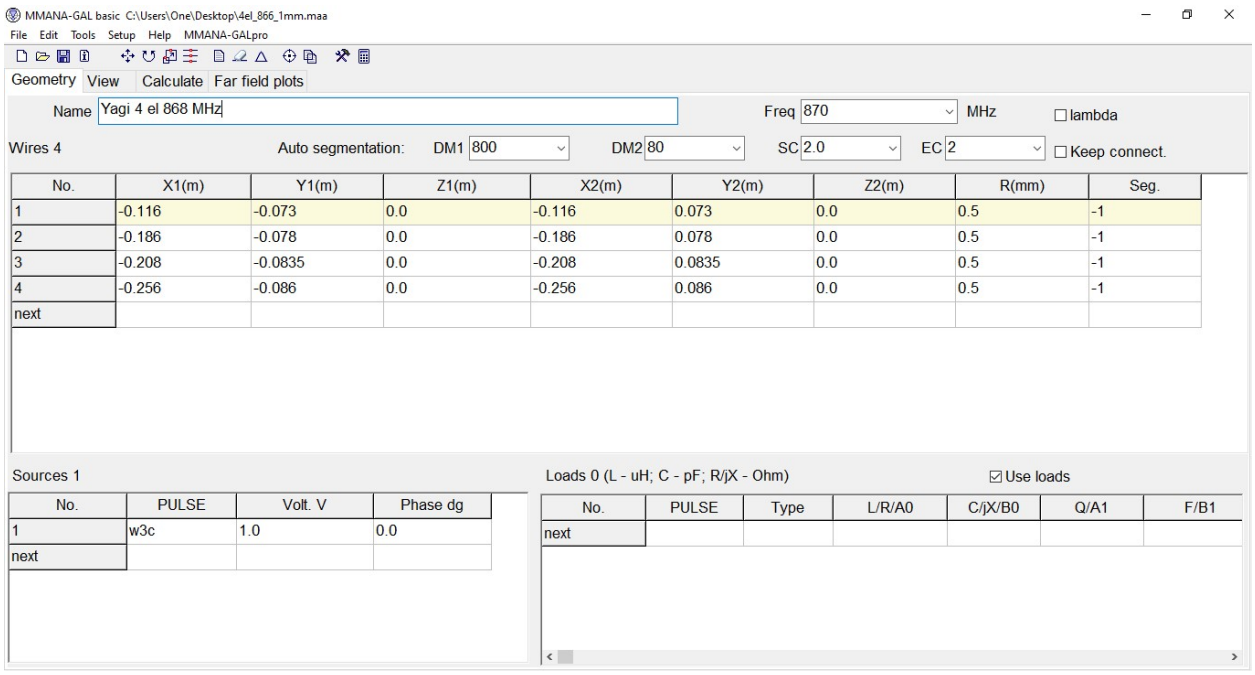


Рис. 2.3.1. Програмний пакет MMANA-GAL Basic 3.0.0.31, вкладка геометрія

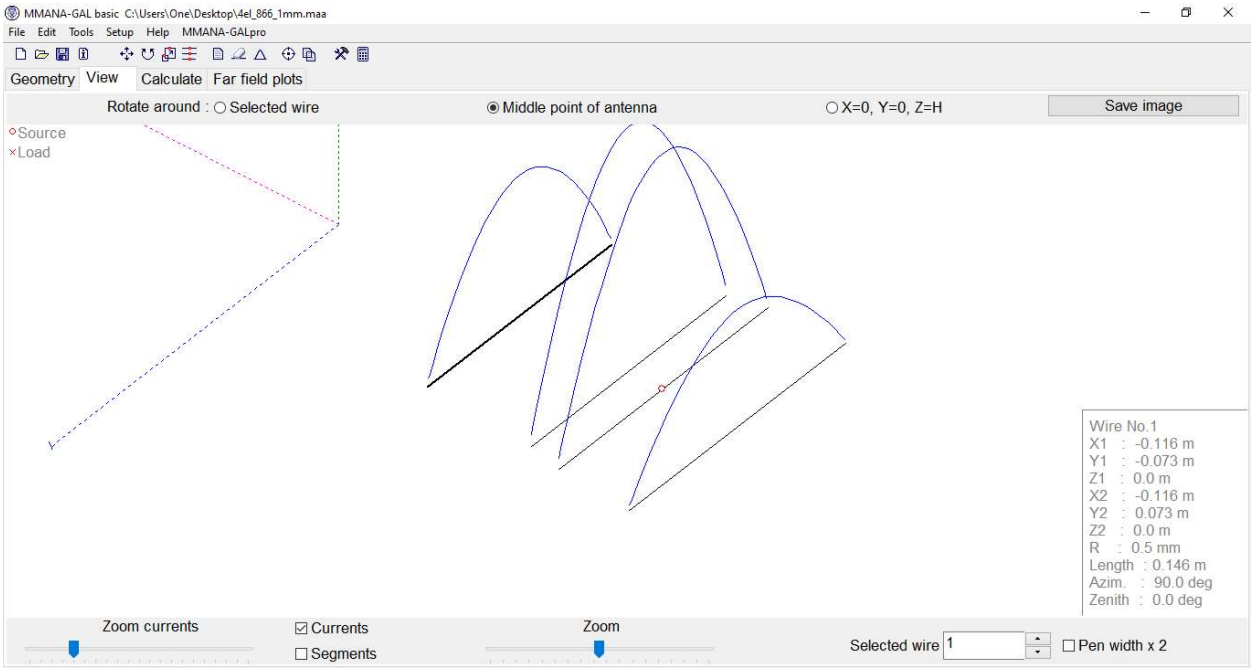


Рис. 2.3.2. Вигляд антени

На Рис 2.3.1, 2.3.2 наведено геометричні розміри та взаємне розташування елементів, джерел та навантажень.

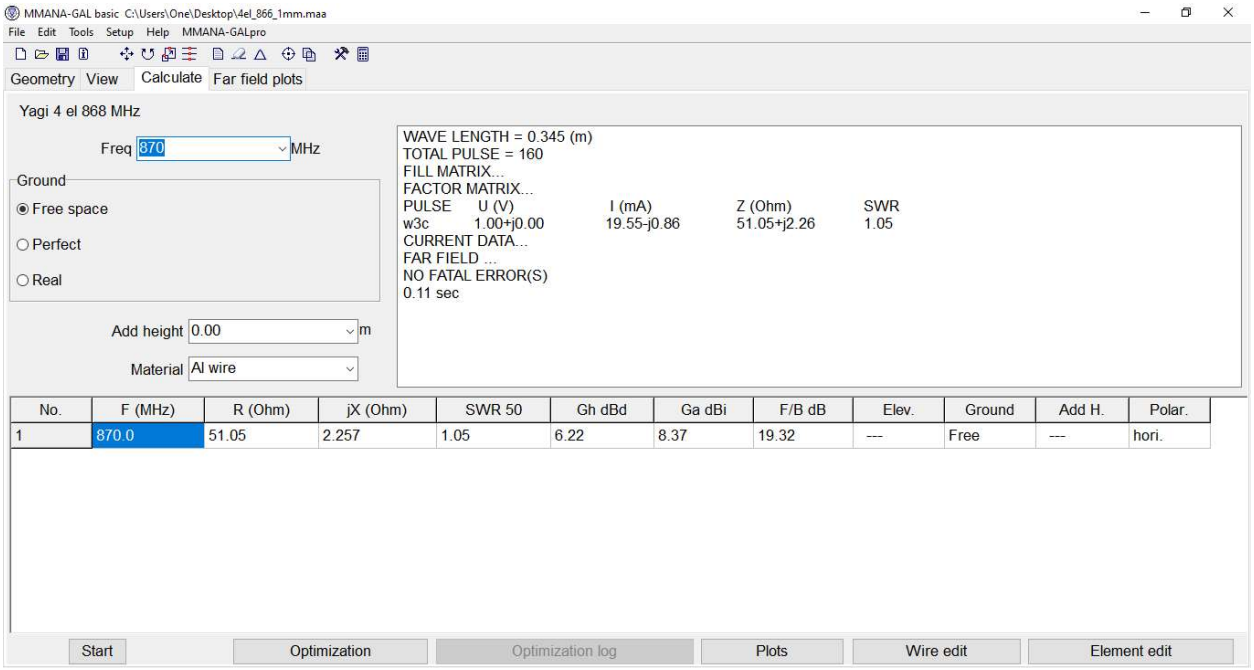


Рис 2.3.3. Розрахунок параметрів антени

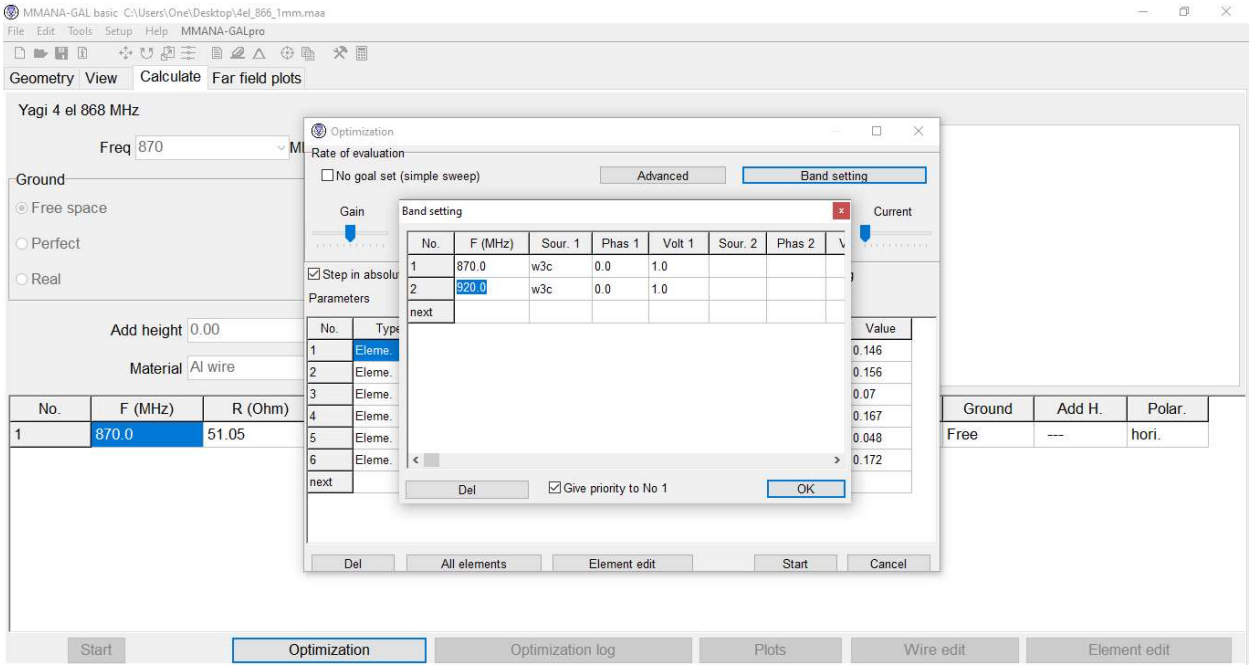


Рис 2.3.4. Багато частотна оптимізація

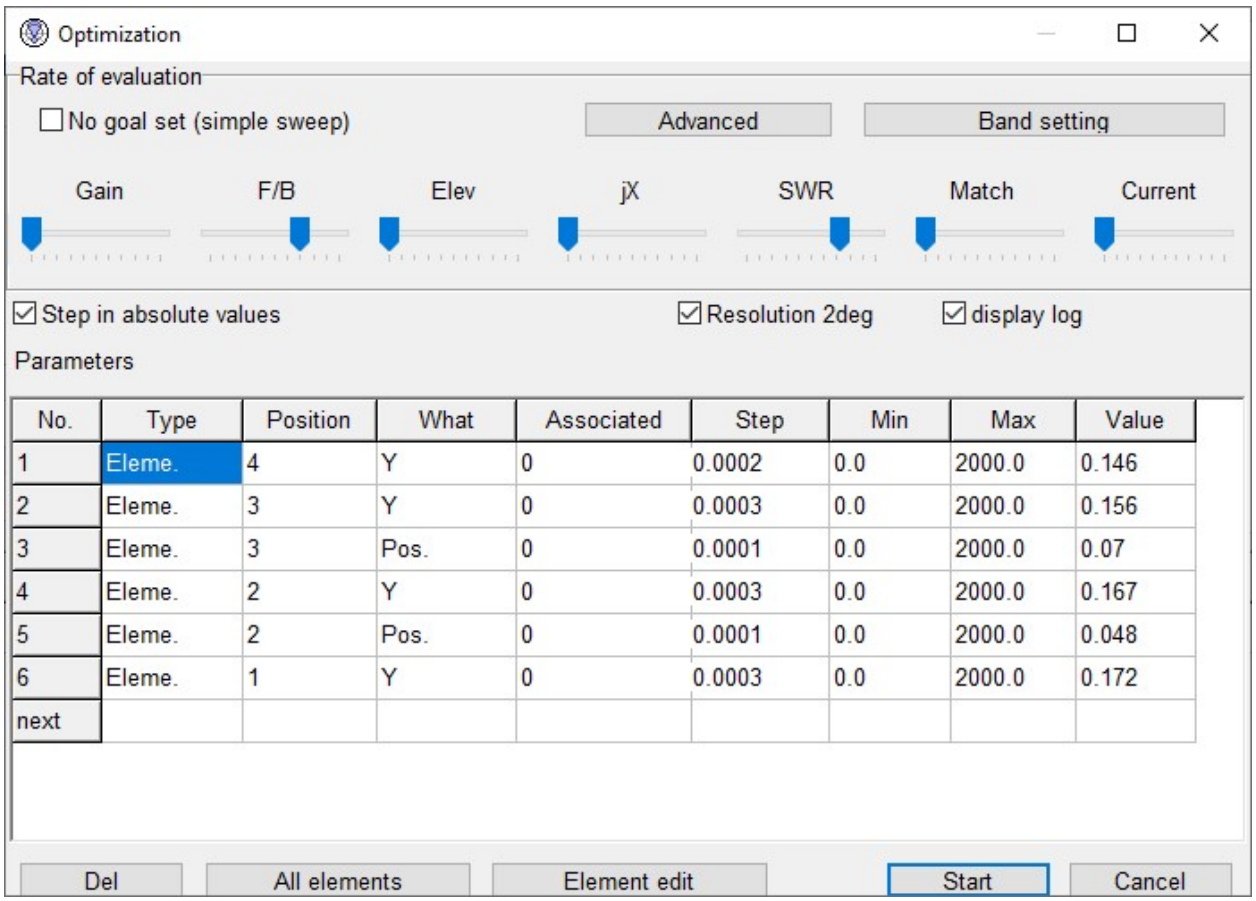


Рис 2.3.5. Пріоритети оптимізації

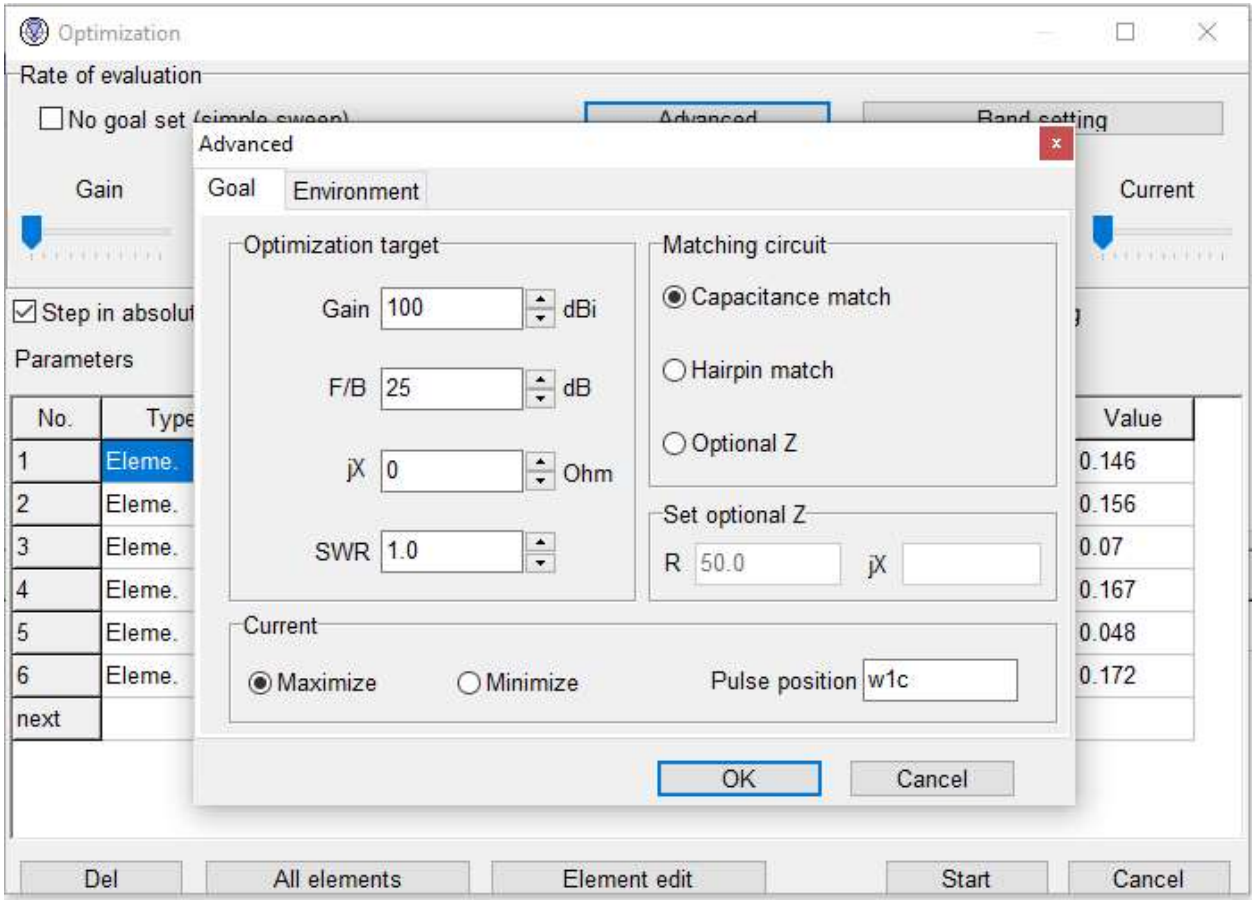


Рис 2.3.6. Цілі оптимізації

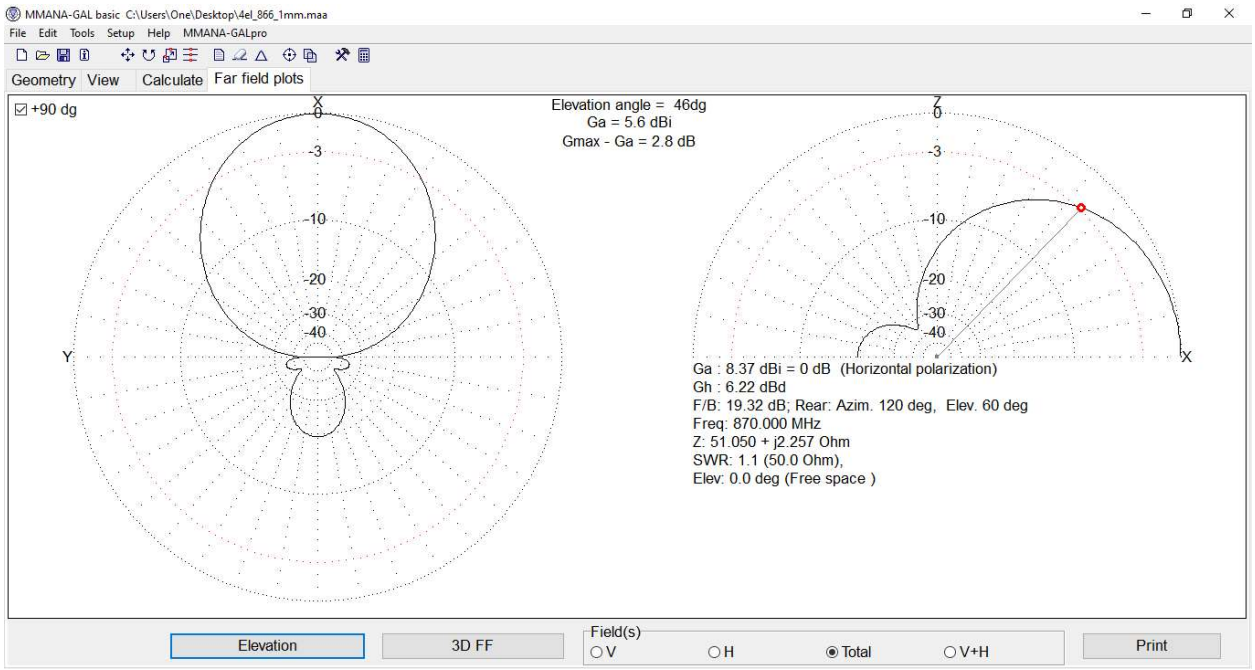


Рис 2.3.7. Діаграми спрямованості на частоті 870 МГц

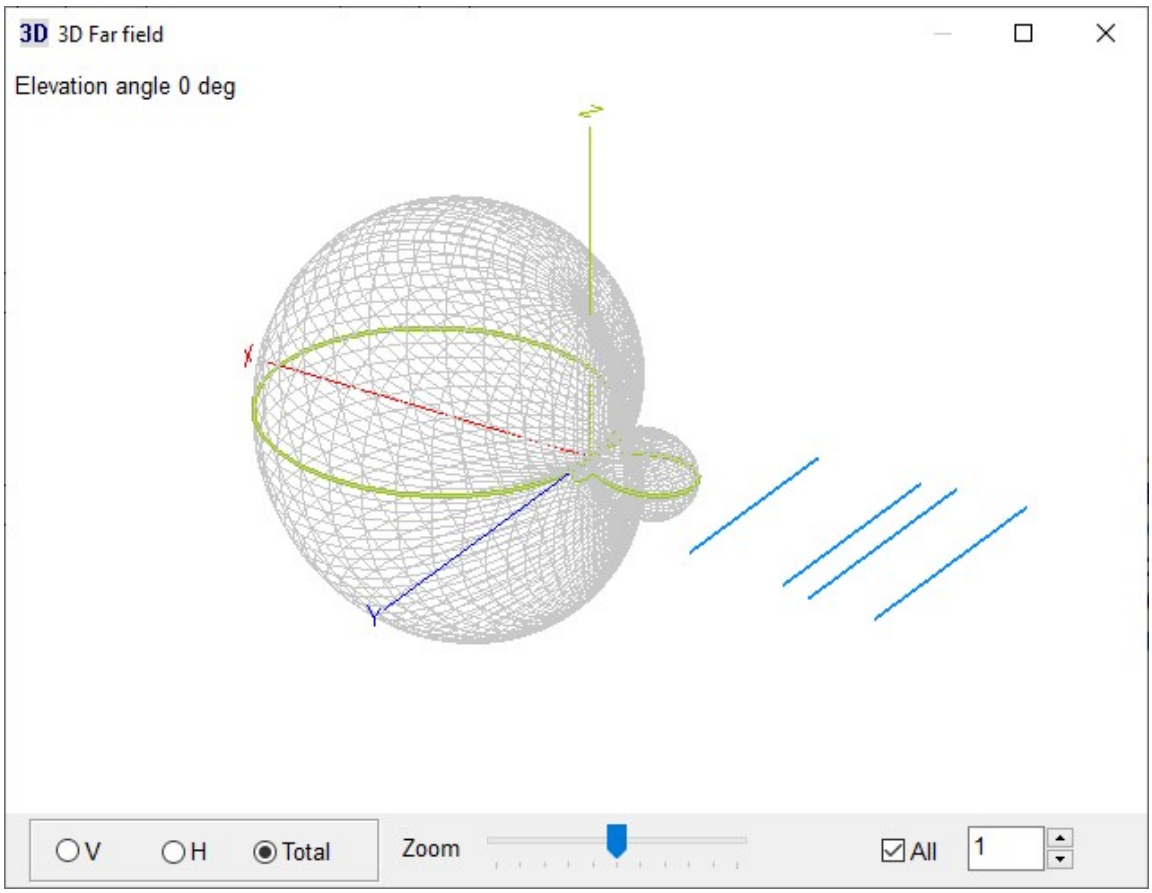
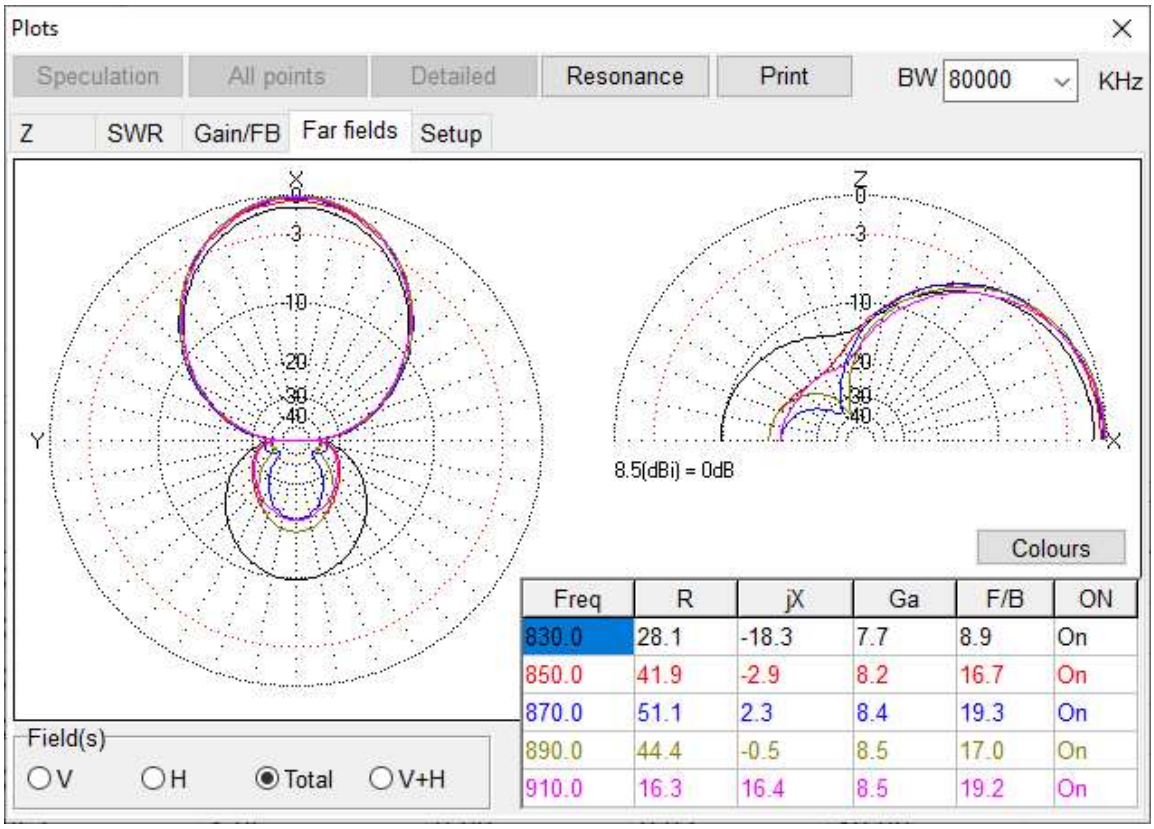


Рис 2.3.8. Діаграми спрямованості на частоті 870 МГц тривимірні



Freq	R	jX	Ga	F/B	ON
830.0	28.1	-18.3	7.7	8.9	On
850.0	41.9	-2.9	8.2	16.7	On
870.0	51.1	2.3	8.4	19.3	On
890.0	44.4	-0.5	8.5	17.0	On
910.0	16.3	16.4	8.5	19.2	On

Рис 2.3.9. Варіація діаграми спрямованості біля частоти 870 МГц

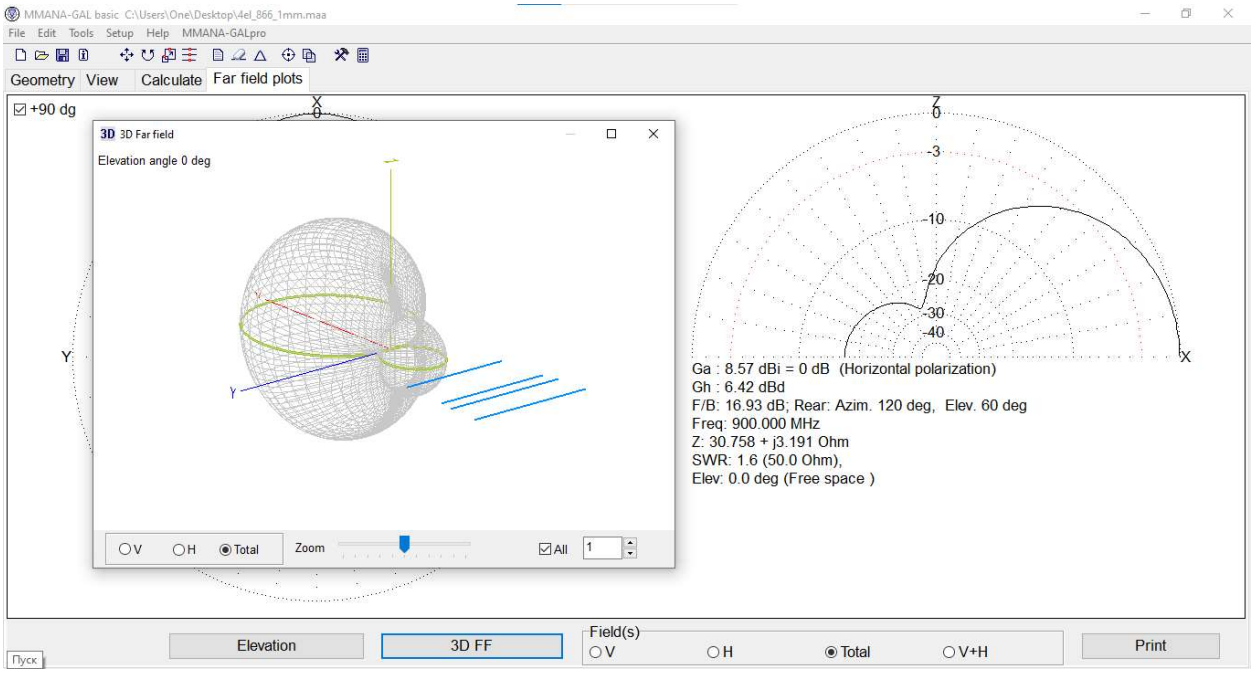


Рис 2.3.10. Діаграми спрямованості на частоті 900 МГц тривимірні

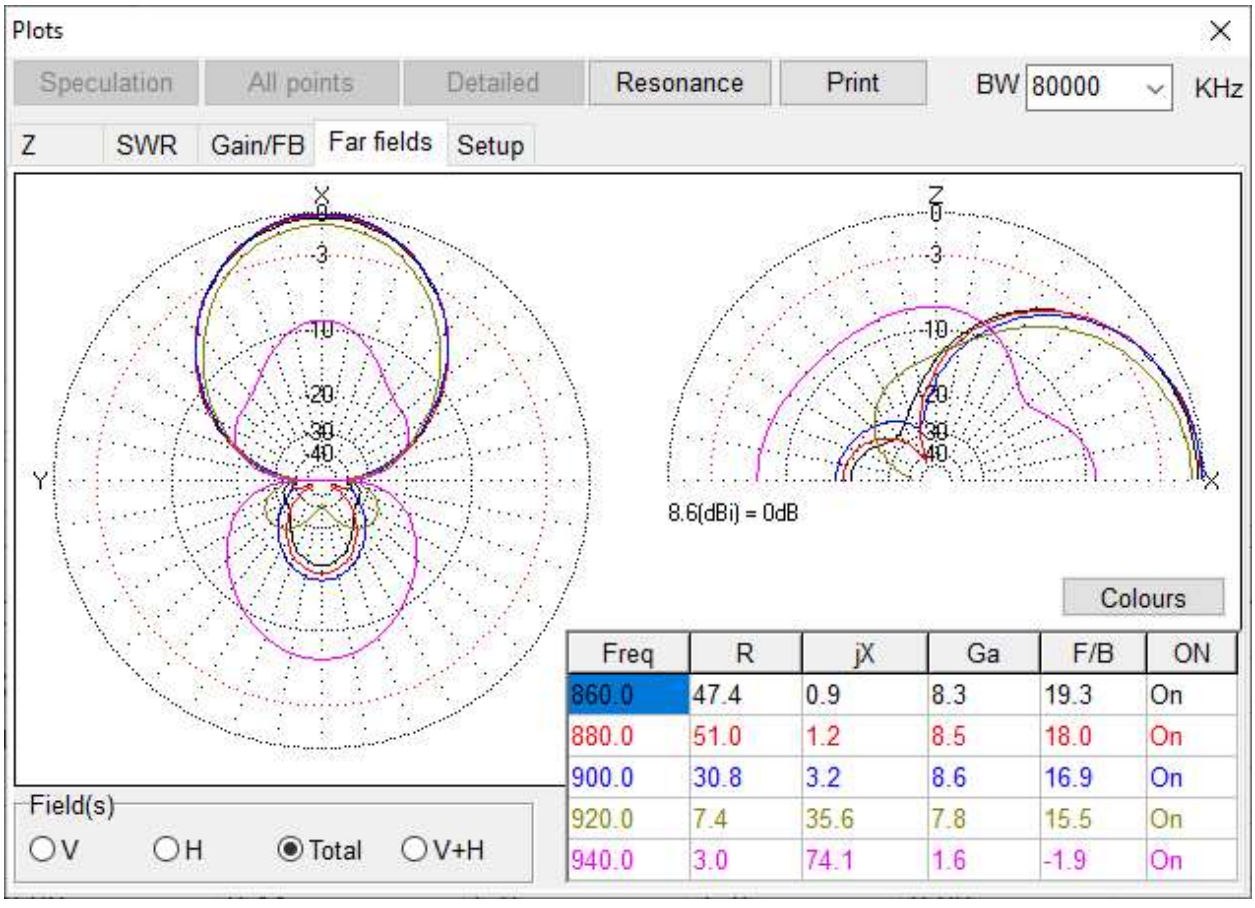


Рис 2.3.11. Варіація діаграми спрямованості біля частоти 900 МГц

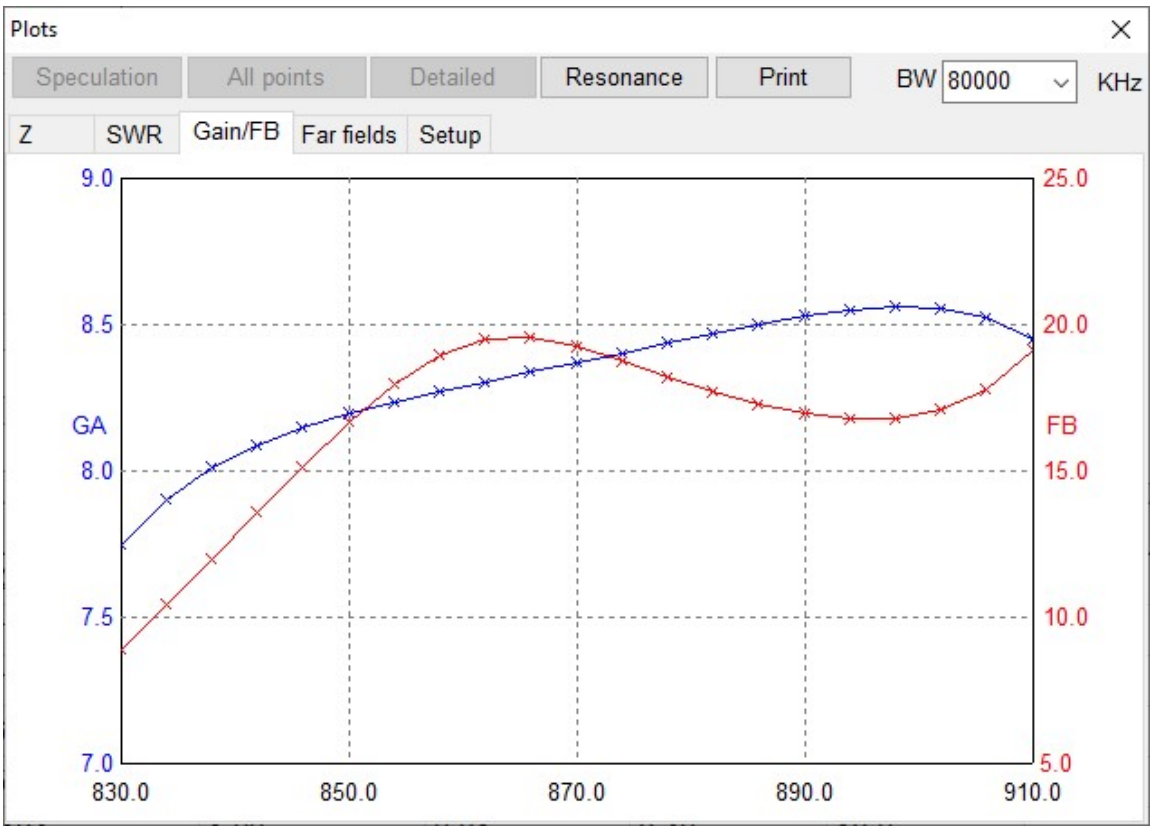


Рис 2.3.12. Залежність підсилення та співвідношення вперед - назад від частоти

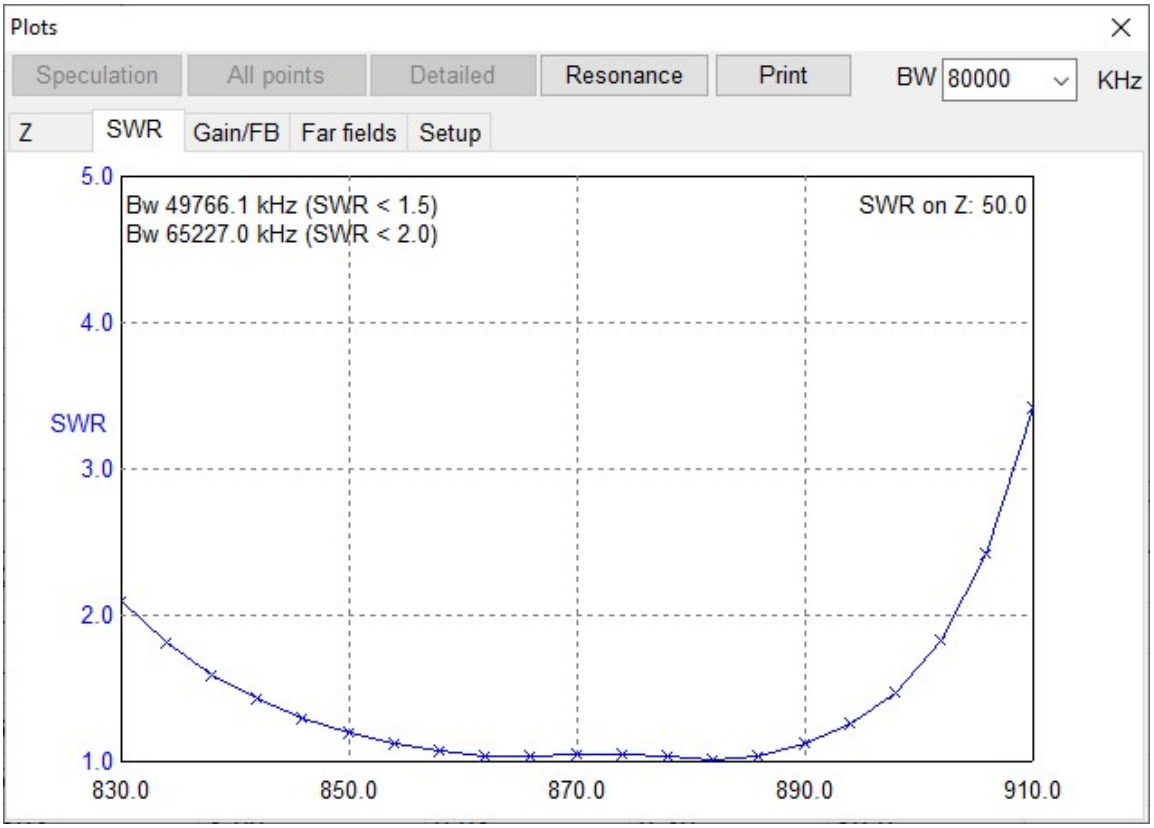


Рис 2.3.13. Графік КСХ антени поблизу 870 МГц

Зразок вийшов менше Рис 2.3.3 - 2.3.13 та легше з відомих причин, основні експлуатаційні характеристики збережені в широкій смузі частот Рис 2.3.9 - 2.3.13 для виключення необхідності точного підстроювання в умовах експедицій.

Таким чином, можна проаналізувати не лише стандартні типи антен, а навіть авторські конструкції. Достатньо дізнатися про взаємне розташування елементів. Модуль оптимізації допоможе зрозуміти, які теоретично та практично можливі параметри в заданій конструкції. По фото антени на фоні власника, щоб бачити порядок величин розмірів, можливо провести аналіз за умови достатньої різкості і прорисовки елементів.

Моделі антенних систем побудовані методом моментів мають більш ніж достатню точність для проведення експериментальних досліджень без попередніх перевірок стійкості діаграм на місцевості за умови коректного опису не лише елементів, а і складної землі.

2.4. Прогнозування як результат комп'ютерної та статистичної обробки експериментальних даних

Отримане і є результатом експерименту – значенням коефіцієнту.

Правила обробки даних прямого багаторазового експерименту наведено нижче. При проведенні прямого вимірювання загасання необхідно:

1. Провести багаторазові вимірювання при одних і тих же умовах і записати

їх у таблицю.

2. Розрахувати середнє значення за формулою

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad (2.4.1)$$

3. Обчислити оцінку дисперсії

$$\sigma^2 = S_n^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad (2.4.2)$$

4. Обчислити середньоквадратичне помилку середнього

$$S_X = \frac{S_n}{\sqrt{n}} \quad (2.4.3)$$

5. Обрати рівень довірчої ймовірності P. Тоді коефіцієнт Стьюдента t(P, n - 1) та модуль довірчого інтервалу

$$\Delta x = S_X \cdot t(P, \upsilon) \quad (2.4.4)$$

Таблиця 2.4.1.

t(P, n - 1)				
n-1	P=68.3%	P=95%	P=99%	P=99.73%
2	1.32	4.70	9.9	19.2
3	1.20	3.18	5.8	9.2
4	1.15	2.78	4.6	6.6
5	1.11	2.57	4.0	5.5
6	1.09	2.45	3.7	4.9
7	1.08	2.37	3.5	4.5
8	1.07	2.31	3.4	4.3
9	1.06	2.26	3.2	4.1
10	1.05	2.23	3.2	4.0
15	1.03	2.13	3.0	3.6
20	1.03	2.09	2.8	3.4
30	1.02	2.04	2.8	3.3
50	1.01	2.01	2.7	3.2
100	1.00	1.98	2.6	3.1
200	1.00	1.97	2.6	3.0

6. Округливши відповідні результати, записати відповідь у вигляді

$$X = x \pm \Delta x \quad (2.4.5)$$

при довірчій ймовірності P.

Слід приділити увагу похибкам, що виникають при вимірюванні, а саме природі виникнення та класифікувати їх. Помилки вимірів виникають внаслідок того, що вимірювальні прилади мають обмежену точність, не завжди можна врахувати вплив неконтрольованих експериментальних умов.

Іноді сама природа досліджуваного явища є основною причиною розбіжності у вимірюванні. Помилки вимірів прийнято поділяти на два типи - систематичні і випадкові.

Систематичними називають такі помилки, які викликаються факторами, діючими однаковим чином при багаторазовому повторенні одних і тих же вимірювань. Прикладом може бути некоректне представлення землі в обчислювачі MININEC MMANA або, навіть некоректний замір потужності власного передавача [76].

Випадкові помилки (відхилення) завжди присутні в експерименті. При відсутності систематичних помилок вони служать причиною розкиду результатів повторних вимірювань як між собою, так і щодо істинного значення вимірюваної величини. Природа випадкових помилок може бути різною. Збільшуючи кількість вимірювань і використовуючи формули теорії помилок, можна отримати досить точну оцінку випадкової помилки. Випадкові помилки послідовних вимірювань, як правило, незалежні і характеризуються тим чи іншим законом розподілу. Вони мають властивість концентрації, тобто малі за абсолютною величиною випадкові помилки зустрічаються частіше, ніж великі.

Слід особливо виділити такий вид помилки, як грубий прорахунок - промах. Під промахом розуміється помилка вимірювання, зроблена внаслідок недогляду експериментатора, або викликана несправностями апаратури. Так, наприклад, неправильно записаний відлік, і т.п. є промахами, яких слід по можливості уникати. Як правило, грубі помилки легко виявляються.

Такі вимірювання слід відкидати, хоча при цьому бажано визначити причину даного промаху.

Систематичні помилки, властиві системі вимірювань, повинні бути виявлені і ліквідовані (або враховані при обробці даних). Решта невиявлених систематичні помилки вносять в результати вимірювань невідомі зрушення щодо дійсного значення.

Оскільки практично неможливо виявити всі систематичні помилки, навіть дуже точні вимірювання різних авторів можуть не збігатися.

Можна сказати, що майстерність експериментатора полягає в мистецтві виявлення систематичних помилок.

Якщо вдалося знизити до досить низького рівня систематичні помилки, то точність вимірювань визначається тепер випадковими похибками. Якщо ж точність вимірювань визначається випадковими помилками, то вона може бути піддана статистичному аналізу.

Таблиця 2.4.2.

RSSI для відстані 3000м в міській забудові
140
141
141
141
140
140
141
139

Розрахуємо відповідно до (2.3) середнє значення RSSI

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = 140.375 \text{ дБ} \quad (2.4.6)$$

Оцінка дисперсії:

$$\sigma^2 = S_n^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} = 0.553 \quad (2.4.7)$$

Середньоквадратична помилка середнього:

$$S_X = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = 0.744 \quad (2.4.8)$$

Обираємо рівень довірчої ймовірності P=0,95. Тоді за коефіцієнтом Стьюдента t(P, n - 1) та модулем довірчого інтервалу маємо

$$\Delta x = S_X \cdot t(P, \upsilon) = 0.744 \cdot 3.1 = 1.781 \text{ (2.4.9)}$$

А отже RSSI:

$$V = 140.375 \pm 1.781 \quad \text{дБ (2.4.10)}$$

при довірчій ймовірності P=0.95.

Аналогічно отримано 12 замірів і відповідно RSSI:

$$V = 111.89 \pm 4.45 \text{ дБ} \quad \text{(2.4.11)}$$

при довірчій ймовірності P=0.95 такій самій, як і в попередньому випадку.

Для обрахунку середнього значення необхідно обрахувати середнє значення та провести зважування результатів. У ряді випадків необхідно об'єднати результати вимірювань, виконаних в різний час, різними методами, на різних установках і, взагалі кажучи, з різною точністю. При цьому постає питання, як знаходити правильне значення випадкової величини і відповідної їй випадкової помилки. У такому випадку доводиться проводити зважування результатів. У нашому випадку об'єднання (зважування) серій вимірювань, проведених на одній радіостанції з однаковою точністю, можна проілюструвати на простому прикладі [32, 29].

11 замірів RSSI на радіотрасі проведені для відстані 2000 м і середнє їх значення для буде:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1}\sum_{i=1}^{n_1} x_i = \frac{1}{11}\sum_{i=1}^{11} x_i = 123{,}4 \text{ дБ.} \quad (2.4.12)$$

а для іншого спостерігача і 2000 метрів 8 замірів з середнім значенням:

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2}\sum_{i=1}^{n_2} x_i = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} x_i = 118{,}8 \text{ дБ.} \quad (2.4.13)$$

Очевидно, найкращим значенням середнього для 19 вимірювань буде зважене середнє:

$$\bar{x}_* = \frac{1}{n_1+n_2}\sum_{i=1}^{n_1+n_2} x_i = \frac{1}{19}\sum_{i=1}^{19} x_i = 121{,}4\text{дБ.} \quad (2.4.14)$$

що не збігається з простим середнім величин:

$$\bar{x}_* = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{2} \bar{x}_i = \frac{1}{2}(123{,}4 + 118{,}8) = 121{,}1 \text{ дБ.} \quad (2.4.15)$$

Якщо використовувати ці величини, то вираз для загасання буде мати вигляд:

$$\bar{x}_* = \frac{1}{n_1+n_2}(n_1\bar{x}_1 + n_2\bar{x}_2) = \frac{1}{19}(11 \cdot 123{,}4 + 8 \cdot 118{,}8) = 121{,}4\text{дБ.} \quad (2.4.16)$$

Числа 11 і 8 є статистичними вагами величин RSSI. Отже, більший внесок у остаточний результат вносить в даному випадку серія вимірювань з більшою статистикою, більшою кількістю вимірів [11].

У загальному випадку досить часто доводиться підсумовувати результати, отримані з разною точністю, підчас різних дослідів або вузлів ретрансляції. Якщо є N вимірів величини RSSI $\bar{x}_i$, що мають стандартні відхилення $\bar{s}_i$, то статистична вага g_i кожного вимірювання може бути

визначено як величину, зворотню до дисперсії.

$$g_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \text{ (2.4.17)}$$

Тому більший внесок у зважений результат дають вимірювання, виконані з більшою точністю. Тоді середньозважене значення визначається співвідношенням:

$$\bar{x}_* = \frac{\sum g_i \bar{x}_i}{\sum g_i} \text{ (2.4.18)}$$

А оцінка дисперсії середнього зваженого виразом:

$$s^2_{x_*\square} = \frac{\sum g_i (\bar{x}_i - \bar{x}_*)^2}{(N-1)\sum g_i} \text{ (2.4.19)}$$

Аналогічно отримано 37 замірів для дистанції 1500 м і відповідно:

$$V = 111.89 \pm 4.55 \text{ дБ. (2.4.20)}$$

при довірчій ймовірності P=0.95.

Таким чином, проведений аналіз і отримані оцінки вказують на можливість істотного підвищення надійності прогнозу. Через введення довірчих інтервалів немає підстав вважати, що вимірювання неправильні. Пропонований підхід і розроблена процедура обробки статистичних даних, по суті, вказують на можливість "обміну" чисельності спостережень на якість результатів обробки.

2.5. Кореляційний аналіз

Дослідження в галузі автоматизації моніторингу ОЕС носять, як правило, комплексний характер, при якому вивчається не одна характеристика обстежуваного об'єкта, а ціла сукупність показників. У ряді випадків між досліджуваними показниками виявляється взаємозв'язок. Існує два види взаємозв'язку – функціональний і статистичний [11, 29, 32].

Функціональний називається взаємозв'язок, при якій кожному значенню одного показника відповідає строго певне значення іншого.

Статистичним взаємозв'язком називається взаємозв'язок, при якому одному значенню першого показника може відповідати кілька значень другого показника. Серед статистичних залежностей найбільший інтерес представляють кореляційні. Кореляційна залежність полягає в тому, що середня величина одного показника (Y) змінюється в залежності від значення іншого (X).

Для вивчення взаємозв'язків використовуються кореляційний та регресійний аналіз. Кореляційний аналіз - знаходження ступеня зв'язку між двох випадкових величин (X і Y). Основним завданням кореляційного аналізу є визначення форми, спрямованості і тісноти взаємозв'язку.

При дослідження кореляції використовуються графічний та аналітичний підходи.

Графічний аналіз починається з побудови кореляційного поля. Кореляційне поле (або діаграма розсіювання) є графічною залежністю між результатами вимірювань двох ознак. Для її побудови вихідні дані наносять на графік, відображаючи кожну пару значень (x_i, y_i) у вигляді крапки з координатами (x_i, y_i) в прямокутній системі координат.

Візуальний аналіз кореляційного поля дозволяє зробити припущення про форму взаємозв'язку двох досліджуваних показників. За формою взаємозв'язку кореляційні залежності прийнято розділяти на лінійні та нелінійні.

При лінійної залежності обвідна кореляційного поля близька до еліпсу. Лінійна залежність між двома випадковими величинами полягає в тому, що зі збільшенням однієї випадкової величини інші випадкові величини мають тенденцію до збільшення або зменшення відповідно до лінійного закону. Виявлення форми статистичної залежності необхідно для вибору методу оцінки тісноти (сили) взаємозв'язку.

Спрямованість є позитивною, якщо збільшення значення однієї ознаки призводить до збільшення значення другого.

Спрямованість є негативною, якщо збільшення значення однієї ознаки призводить до зменшення значення другого. Залежності, що мають позитивні або негативні спрямованості, називаються монотонними. Таким чином, будь-яка монотонна залежність характеризується спрямованістю, яка може бути позитивною, або негативною. Залежність може і не мати спрямованості.

Тіснота взаємозв'язку може бути оцінена якісно по ширині кореляційного поля - чим менше його ширина, тим більше тіснота і сильніше залежність. Кількісна оцінка тісноти взаємозв'язку двох випадкових величин здійснюється за допомогою коефіцієнта кореляції. Вид коефіцієнта кореляції і, отже, алгоритм його обчислення залежать від шкали, в якій проводяться вимірювання досліджуваних показників і від форми залежності [32].

Прийнято розрізняти такі типи шкал: номінальна, порядкова (ординальна), інтервальна, відносна (шкала відносини).

Відповідно до цими типами шкал існує чотири типи змінних: номінальні, порядкові (ординальні), інтервальні і відносні.

Номінальна шкала (або шкала найменувань) використовуються тільки для якісної класифікації. Властивості, що характеризуються за допомогою цієї шкали, вимірювання можливе тільки у випадку приналежності істотно різним класам. Впорядкувати ці класи неможливо. Прикладами номінальних змінних є тип, клас, приналежність до якого-небудь виду зв’язку.

Іноді номінальні змінні називають категоріальним. Використання чисел в шкалі найменувань грає роль ярликів, що дозволяють розрізняти досліджувані об'єкти. Наприклад, унікальні індекси .

Шкала порядку дозволяє впорядкувати досліджувані об'єкти, вказавши які з них в більшій чи меншій мірі володіють якістю, вираженим даної змінної. У теж час вона не дозволяє визначити "на скільки більше" або "на скільки менше". Прикладом порядкової змінної є місце, зайняте радіостанцією на поточних змаганні. Номер місця дозволяє сказати, який радіо спортсмен сильніше, а який слабкіше, але не показує "на скільки сильніше" або "на скільки слабше".

Шкала інтервалів дозволяє не тільки впорядковувати досліджувані об'єкти, але і чисельно висловити і порівняти відмінності між ними. Особливістю інтервальної шкали є те, що точка відліку (тобто нульова точка) може бути вибрана довільно. Прикладами інтервальних змінних є дистанція, виміряна в кілометрах або милях, загасання. Шкала інтервалів дозволяє визначити, на скільки одне виміряне значення більше (менше) іншого, але не дає можливості встановити у скільки разів більше (або менше).

Шкала відносин дуже схожа на шкалу інтервалів, але відрізняється від неї тим, що положення початку відліку (точки абсолютного нуля) суворо визначено. Фіксування точки відліку дає можливість визначати, у скільки разів одне виміряне значення більше (або менше) іншого.

Значення коефіцієнта кореляції може змінюватися в діапазоні від -1 до +1. Абсолютне значення коефіцієнта кореляції показує силу взаємозв'язку. Чим менше його абсолютне значення, тим слабкіше зв'язок. Якщо він дорівнює нулю, то зв'язок взагалі відсутній. Чим більше значення модуля коефіцієнта кореляції, тим сильніше зв'язок і тим менше розкид у значеннях уі при кожному фіксованому значенні x_i. Знак коефіцієнта кореляції визначає спрямованість взаємозв'язку: мінус - негативна, плюс - позитивна .

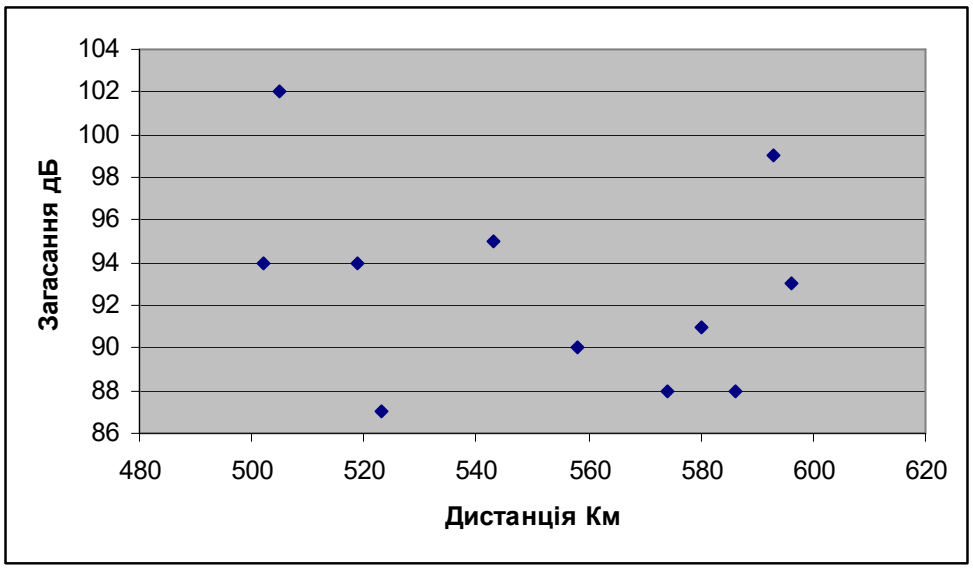


Рис.2.5.1. Кореляційне поле при малому значенні коефіцієнта кореляції

При проведенні досліджень фізичних величин [32]прийнята наступна класифікація взаємозв'язків за значенням коефіцієнта кореляції (табл. 2.5.1) При знаходженні критичних значень для обчисленого коефіцієнта лінійної кореляції Пірсона число ступенів свободи розраховується як $k = n - 2$.

Таблиця 2.5.1

Інтерпретація значень коефіцієнт кореляції

r за модулем	Інтерпретація
1	функціональна залежність
0.99-0.7	сильний статистичний взаємозв'язок
0.69-0.5	середній статистичний взаємозв'язок
0.49-0.2	слабкий статистичний взаємозв'язок
0.19-0.09	дуже слабкий статистичний взаємозв'язок
0	кореляції немає

У ряді випадків тісноту взаємозв'язку визначають на підставі коефіцієнта детермінації. Коефіцієнт детермінації дорівнює квадрату коефіцієнта кореляції, вираженого у відсотках:

$$D = r^2 \cdot 100\% \quad (2.5.1)$$

Коефіцієнт детермінації визначає, яка частина загальної варіації одне показника пояснюється варіацією іншого показника, тобто яка частка взаємозв'язку між двома наборами даних пояснюється їх взаємовпливом. Інша частина варіації обумовлена впливом інших неврахованих причин.

Коефіцієнт кореляції Браве-Пірсона використовується, коли значення досліджуваних ознак вимірюються за шкалою пропорцій або інтервалів, а форма залежності лінійна. Коефіцієнт кореляції характеризує тільки лінійну залежність. Лінійна залежність між двома випадковими величинами полягає в тому, що зі збільшенням однієї випадкової величини решта випадкових величин мають тенденцію до збільшення або зменшення відповідно до лінійного закону [11, 32].

Для оцінки ступеня взаємозв'язку величин X і Y, виміряних в кількісних шкалах, використовується коефіцієнт лінійної кореляції (коефіцієнт Пірсона), що припускає, що вибірки X і Y розподілені по нормальному закону.

Коефіцієнт кореляції - параметр, який характеризує ступінь лінійної взаємозв'язку між двома вибірками, розраховується за формулою:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.5.2)$$

Коефіцієнт кореляції дорівнює відношенню кореляційного моменту до добутку стандартних відхилень.

Далі для отримання коефіцієнта кореляції необхідно використовуючи статистичну таблицю знайти критичні значення. У випадку фізичного експерименту ступінь зв’язку – середній, статистичний взаємозв'язок є достатнім. Коефіцієнт кореляції вище критичного, таким чином, гіпотеза може бути прийнята, тобто зв'язок між загасанням та дистанцією на радіо трасі доведено, подібність суміжних радіо трас доведено.

2.6. Регресійний аналіз.

Для прогнозування та виконання регресійного аналізу необхідно провести алгоритм дій:

1. Побудуємо для вихідних даних графічну залежність і спробуємо візуально оцінити характер залежностей;

2. Обираємо класи або тип функції регресії, який умовно задовольняє взаємозв'язок вихідних даних;

3. Для визначення числових коефіцієнтів функції регресії застосовуємо метод найменших квадратів;

4. На основі коефіцієнта детермінації оцінюємо силу виявленої статистичної або регресійної залежності;

5. Очевидно, що важко, а іноді і взагалі неможливо зробити прогноз, використовуючи знайдені статистичні та регресійні залежності. Саме тому не рекомендуємо використовувати лише регресійну модель для значень незалежного параметра X, якщо ті не належать до інтервалів, зазначених у первинних вихідних даних [29, 32]. Загальний вигляд рівняння лінійної парної регресії:

$$Y = A_0 + A_1 \cdot X \qquad (2.6.1)$$

Використовуючи цю формулу, змінна Y представлена нахилом константи a0 і лінійним (або кутовим) коефіцієнтом A1, помноженим на значення змінної X. Константа a0 також називається вільним членом, а кутовий коефіцієнт називається коефіцієнтом регресії. Параметри рівняння можна визначити за допомогою методу найменших квадратів (МНК).

Метод найменших квадратів є одним з основних методів визначення параметрів рівнянь регресії, які дають найкращі лінійні неупереджені оцінки. Лінійні - відносяться до характеру взаємозв'язку змінних. Незміщені означає, що очікувані значення коефіцієнтів регресії повинні бути істинними коефіцієнтами. Тобто точки, побудовані за вихідними даними, (x_i, y_i) повинні бути якомога ближче до точки лінії регресії. Суть методу полягає в тому, що сума квадратів відхилень отриманих емпіричних значень ознак від

теоретичних, отриманих за допомогою обраного рівняння регресії, виходить за наступною моделлю:

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left(y_i^p - y_i\right)^2 = \sum_i^n (y_i^p - a_0 - a_1 x)^2 \to min\ , \quad (2.6.2)$$

де y_i^{p} - значення, обчислене по рівнянню регресії; $\left(y_i^{\text{p}} - y_i\right)$- відхилення ε (помилка, залишок); n - кількість пар вихідних даних.

Провівши необхідні перетворення, одержимо систему двох рівнянь з двома невідомими, знайдемо вирішивши систему.

$$a_1 = \frac{n(\sum y_i x_i) - \sum y_i \sum x_i}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}; \quad (2.6.3)$$

$$a_0 = \frac{1}{n}(\sum y_i - a_1 \sum x_i) \qquad (2.6.4)$$

У випадку аналізу загальної якості регресійного рівняння зазвичай використовується множинний коефіцієнт детермінації R2, також відомий як квадрат множинного коефіцієнта кореляції R2. R2 (міра довіри) завжди дорівнює [0; 1].

Якщо значення R2 близьке до 1, це означає, що побудована модель пояснює майже всю мінливість відповідної змінної. І навпаки, значення R-квадрата, близькі до нуля, означають, що побудована модель низької якості.

Коефіцієнт детермінації R2 позначається відсотком ($R^2 \cdot 100\%$), в якому знайдена функція регресії описує взаємозв'язок між початковими значеннями факторів X і Y

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i^{\text{p}} - \overline{y}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{y})^2} \quad (2.6.5)$$

де $\left(y_i^{\text{p}} - \overline{y}\right)^2$- пояснення варіація; $(y_i - \overline{y})^2$- загальна варіація.

Таким чином, це значення вказує, який відсоток зміни параметра у обумовлений факторами, які не включені в регресійну модель. Ви можете використовувати значення з високим коефіцієнтом детермінації для створення прогнозів для конкретних значень.

Сила регресійної залежності між гіперболою і параболою безпосередньо визначається за тією ж формулою, що і для лінійної моделі. При розрахунку коефіцієнта детермінації показника необхідно замінити всі значення

параметра Y (початкове, регресійне і середнє) на логарифми: y_i^{p} - на $ln(y_i^p)$ і т.д.

Якщо функція регресії визначена, інтерпретована, обґрунтована, а оцінка точності регресійного аналізу відповідає вимогам, можна припустити, що побудована модель і прогнозовані значення мають достатню надійність.

Значення R-квадрат, також зване мірою достовірності, характеризує якість результуючої лінії регресії. Ця якість виражається ступенем відповідності між вихідними даними та регресійною моделлю. Міра невизначеності завжди знаходиться в діапазоні [0;1].

Кратні R коефіцієнти множинної кореляції r являють собою залежність незалежної змінної (X) і залежної змінної (Y), рівну квадратному кореню з коефіцієнта детермінації, який може варіюватися від 0 до 1. У простому лінійному регресійному аналізі коефіцієнт кореляції R дорівнює коефіцієнту кореляції Пірсона. Насправді кратне R у цьому випадку дорівнює коефіцієнту кореляції Пірсона (>0,95), який обчислюється за формулою:

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [n\sum y^2 -}} \qquad (2.6.6)$$

Зазвичай заходом помилки регресійної моделі служить середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_\varepsilon = [(\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i{}^2)/(n-2)]^{1/2} = \{[\sum_{i=1}^{n} (y_i{}^p - y_i)^2]/(n-2)\}^{1/2} \qquad (2.6.7)$$

Якщо ви робите прогноз на відстані, що виходить за межі діапазону вихідних даних, достовірність результуючої моделі не гарантується. Це пов'язано з тим, що співвідношення між загасанням і відстанню може змінюватися в міру збільшення відстані. Отже, в результаті використання регресійного аналізу ми побудували формули регресії, встановили позитивну лінійну регресію, оцінили якість отриманої лінії регресії, змогли побачити відхилення розрахованих даних від даних вихідного набору і спрогнозували майбутнє значення залежної змінної.

2.7. Методика обґрунтування необхідної кількості засобів моніторингу довкілля та оптимізації місць їх розташування[90].

Для визначення масштабів загрози виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру необхідна інформація про кількість потенційно техногенних об'єктів, статистика небезпечних гідрометеорологічних процесів, статистика надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження [90].

Для області відомий вектор складу безпілотного авіаційного комплексу відповідно до характеристик загроз виникнення надзвичайних ситуацій для регіону $Z_j = \|z_j\|_n$, райони території (аеродроми, аеропорти, вертолітні майданчики) області, на яких за умови виконання заходів аеродромно-технічного забезпечення та безпеки польотів може бути розміщено безпілотний авіаційний комплекс (БАК) $– T_i = \|t_i\|_m$, площа зон виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру $–S_{\text{ТО}i} = \|s_{\text{ТО}i}\|_m$, щільність розташування потенційно небезпечних об'єктів (ПДО) та інтенсивність надзвичайних ситуацій у відповідних районах області $Y_j = \|y_j\|_n$, непередбачені витрати на проведення заходів з ліквідації надзвичайних ситуацій та відновлення довкілля $C_{ij} = \|c_{ij}\|_{m\times n}$.

У загальному вигляді ці початкові умови можна записати як

$$C = \begin{pmatrix} \square & z_1 & \dots & z_j & \dots & z_n & \square \\ t_1 & c_{11} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} & \square \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \square \\ t_i & c_{i1} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{in} & \square \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \square \\ t_m & c_{m1} & \dots & c_{mj} & \dots & c_{mn} & \square \\ \square & y_1 & \dots & y_j & \dots & y_n & \square \end{pmatrix}. \quad (2.7.1)$$

Також відомі припустимі рівні ризиків при яких виникає НС природного та техногенного характеру для відповідної зони можливого розташування БАК:

– зони ризику можливих авіаційних подій [од./добу]– $ar_j, j = \overline{1,m}$;

– зони точкових потенційно небезпечних об'єктів [од./добу]– $vpr_j, j = \overline{1,m}$;

– зони лінійних протяжних потенційно небезпечних об'єктів [од./добу] – $vgr_j, j = \overline{1,m}$;

– зони площинних потенційно небезпечних об'єктів [од./добу]– $gr_j, j = \overline{1,m}$.

Також відомі допустимі рівні ризиків виникнення надзвичайної ситуації природного та техногенного характеру у відповідній зоні можливого розташування БАК:

$$N_{T_{moi}} = \frac{y_{moi}(t,x,y)}{s_{moi}}, \tag{2.7.2}$$

коли $i = \overline{1,n}$ – штучні об’єкти, s_{moi}– площі зони ризику, відповідно, на одну БАК.

За таких вихідних умов необхідно знайти такий план розподілу площ території області для БАК, який би забезпечив мінімізацію витрат на ліквідацію НС та виконання відновлювальних робіт в регіоні та виконання обмеження рівнів ризиків з урахуванням часу реагування.

План відведення (розподілу) площ території області для розміщення БАК:

$$X = \|x_{ij}\|_{m\times n} = \begin{pmatrix} \square & z_1 & \dots & z_j & \dots & z_n & \square \\ t_1 & x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} & \square \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \square \\ t_i & x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} & \square \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \square \\ t_m & x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square & \square \end{pmatrix}, \tag{2.7.3}$$

Коли $x_{ij} = \begin{cases} 1, when\ the\ \text{UAC}\ is\ located\ in\ the\ region \\ O, when\ there\ is\ no\ \text{UAC}\ in\ the\ region \end{cases}$.

Тоді математична постановка задачі оптимального розміщення ОАК у можливих зонах ризику на території регіону формулюється так: на множині

можливих планів розміщення БАК (розподілу призначень) $\{X\}$ на території області, кожна з яких $\left\|x_{ij}\right\|_{m\times n}$ задовольняє систему обмежень:

- в районі розміщення БАК:

$$\sum_{i=1}^{m} z_{ij} \cdot s_{yj} \le s_{xi}, j = \overline{1,m}; \quad (2.7.4)$$

– до допустимих рівнів ризику виникнення НС в районі БАК

$$\sum_{i=1}^{m} ax_i \cdot y_j \le ar_j, j = \overline{1,m}, \quad (2.7.5)$$

$$\sum_{i=1}^{m} vpx_i \cdot y_j \le vpr_j, j = \overline{1,m}, \quad (2.7.6)$$

$$\sum_{i=1}^{m} vgx_i \cdot y_j \le vgr_j, j = \overline{1,m}, \quad (2.7.7)$$

$$\sum_{i=1}^{m} gx_i \cdot y_j \le gr_j, j = \overline{1,m}, \quad (2.7.8)$$

знайти оптимальну схему розміщення пошуково-рятувального літака $X^o = \left\|x_{ij}^o\right\|_{m\times n}$ що мінімізує загальні витрати на підтримку екологічно чистого регіону

$$CS(X^o) = \min_{\{X\}} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} \cdot x_{ij} \cdot y_j. \quad (2.7.9)$$

Для вирішення цієї проблеми рекомендуються еволюційні методи.

Ефективність розгортання БАК на території області можна оцінити за співвідношенням його рівня та витрат на його впровадження, в тому числі з урахуванням витрат на реагування на надзвичайні ситуації та відновлення довкілля.

$$ES = \frac{WS^{ПД}}{CS}. \quad (2.7.10)$$

Оскільки розглянута задача мінімізує витрати на комп'ютерну систему, ефективність використання пошуково-рятувальної авіації в регіоні є максимальною.

$$ES^{ПД} = \frac{WS_{потр}^{ПД}}{min\, CS} = max\, E\, S^{ПД}. \quad (2.7.11)$$

Результати дослідження можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо вибору оптимального розташування БАК та його інфраструктури на території України, в контексті реформування та скорочення кількості повітряних суден. Розумний вибір майданчиків в регіоні для розміщення БАК дозволить підвищити рівень технічної та екологічної безпеки

при попередженні, моніторингу та ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру.

Вихідні дані: набір аеродромів України $\overline{Z} = \{z_i\},\ i = \overline{1,Z}$, де Z – кількість аєродромів; z_i – кількість літаків на i-му аеродромі; $(x,y)_i$ - координати і-го аеродрому; налаштування зон спостереження $\overline{R} = \{r_j\}, j = \overline{1,R}$, де R кількість зон спостереження; r_j – площа j-ої зони спостереження; $(x,y)_j$ – координати j-й зони спостереження, звідки починаються спостереження та рятувальні операції; моніторинг характеристик літака (швидкість V, тривалість польоту T_{max}, продуктивність моніторингу N), які визначають максимальну площу j-го району моніторингу, яка може бути обстежена одним літака і-го аеродрому S_{survji}.

Постановка задачі (загальний вигляд): знайти такий план $\overline{X} = \{x_i\},\ i = \overline{1,Z}$ для використання засобів моніторингу БАК України, розташованих на наборі зазначених аеродромів $\overline{Z}$ з ресурсом z_i, що мінімізує склад літаків для операції та дозволить виконувати повний обсяг моніторингу та рятувальних операцій Ω виконується $\overline{R}$), це

$$\bar{X} = \min_{X\in\Omega} F = \min_{X\in\Omega} \sum_{i=1}^{Z} x_i \tag{2.7.12}$$

при виконанні вимог до загальної зони огляду та ресурсів аеродромів

$$\Omega: \begin{Bmatrix} S_{surv11}\cdot x_1 + S_{surv12}\cdot x_2 + \cdots + S_{surv1Z}\cdot x_Z \geq r_1 \\ S_{surv21}\cdot x_1 + S_{surv22}\cdot x_2 + \cdots + S_{surv2Z}\cdot x_Z \geq r_2 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ S_{survZ1}\cdot x_1 + S_{survZ2}\cdot x_2 + \cdots + S_{survRZ}\cdot x_Z \geq r_R \\ 0 \leq x_i \leq z_i,\ i = \overline{1,Z} \end{Bmatrix} \tag{2.7.13}$$

Приклад. Надати в розпорядження Служби п’ять аеродромів із зазначеними ресурсом та координатами розташування літаків: $z_1 = 5, (100{,}500)_1; z_2 = 4, (200{,}100)_2; z_3 = 6, (300{,}400)_3; z_4 = 5, (500{,}300)_4; z_5 = 4, (500{,}600)_5$.

Необхідно обстежити три зони моніторингу з наступними координатами початкової точки $(200,300)_1$; $(400,200)_2$; $(400,400)_3$ і площі по 100 000 км^2 кожна. Знайти мінімальний склад БАК з наступними характеристиками моніторингу: $T\text{hours}_{max}$ (у разі повного заповнення всіх паливних баків); $V = 220\frac{km}{h}$; $N = 4.95\frac{10^3 km^2}{h}$.

Порядок прийняття рішення.

1. Визначення відстані між кожним аеродромом і місцем розташування зони моніторингу $L_{ji}, i = \overline{1,Z},\ j = \overline{1,R}$. Використовуєм формулу $L_{ij} = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(y_i - y_j\right)^2}$, обчислюємо:

$$L_{ji} = \begin{Bmatrix} 223 & 200 & 141 & 424 & 300 \\ 424 & 223 & 223 & 141 & 412 \\ 316 & 360 & 100 & 141 & 223 \end{Bmatrix}. \quad (2.7.14)$$

2. Визначення максимальної площі j-го району спостереження, яка може бути обстежена одним повітряним судном і-го аеродрому $S_{surv\ ji}$. Використовуємо формулу $S_{surv\ ji} = N\left(T\frac{2L_{ji}}{V}_{max}()\right)$, обчислюємо:

$$S_{surv\ ji} = \begin{Bmatrix} 9990 & 11025 & 13680 & 945 & 6525 \\ 945 & 9990 & 9990 & 13680 & 1485 \\ 5805 & 3825 & 15525 & 13680 & 9990 \end{Bmatrix} \quad (2.7.15)$$

3. Постановка математичної задачі:

$$\bar{X} = \min_{X\in\Omega} F = \min_{X\in\Omega} \sum_{i=1}^{5} x_i. \quad (2.7.16)$$

при дотриманні вимог до загальної площі та ресурсів аеродрому

$$\Omega: \left\{ \begin{array}{c} 9990x_1 + 11025x_2 + 13680x_3 + 945x_4 + 6525x_5 \geq 100000 \\ 945x_1 + 9990x_2 + 9990x_3 + 13680x_4 + 1485x_5 \geq 100000 \\ 5805x_1 + 3825x_2 + 15525x_3 + 13680x_4 + 9990x_5 \geq 100000 \\ 0 \leq x_1 \leq 5 \\ 0 \leq x_2 \leq 4 \\ 0 \leq x_3 \leq 6 \\ 0 \leq x_4 \leq 5 \\ 0 \leq x_5 \leq 4 \end{array} \right\} \quad (2.7.17)$$

Результати обчислень:

- на 13-й ітерації моніторингу: F=11, $x_1 = 0; x_2 = 1; x_3 = 6; x_4 = 2; x_5 = 2;$

– на 103-й ітерації моніторингу: F=10, $x_1 = 0; x_2 = 4; x_3 = 4; x_4 = 2; x_5 = 0.$

Таким чином, отримані дані про кількість літаків на кожному аеродромі, які необхідно привести в готовність до польотів.

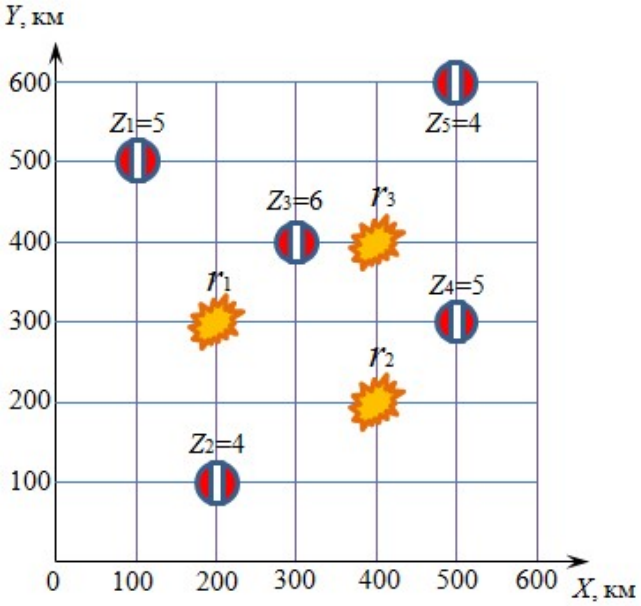
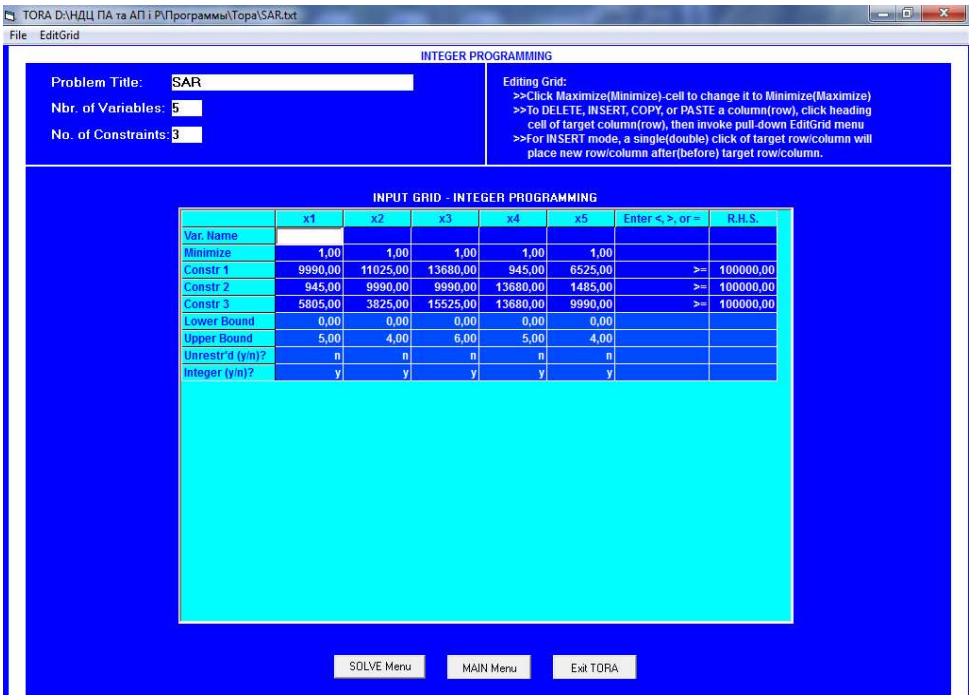


Рис.2.7.1. Розташування аеродромів Збройних Сил України для районів бойових дій

Введення даних у комп'ютерну програму «TORA» (рис. 2.7.2) та обчислення результатів. (Рис.2.7.3).



	x1	x2	x3	x4	x5	Enter <, >, or =	R.H.S.
Var. Name							
Minimize	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Constr 1	9990,00	11025,00	13680,00	945,00	6525,00	>=	100000,00
Constr 2	945,00	9990,00	9990,00	13680,00	1485,00	>=	100000,00
Constr 3	5805,00	3825,00	15525,00	13680,00	9990,00	>=	100000,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Upper Bound	5,00	4,00	6,00	5,00	4,00		
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n		
Integer (y/n)?	y	y	y	y	y		

Рис.2.7.2. Введення даних в комп'ютерну програму "TORA"

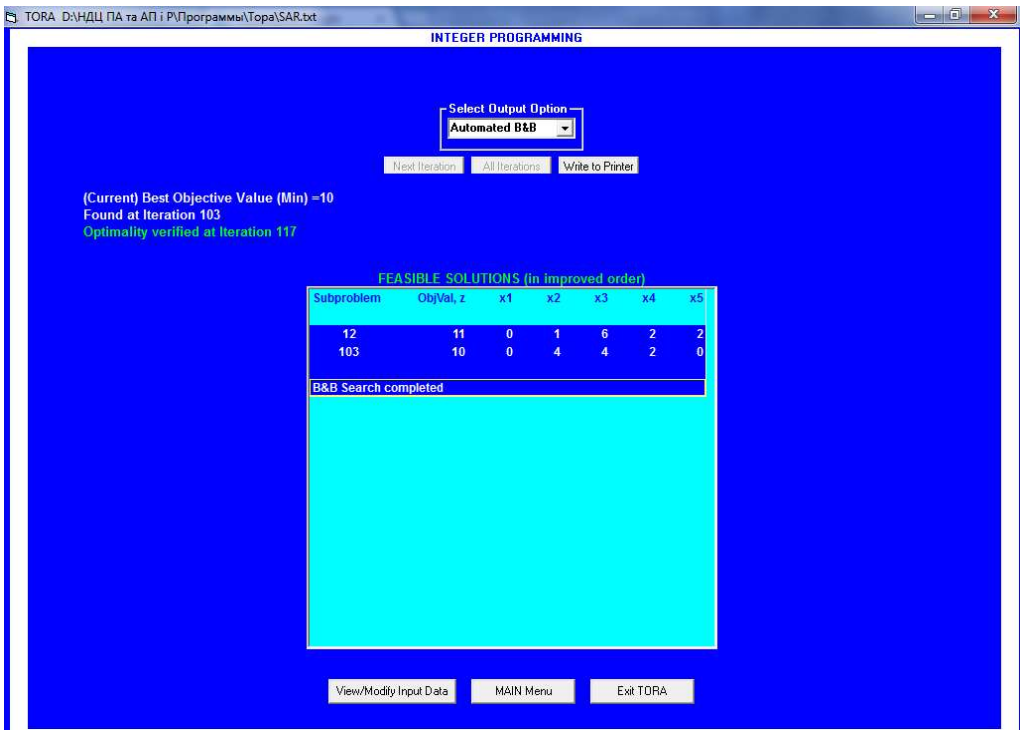


Рис.2.7.3. Обчислення результатів в комп'ютерній програмі "TORA"

Таким чином, приклади практичного застосування методик для обґрунтування необхідної кількості сил і засобів екологічного моніторингу оперативних зон і районів бойових дій проводяться відповідно до критеріїв мінімальної кількості використовуваних сил і засобів за умови виконання всього обсягу робіт з моніторингу. Недоліком рішення є те, що отримане рішення дає інформацію лише про кількість розгорнутих засобів з кожного аеродрому Збройних Сил України, але не дає відповіді на те, в якій частці вони будуть використані для обстеження тієї чи іншої території. Проте отримані дані можуть дати інформацію про кількість приладів повітряного моніторингу (літака, гелікоптера або безпілотного літального апарату) на кожному аеродромі, які необхідно привести до польоту.

Висновки

Запропоновано формалізовану постановку задачі прогнозування на основі аналізу обмежених скалярних полів із застосуванням елементів математичного та статистичного аналізу.

Обґрунтовано вибір сторонніх джерел даних для підвищення достовірності АСК на основі кореляційного аналізу та перевірки вхідних даних.

Проведена статистична, кореляційна, регресивна обробка даних щодо стану каналу зв’язку та даних експериментальної частини дослідницьким методом.

Проведено моделювання антен методом моментів в середовищі MMANA та отримано покращені (оптимізовані) параметри в широкій смузі частот ISM діапазону.

Запропоновано оптимальні алгоритми розташування на маршрутах переміщення обмеженої кількості засобів моніторингу.

3. СТВОРЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ОБМЕЖЕНИХ ЕКОСИСТЕМ

3.1. Автоматизований модуль загального моніторингу довгих вимірювань з режимами сну.

3.1.1. Схема структурна.

В загальному вигляді комплекс представляє собою сенсори що збирають мікро метеорологічні дані, блок оброблення і локальний накопичувач. Бонусом додані радіо інтерфейси для оперативного контролю параметрів без доступу до накопичувача.

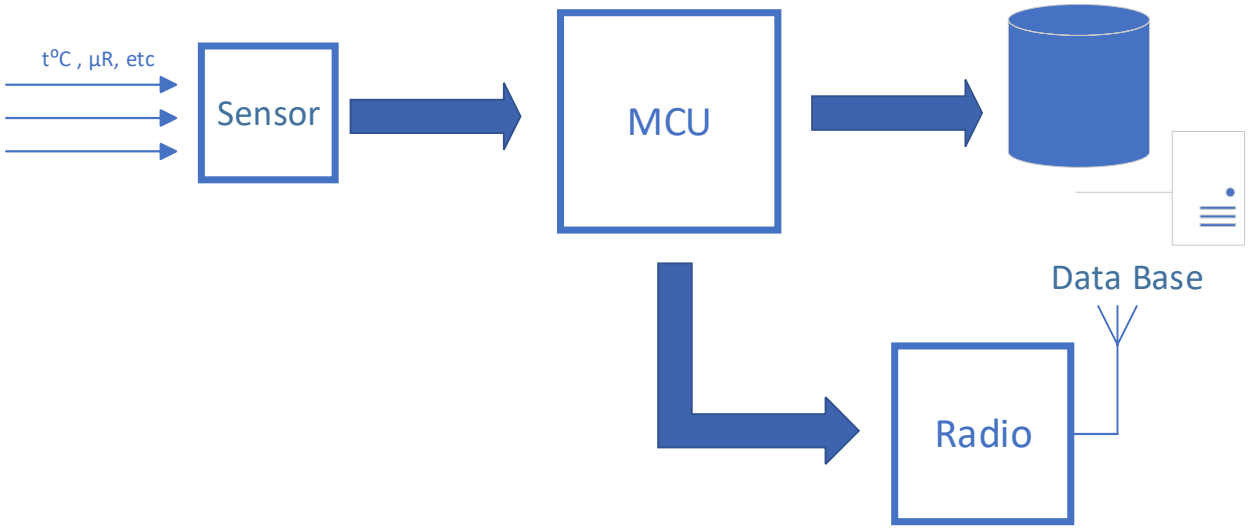


Рис. 3.1.1.1. Схема структурна автоматизований модуль загального моніторингу.

3.1.2. Вибір мікроконтролеру.

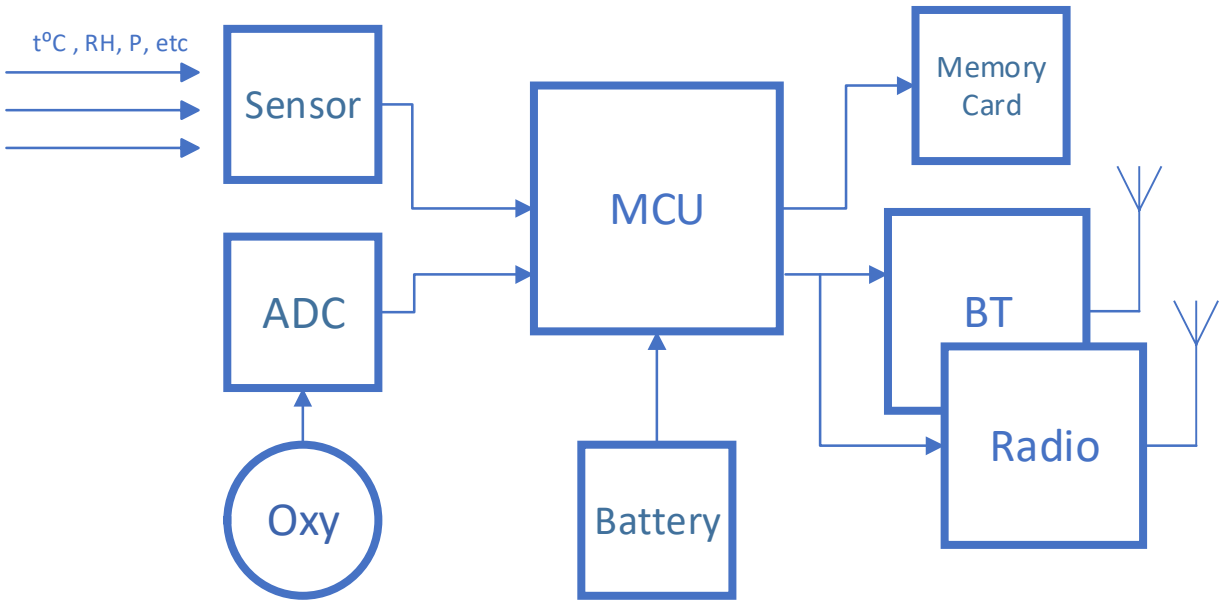


Рис. 3.1.1.1. Схема структурна автоматизований модуль загального моніторингу з периферією.

Порівняємо дві моделі мікроконтролерів для автоматизованого модуля загального моніторингу STM8S103F3P6 та ATmega328p.

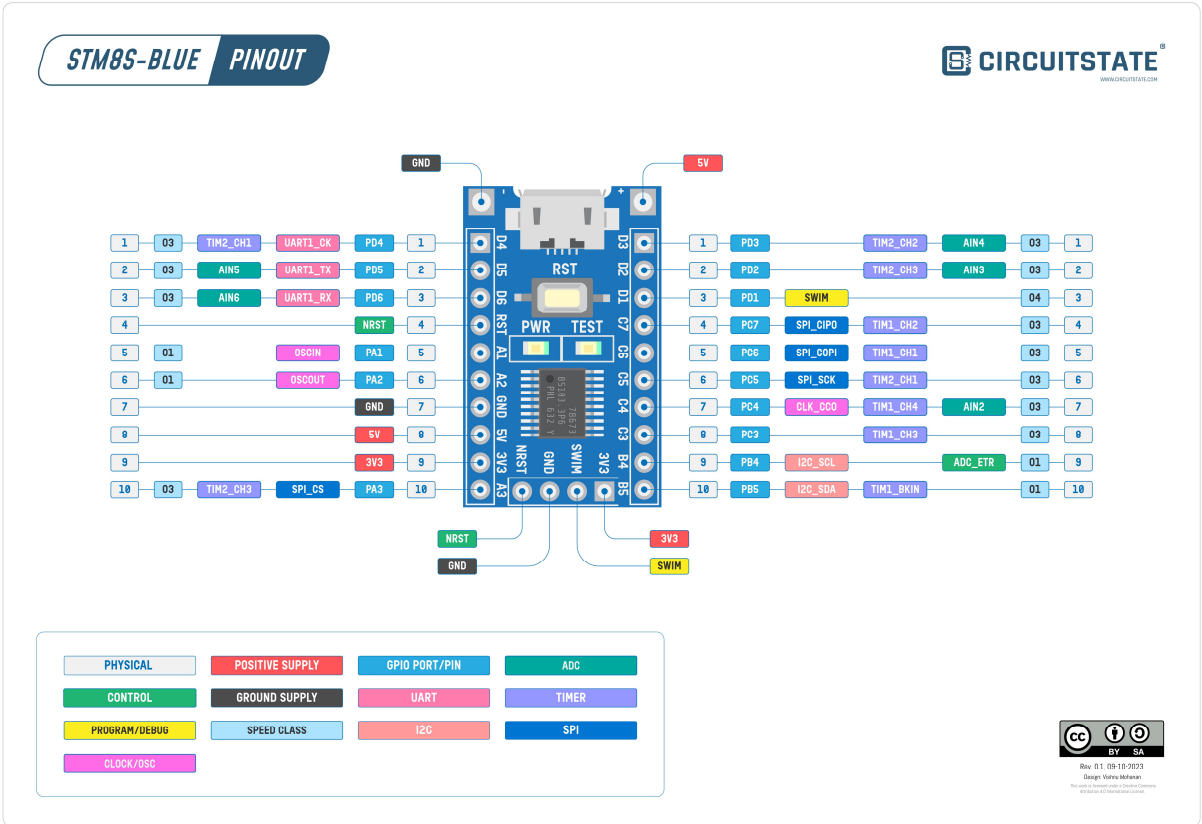


Рис 3.1.2.2. Мікроконтролер STM8S103F3P6.

Технічні характеристики STM8S103F3P6 [131]:

- 16 портів введення/виводу (в тому числі з них 12 портів з високою навантажувальною здатністю), 16 джерел зовнішніх переривань, 3 таймера, SPI, I2C, UART, Watchdog, віконний Watchdog;
- Каналів АЦП: 5;
- АЦП: 10-біт;
- Максимальна тактова частота: 16 мГц;
- Тип пам'яті програм: Flash;
- Розмір пам'яті програм: 8 кБ;
- Розмір ОПЕРАТИВНОЇ пам'яті: 1 кБ;
- Розмір EEPROM пам'яті: 640 байт;
- Інтерфейси: I2C, SPI, UART;
- Кількість таймерів/лічильників: 7;
- Робоча температура: - 40 - +85 °C.

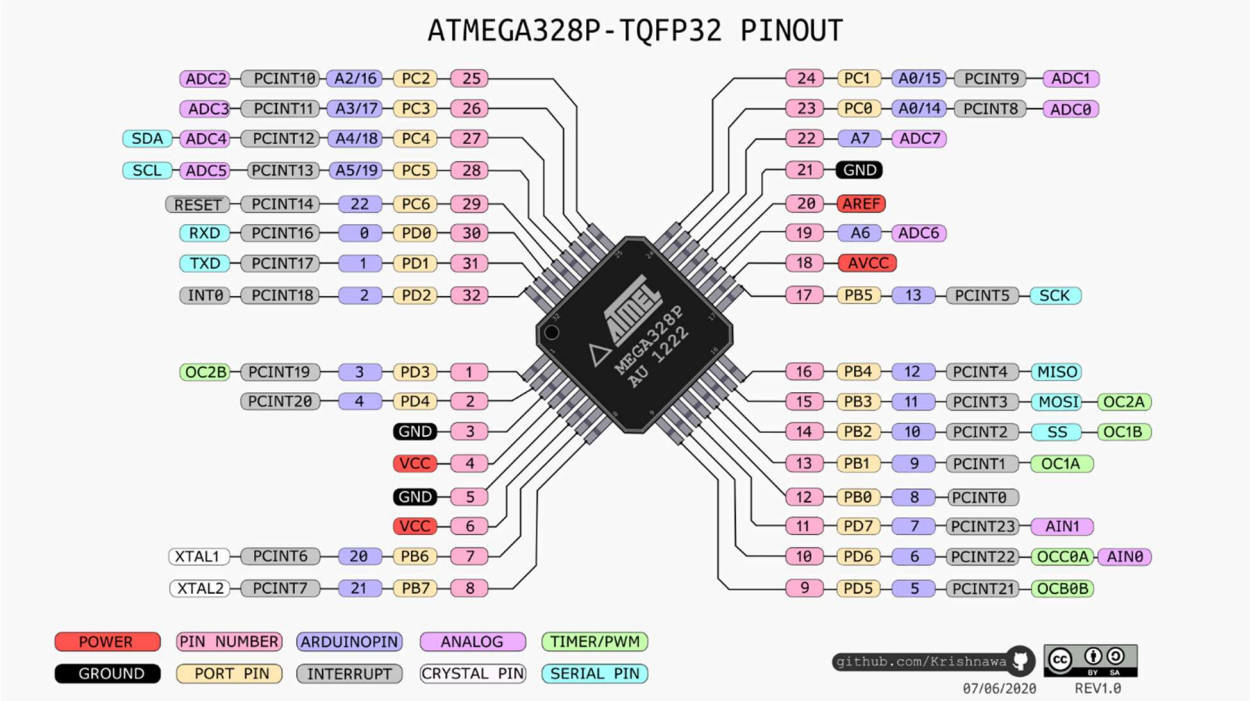


Рис 3.1.2.3. Мікроконтролер ATmega328p.

Мікронтролер ATmega328p характеристики [44]:

- Програмна пам'ять: 32 кБ;

- Оперативна пам'ять: 2 кБ;
- Енергонезалежна пам'ять: 1 кБ;
- Цифрові піни: 14 (з них 6 можуть використовуватися для ШІМ);
- Аналогові піни: 6;
- Частота: 16 МГц;
- Інтерфейси: UART TTL, I2C (TWI), SPI;

З урахуванням роботи наборів периферії та збереження строк в накопичувач 8 кб памяті після компіляції замало, тож CTM8C103(003) не задовольняє з точки зору перспектив росту та поточних задач.

Звернемо увагу на забезпечення енергоспоживання в режимах сну. Оскільки пристрій проводитиме більшу частину часу уві сні, досягнення найменшого енергоспоживання в цей час має вирішальне значення. AVR мають ряд різних режимів сну з різним споживанням електроенергії. Для цієї програми ми обмежені режимами, які дозволять пристрою періодично виходити з режиму сну без втручання користувача.(Watchdog Wakeup 2В 3В 5В).Вимкнути рівень контакту 0,1 мкА 0,1 мкА 0,1 мкА, вимкнення живлення на сторожовому таймері 3,8 мкА 4,4 мкА 6,5 мкА. Енергозбереження (32 кГц кристал) таймер вимкнення 2 0,6 мкА 0,6 мкА 0,7 мкА. Повне вимкнення живлення без роботи сторожового таймера є найнижчим можливим режимом енергоспоживання для MCU. Недоліком вибору цього режиму є те, що таймери взагалі не працюють, тому необхідно використовувати зовнішній таймер, щоб ініціювати переривання контакту та пробудити MCU, коли це необхідно.

Якби бюджет потужності був надзвичайно обмеженим, я б вибрав цей режим і використав Texas Instruments TPL5010 (35 нА при 2,5 В), щоб розбудити пристрій, даючи загальне споживання ~135 нА або 338 нВт при 2,5В. При такому використанні (без урахування споживання електроенергії в режимі неспання) однієї батареї типу AA ємністю 2500 мАг теоретично вистачить на 1200 років: 2.5 Ah * 1.5 / 338e-9 W / 24 / 365.25 = 1265.65 років.

Зовнішній кристал дозволяє нам прокидатися без зовнішніх компонентів На щастя, все не так складно. Залишається використовувати сторожовий таймер у режимі вимкнення живлення або таймер2 із зовнішнім кристалом у режимі енергозбереження. Обидва забезпечують максимальну тривалість сну 8 секунд, але кварцевий генератор споживає значно менше енергії. Ще одна перевага використання зовнішнього кристала полягає в тому, що він дозволить значно підвищити точність інтервалів пробудження порівняно з внутрішнім RC-генератором. Зауважте, що цей кристал не потребує американських доларів для основного годинника, лише для таймера2. Основний годинник все ще може працювати від внутрішнього RC-генератора, тому можна уникнути затримок запуску генератора, пов'язаних із виходом із режиму сну при використанні зовнішнього кристала. Зовнішній кристал 128kHz - 20MHz 258 - 32k CK, вутрішній калібрований RC генератор 8MHz 6 CK, внутрішній генератор 128kHz 6 CK, зовнішній годинник 0 - 20MHz 6 CK.

3.1.3. Вибір сенсорів.

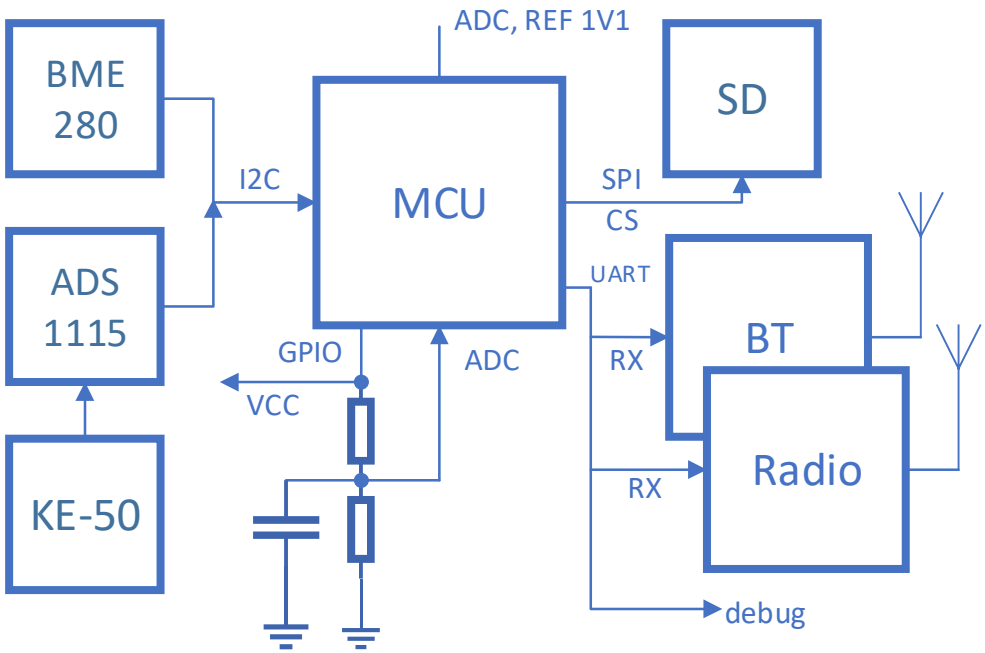


Рис 3.1.3.1. Схема структурна автоматизований модуль загального моніторингу з периферією та додатковими елементами.

Комбіновані сенсори якості мікро метео умов включають в себе сенсори температури, тиску та вологості, а саме БМЕ 680, БМЕ280, суперпозиція БМП180 та ХТУ21[45, 46, 133].

BME680 - це багатофункціональний датчик навколишнього середовища MEMS 4-в-1, який інтегрує датчик VOC (летких органічних сполук), датчик температури, датчик вологості та барометр. Він призначений для моніторингу якості повітря, а завдяки технології MEMS BME680 має невеликі розміри та низьке енергоспоживання. Він може широко використовуватися в моніторингу навколишнього середовища, домашній автоматизації та контролі, переносних пристроїв Інтернету речей (IoT), покращенні GPS тощо.

Датчик BME680 використовує більш спрощену конструкцію з'єднання по 2.54-контактній гребінці та SPI-з'єднувачі [45]. Він має вбудовану схему перетворювача рівня IC і I2C, що робить цей датчик більш зручним для інтеграції в різні програми.

Особливості датчика MEMS: невеликий розмір, низьке споживання енергії, висока надійність, широкий вхід напруги, сумісний з контролером 3.3 В і 5 В

Характеристики:

- Інтерфейс I2C(Support 3.3B/5B) або SPI(other non-I2C ports only support 3.3B); адреса I2C: 0x76
- Діапазон IAQ (якість повітря в приміщенні): 0 ~ 500 (чим більше, тим гірше)
- Вологість 0-100%r.H; точність 3%r.H.(20-80% r.H.,25℃)
- Діапазон температур -40℃~+85℃
- Напруга 3.3~5.5В
- Розмір 18x15.6мм
- Струм 5mA
- Тиск 300-1100hPa; точність ±0.6hPa(300-1100hPa,0~65℃)
- Точність ±1.0℃(0~65℃)

Модуль з барометром BME-280 — нова покращена модель [46], сумісна з BMP-180. Активно використовується в авіа конструюванні або погодних

станціях. Завдяки йому можна визначити висоту, тиск, температуру та вологість. Модуль обладнано буферною мікросхемою, яка дозволяє працювати з підвищеними напругами шини I2C.

Характеристики:

- Живлення: 3 В;
- Інтерфейс: I2C/SPI;
- Діапазон тиску: 1100 hPa (-500м) - 300hPa (+9000м);
- Точність вимірювання вологості: 3% RH;
- Роздільна здатність тиску : 0.0016 hPa;
- Точність вимірювання тиску: 0.12 hPa (1м);
- Роздільна здатність температури : 0.01 °C;
- Частота вимірів: до 157 Гц;
- Розмір: 11.5 х 13.5 мм;
- Вага: 0.5 г.
- BMP180+HTU21D

Модуль з барометром BMP-180 активно використовується в авіаконструюванні та погодних станціях. Завдяки йому можна визначити висоту, тиск та температуру. Сумісний з попереднім аналогом BMP085.

Характеристики:

- Живлення: 1,8-5 В;
- Інтерфейс: I2C;
- Діапазон тиску: 1100 hPa (-500 м) - 300 hPa (+9000 м);
- Вимірювання температури: 0-60°C;
- Точність: 0,02 hPa (17 см);
- Низьке споживання струму: до 0,5 мкА (1 Гц).

HTU21D - цифровий сенсор температури і відносної вологості високої точності [133]. Цей датчик вологості і температури являє собою твердо тільну CMOS-мікросхему. Мікросхема виконує функції датчика вологості і температури, аналого-цифрового перетворювача, обробника сигналів, калібрувальника даних, а також обробника інтерфейсу I2C. Запатентована

стандартна технологія, що використовує полімерні діелектрики для визначення вологості, дозволяє створювати твердотільні КМОП-датчики з низьким дрейфом, гістерезисом і довготривалою стабільністю зчитування. GY-21 HTU21D калібрується на заводі і калібрувальні дані зберігаються в незалежній пам'яті. Це гарантує, що датчики повністю взаємозамінні і не вимагають калібрування або програмних змін [133].

Характеристики:

- Вологість: від 0 до 100%
- Точність вимірювання відносної вологості: ± 3%
- RH в діапазоні: від 0 до 80% RH
- Температура: від -40 до +125 ° C
- Точність вимірювання температури: ± 0.4 ° C (в діапазоні від -10 до +85° C)
- Живлення: 3...5В (на платі стоїть стабілізатор 662К на 3.3В)
- Струм споживання в активному стані: 150 мкА
- Струм споживання в режимі очікування: 60 нА
- Інтерфейс передачі даних: I2C.

Отже, 680 має підвищене енергоспоживання за рахунок сенсору якості повітря і немає сенсу в використання в наведеному комплексі.

Набор бмп180 та хту21 з точки зору точності, роздільної здатності та енергоефективності задовольняє авторів. В той же час бме280 при незначно вищій вартості має аналогічні параметри.

З точки зору економії пам’яті та ініціалізації простіше опросити один бме280. Тож це і є оптимальний вибір на думку авторів.

Вимірювання концентрації кисню.

Grove - Oxygen Sensor (MIX8410) - електрохімічний датчик кисню, який можна використовувати для перевірки концентрації кисню в повітрі [134]. Завдяки хімічній реакції між електродами відбувається окислювально-відновлювальна реакція, яка тим самим генерує струм. Концентрація кисню в

повітрі обчислюється шляхом вимірювання цього струму з посиланням на графік лінійних характеристик концентрації кисню.

Grove - Oxygen Sensor побудовано на базі датчику MIX8410.

Особливості:

- Висока чутливість(0.1±0.03 мА)
- Стабільність роботи
- Не наносить шкоди навколишньому середовищу
- Низький вихідний струм (що подовжує термін служби датчика)
- Діапазон вимір. 0-25%
- Гранична конц. 30%
- Чутливість 0.05~0.15 mA(in air)
- Повторюваність ±2%
- Час відп. (t90) ＜ 10s
- Стабільність ＜ 2% / moth
- Рекоменд. навантаж. 100Ω
- Довготрив. др. ＜ 5% / year
- Темп діап. -20 °C~50 °C
- Час розігріву 20 minutes
- Темп. зберіг. 0-25 °C
- Вх. напруга 3.3V / 5V
- Срок служби 2роки.

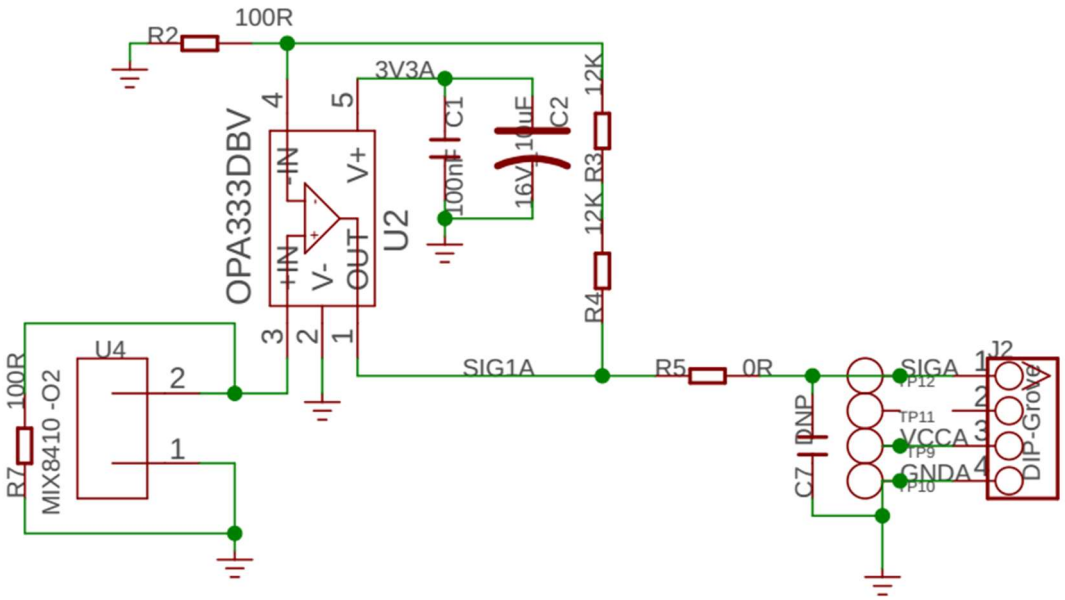


Рис. 3.1.3.2. Схема принципова Grove - Oxygen Sensor (MIX8410).

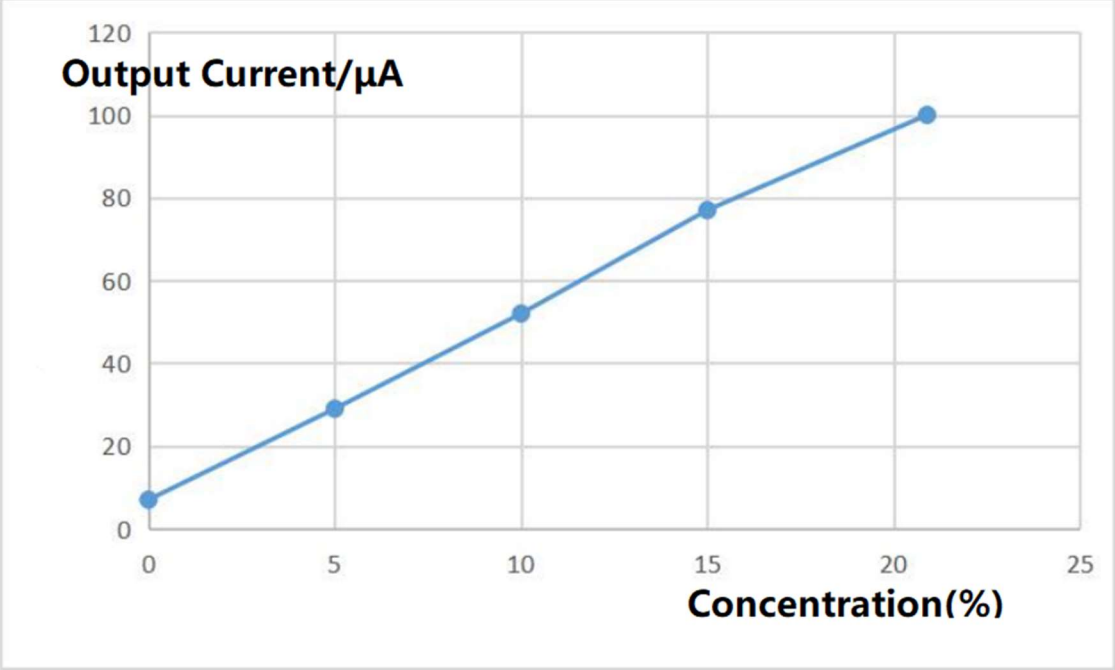


Рис. 3.1.3.3. Вихідна характеристика Grove - Oxygen Sensor (MIX8410).

Примітка щодо експлуатації кисневого датчика:

- Розрізання контактної металевої стрічки.
- При паянні металевих стрічок заборонено контакт паяльної банки з датчиком.
- Витримка датчика не менше ніж за 30 хвилин до початку роботи.
- Зберігання датчика від летючого розчинника.

- Заборонено зберігати та використовувати датчик у кислотному або лужному середовищі.

КЕ-50 і АЦП ADS11xx

особливості:

- Довгий термін служби - 2,5~10 років в навколишньому повітрі
- Практично відсутній вплив CO2, CO, H2S, NOx, H2
- Низька вартість
- Працює за нормальної температури навколишнього середовища
- Стабільний вихідний сигнал
- Для датчика не потрібне зовнішнє джерело живлення
- операція
- Час на розігрів не потрібен

Серія датчиків кисню Maxell KE (KE-12, KE-25 і KE-50) є унікальними датчиками кисню гальванічного елементного типу. Особливості: тривалий термін служби, відмінна хімічна стійкість, і відсутність впливу CO2. Датчики кисню серії KE ідеально підходять для задовольнити постійно зростаючий попит на моніторинг кисню в таких сферах, як моніторинг газів згоряння, біохімічна сфера, прилади побутового спалювання тощо.

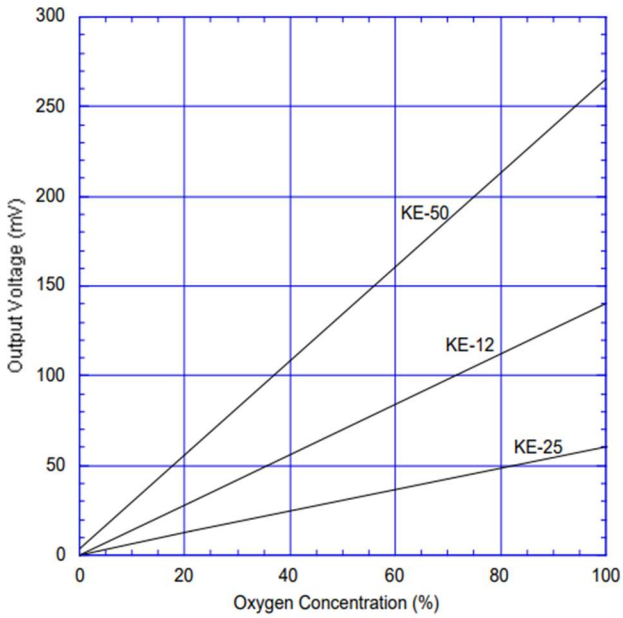


Рис.3.1.3.4. Вихідні характеристики по напрузі датчиків кисню Maxell KE (KE-12, KE-25 і KE-50).

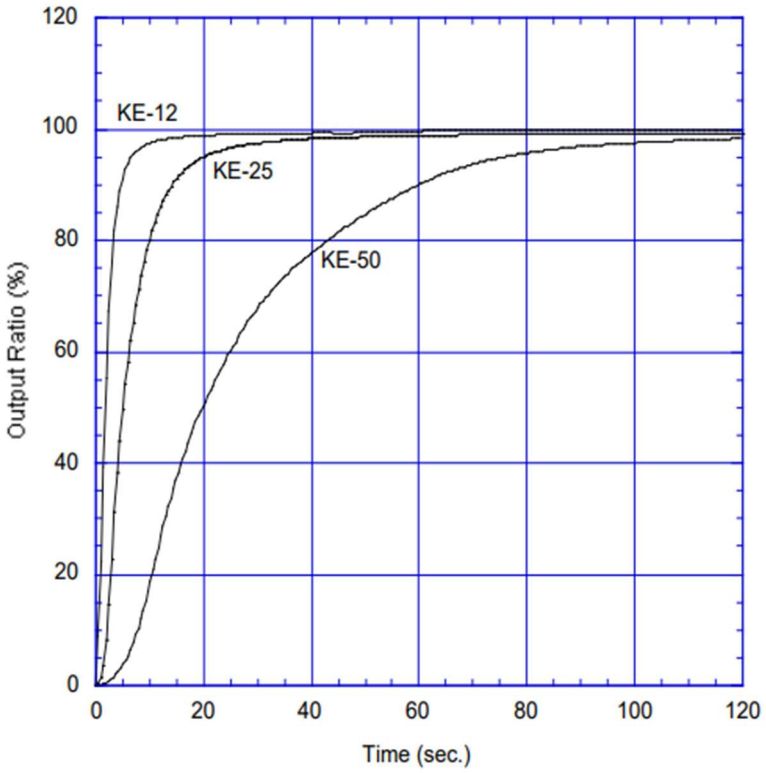


Рис.3.1.3.5. Час готовності датчиків кисню Maxell KE (KE-12, KE-25 і KE-50).

Слід зазначити що напруга з сенсора є замала для роботи з вбудованим АЦП МК навіть при використанні опорної напруги з нижніх лімітів даташиту. Тож, підберемо зовнішній АЦП із I2C інтерфейсом. Шкала в межах 100 мВ, і, бажано, диференційний вхід. Наявність програмованого підсилювача бажана.

Розглянемо лінійку АЦП ADS1x15. 4-канальні коммутаційні плати ADS1115 і ADS1015 ідеально підходять для додавання аналого-цифрового перетворення високої роздільної здатності до будь-якого проекту на основі мікропроцесора. Ці плати можуть працювати з живленням і логічними сигналами від 2 В до 5 В, тому вони сумісні з усіма поширеними процесорами 3,3 В і 5 В. Багато з 4 таких плат можна керувати за допомогою однієї 2-провідної шини I2C, що дає вам до 16 односторонніх або 8 диференціальних каналів. Програмований підсилювач посилення забезпечує посилення до x16 для малих сигналів.

Ці дві плати дуже схожі, відрізняються лише роздільною здатністю та швидкістю. ADS1115 має вищу роздільну здатність, а ADS1015 має вищу частоту дискретизації.



Рис.3.1.3.6. Плати АЦП ADS1115 та ADS1015.

ADS1115 має формат даних для 16-бітних даних. ADS1015 має формат для 12-розрядних даних АЦП понад 16 біт, де молодші чотири LSB дорівнюють 0. Однак мікропрограма може бути з перетвореннями на основі розміру LSb. На прикладі FSR ±2,048 В.

Наприклад, ADS1115 має максимальне зчитування з регістру перетворення 7FFFh і мінімальне зчитування 8000h. Це перетворюється на 32767d і -32768d. Якщо ви використовували розмір LSb для перетворення цих значень, ви можете взяти перетворення АЦП і помножити число на розмір LSb. Розмір LSb становить 62,5 мкВ. Таким чином ви отримуєте:

Макс. = 32767 * 62,5 мкВ = 2,047935 В

Мін. = -32768 * 62,5 мкВ = -2,048 В

ADS1015 має максимальне зчитування з регістру перетворення 7FF0h і мінімальне зчитування 8000h. Вони перетворюються на цифрові як 32752d і -32768d. Ви можете використовувати той самий розмір LSB, включаючи чотири 0 LSbs як частину даних. Ви отримаєте:

Макс. = 32752 * 62,5 мкВ = 2,047 В

Мін. = -32768 * 62,5 мкВ = -2,048 В

Це дасть подібні результати для даних перетворення АЦП з тією самою мікропрограмою.

Зазначу, що пристрої не зовсім однакові. Регістр конфігурації налаштовується так само, але точні швидкості передачі даних відрізняються.

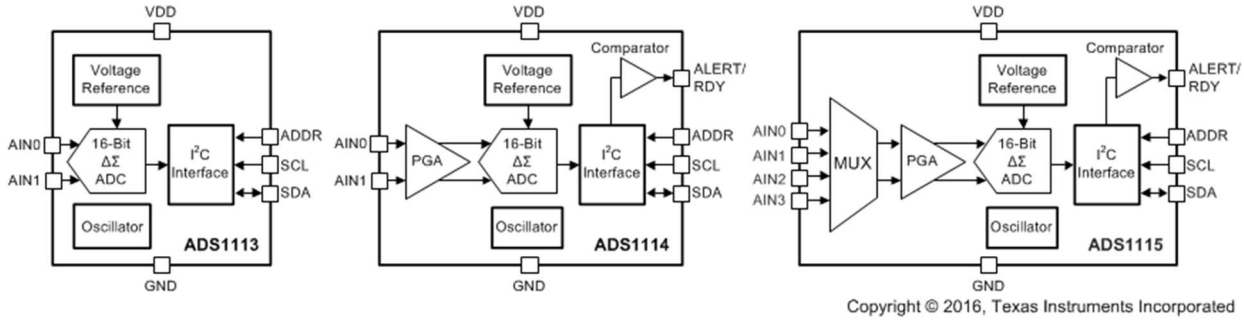


Рис.3.1.3.7. Структурні схеми АЦП ADS1113, ADS1114, ADS1115.

7.5 Electrical Characteristics

At VDD = 3.3 V, data rate = 8 SPS, and full-scale input voltage range (FSR) = ±2.048 V (unless otherwise noted). Maximum and minimum specifications apply from T_A = –40°C to +125°C. Typical specifications are at T_A = 25°C.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
ANALOG INPUT					
Common-mode input impedance	FSR = ±6.144 V(1)		10		MΩ
	FSR = ±4.096 V(1), FSR = ±2.048 V		6		
	FSR = ±1.024 V		3		
	FSR = ±0.512 V, FSR = ±0.256 V		100		
Differential input impedance	FSR = ±6.144 V(1)		22		MΩ
	FSR = ±4.096 V(1)		15		
	FSR = ±2.048 V		4.9		
	FSR = ±1.024 V		2.4		
	FSR = ±0.512 V, ±0.256 V		710		kΩ

Рис.3.1.3.8. Характеристики АЦП ADS111X.

Отже, запропонований авторами набір має вищу роздільну здатність за рахунок 16 біт АЦП з програмованим підсилювачем.

3.1.4. Схема електрична

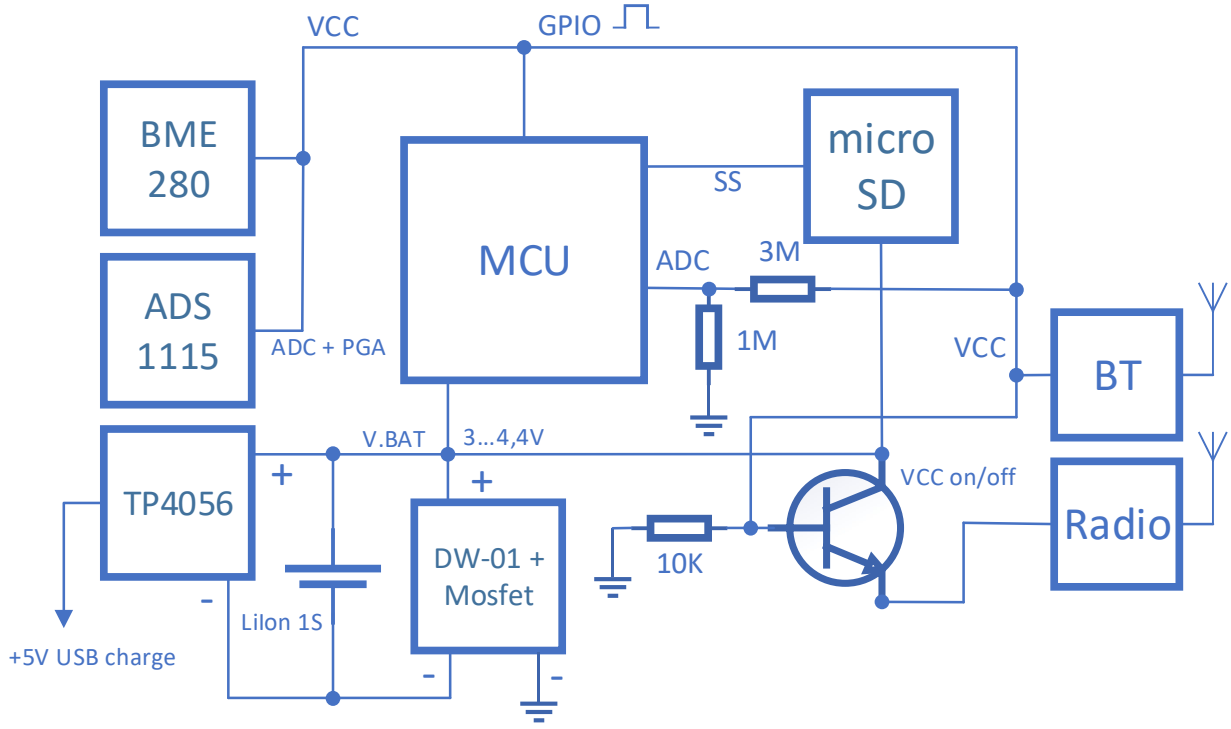


Рис.3.1.4.1. Схема структурна загальна автоматизованого модуля загального моніторингу.

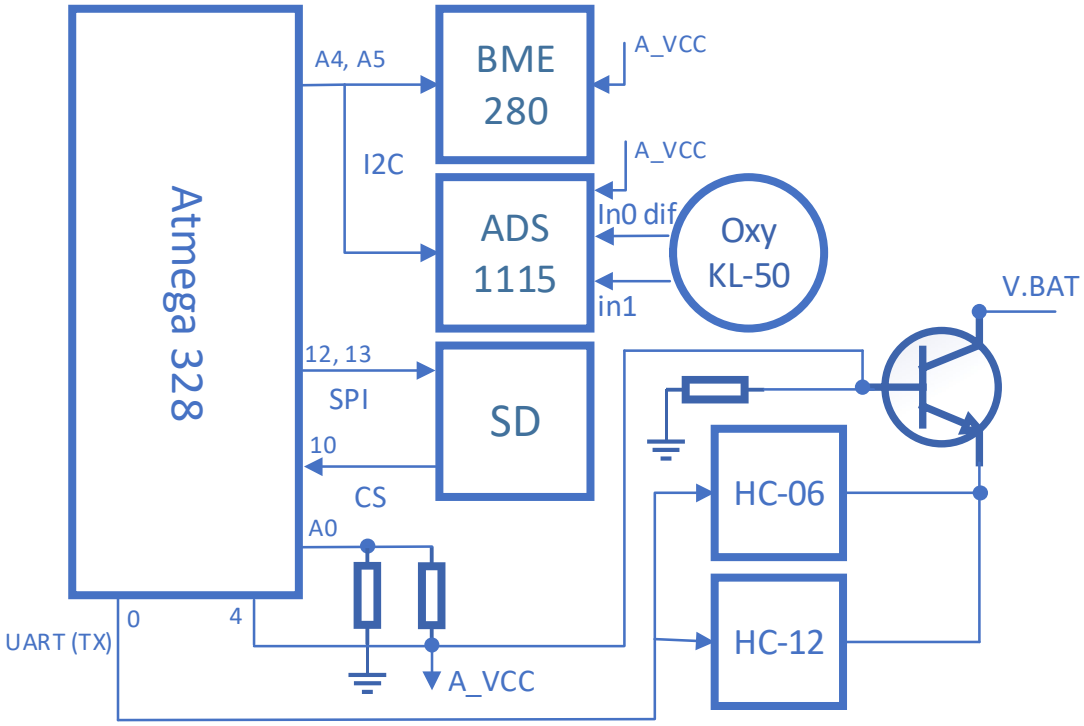


Рис.3.1.4.2. Схема електрична загальна автоматизованого модуля загального моніторингу з мікроконтролером та АЦП.

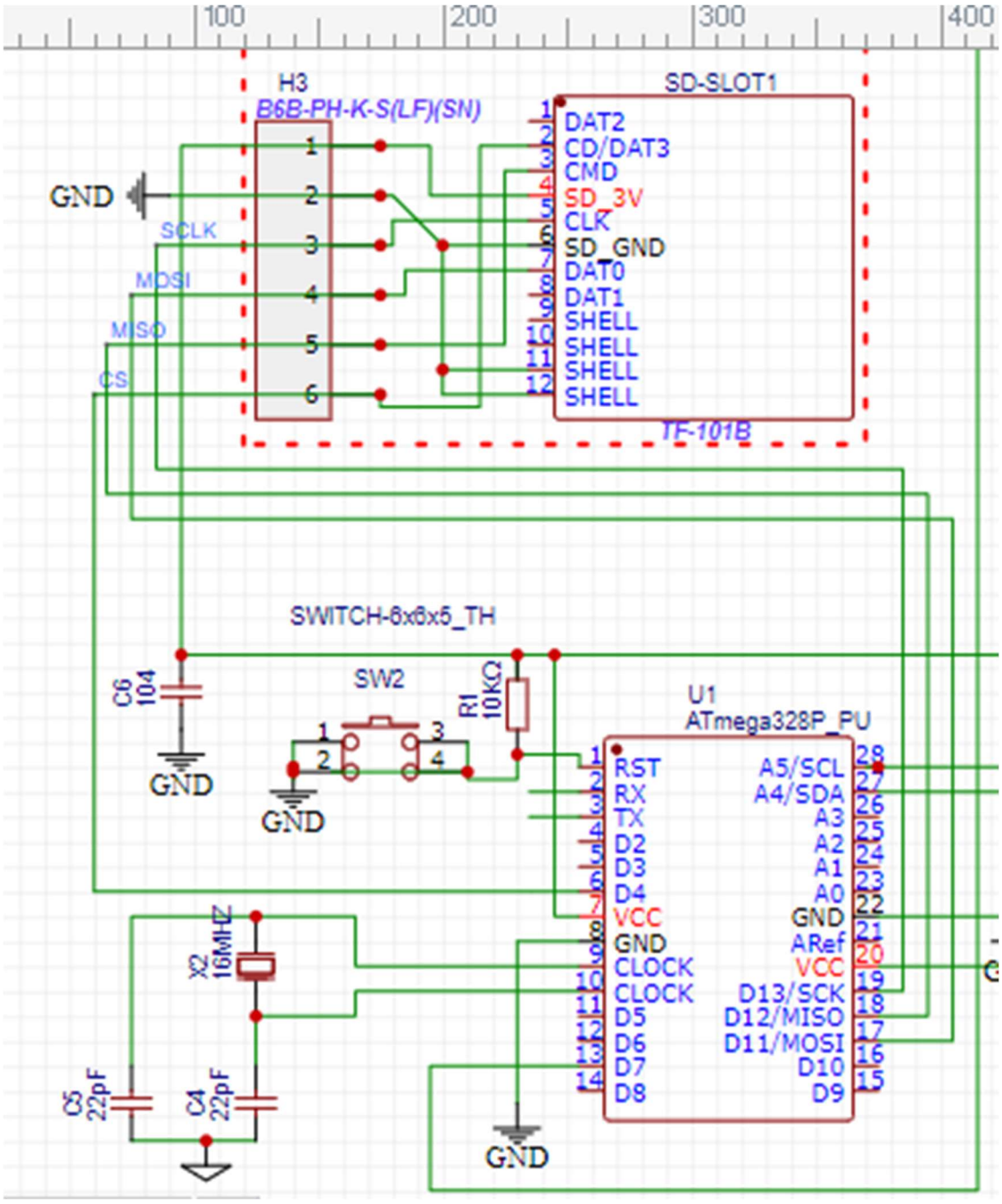


Рис.3.1.4.3. Фрагмент принципової електричної схеми автоматизованого модуля загального моніторингу, EasyEDA, (мікроконтролер ATmega328P + microSD reader).

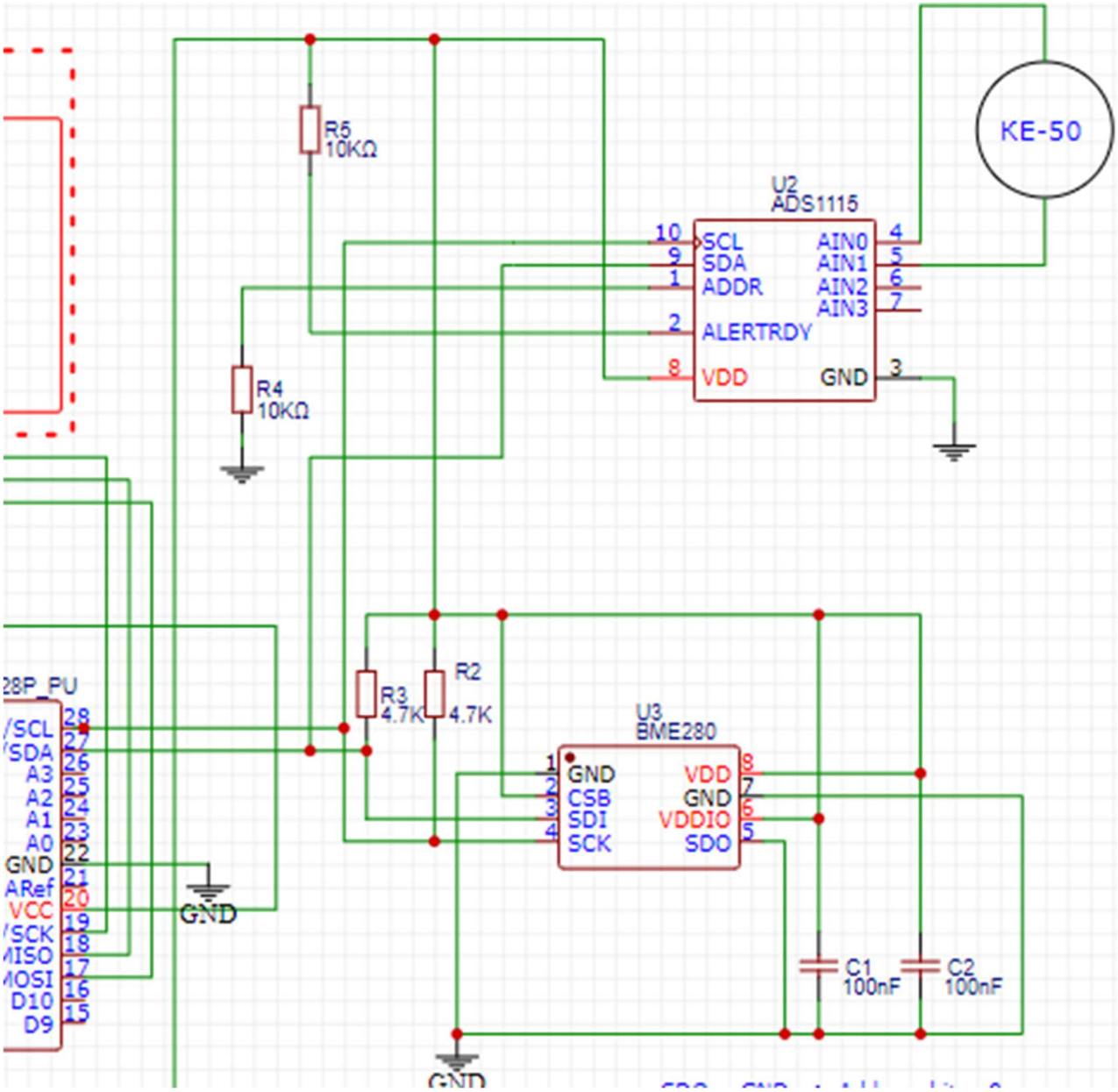


Рис.3.1.4.4. Фрагмент принципової електричної схеми автоматизованого модуля загального моніторингу, EasyEDA, (сенсор BME280 + ADS1115 + KE50).

Схема електрична принципова автоматизованого модуля загального моніторингу довгих вимірювань з режимами сну наведена в додатку 8.

3.1.5. Алгоритм роботи

Експлуатація системи з використанням сна накладає вимоги на повторну реініціалізацію периферії, а отже код починається в точці входу лише після запуску нескінченого циклу.

Для спрощення на Вайрингу це буде

```
19  unsigned int sleepCounter;
20
21  Adafruit_BME280 bme; // I2C
22  Adafruit_ADS1115 ads;  // Use this for the 16-bit version
23  File myFile;
24
25  void setup() {
26  }
27
28  void loop() {
29    Serial.begin(9600);
30    pinMode(SDPIN, OUTPUT);
31    pinMode(RADIO, OUTPUT);
```

Рис.3.1.5.1. Фрагмент коду.

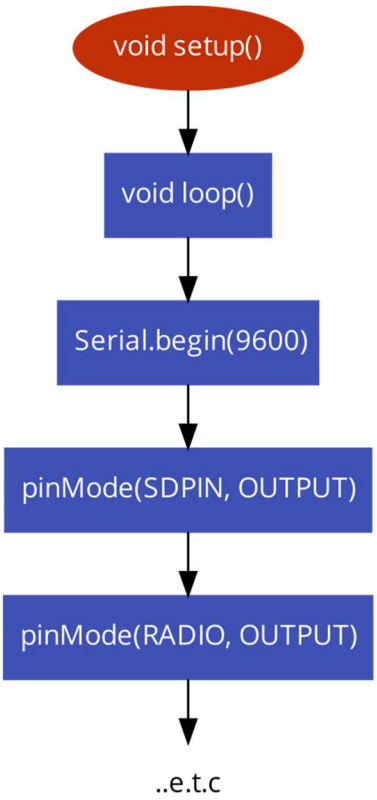


Рис.3.1.5.2. Фрагмент алгоритму (charFlow).

3.1.6. Ініціалізація периферії

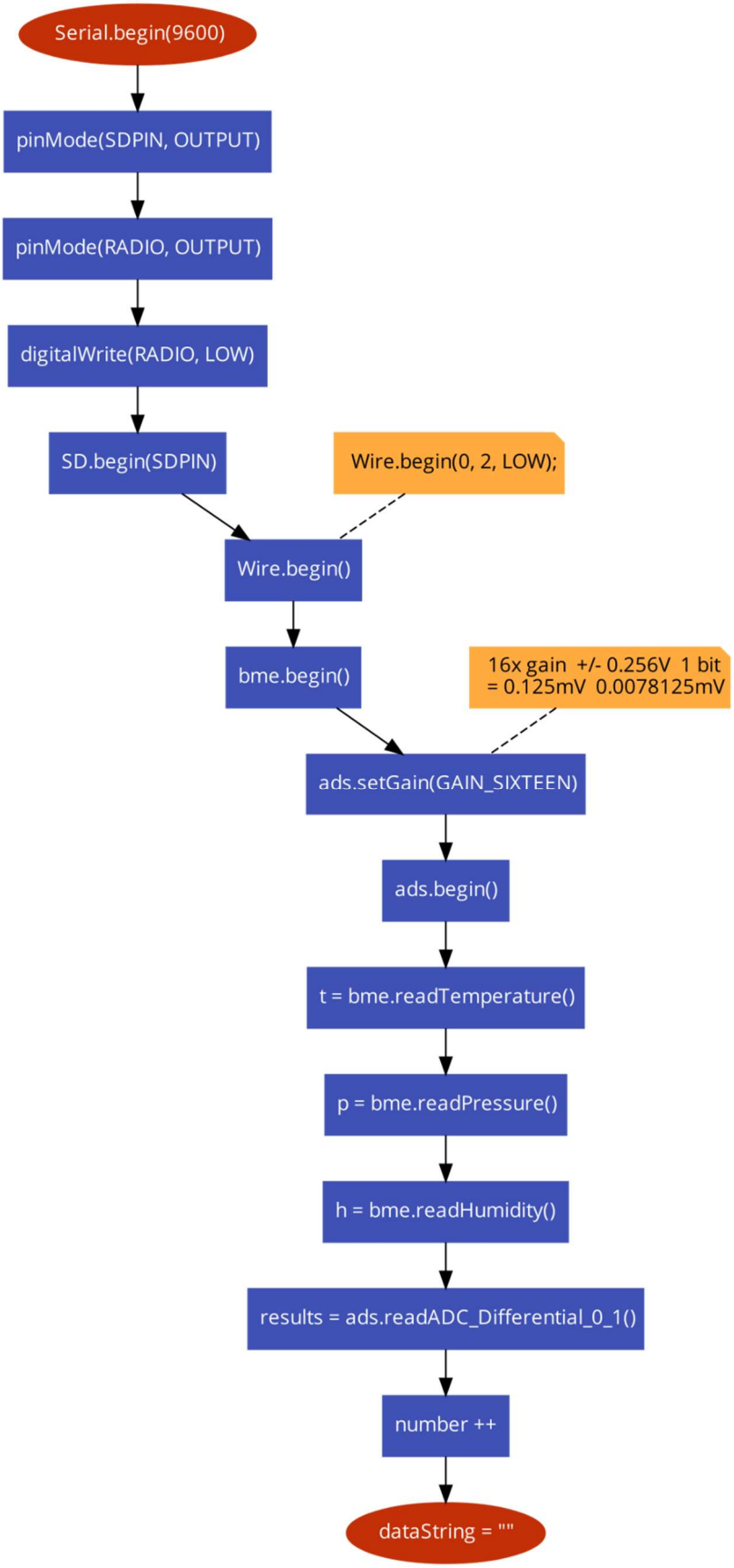


Рис.3.1.6.1. Фрагмент алгоритму ініціалізації периферії (charFlow).

```
29    Serial.begin(9600);
30    pinMode(SDPIN, OUTPUT);
31    pinMode(RADIO, OUTPUT);
32    digitalWrite(RADIO, LOW);
33    SD.begin(SDPIN);
34    Wire.begin();  // Wire.begin(0, 2, LOW);
35    bme.begin();
36    ads.setGain(GAIN_SIXTEEN);    // 16x gain  +/- 0.256V  1 bit = 0.125mV  0.0078125mV
37    ads.begin();
```

Рис.3.1.6.2. Фрагмент коду ініціалізації периферії.

Додаткові схеми алгоритмів роботи модуля наведені в додатку 4. Апаратно програмний комплекс виявив високу енергоефективність за рахунок режиму сну в суперпозиції із вимірювальними сенсорними модулями, що не вимагали попереднього часу на встановлення параметрів.

3.2. Автоматизований модуль оперативного моніторингу.

3.2.1. Схема структурна.

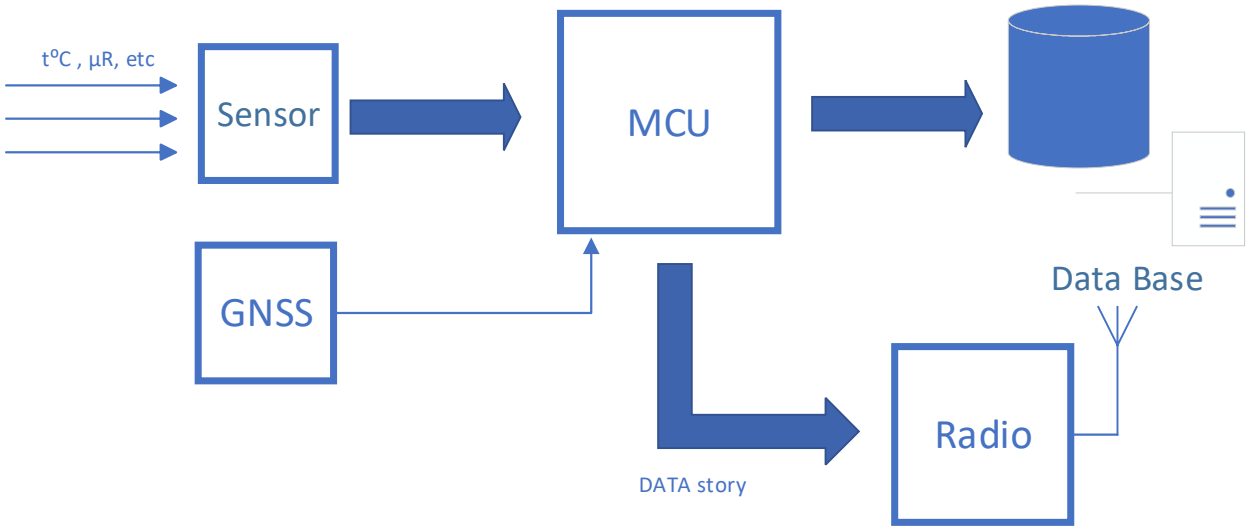


Рис.3.2.1.1. Загальна структурна схема автоматизованого модуля оперативного моніторингу.

В загальному вигляді комплекс складається з сенсорів що збирають мікро метеорологічні дані, блоку оброблення, блоку геолокаційних даних, локального накопичувача, радіо модуля. Вимірювані дані записуються на внутрішній накопичувач та передаються через радіо інтерфейс для подальшої обробки і оперативного моніторингу.

3.2.2. Вибір мікроконтролеру.

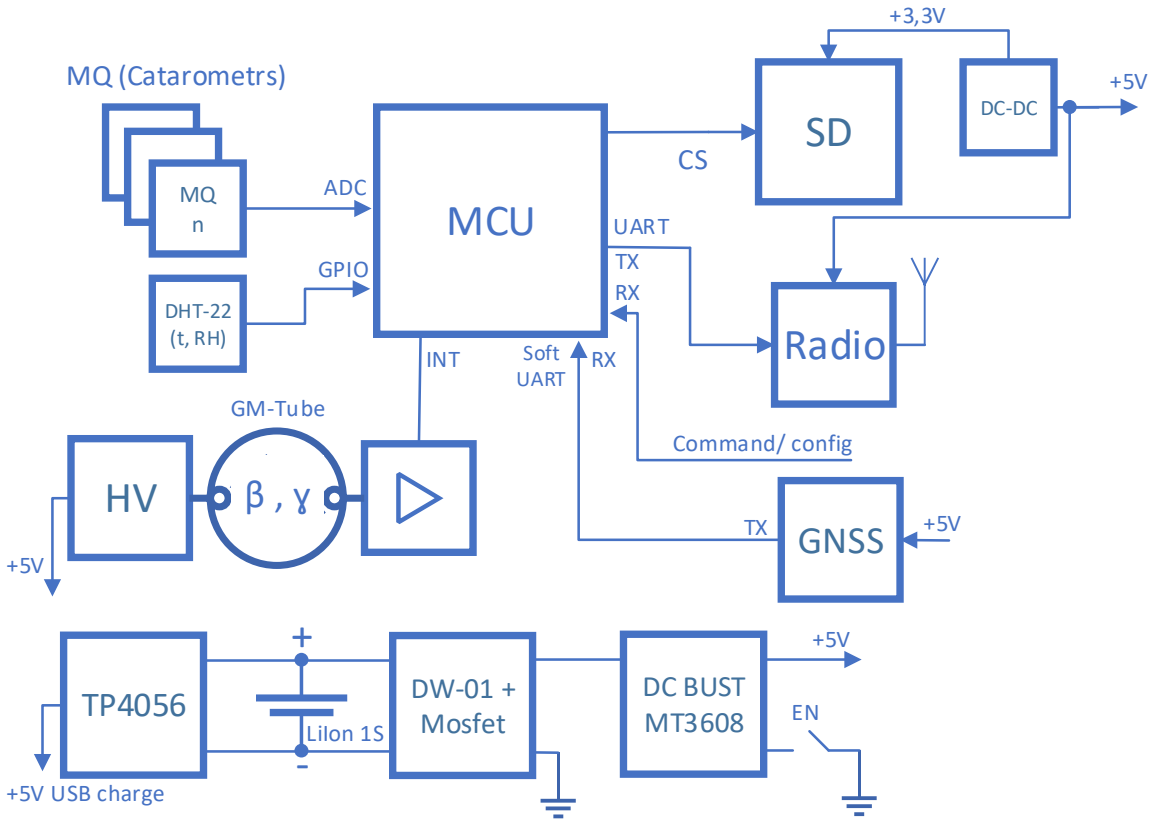
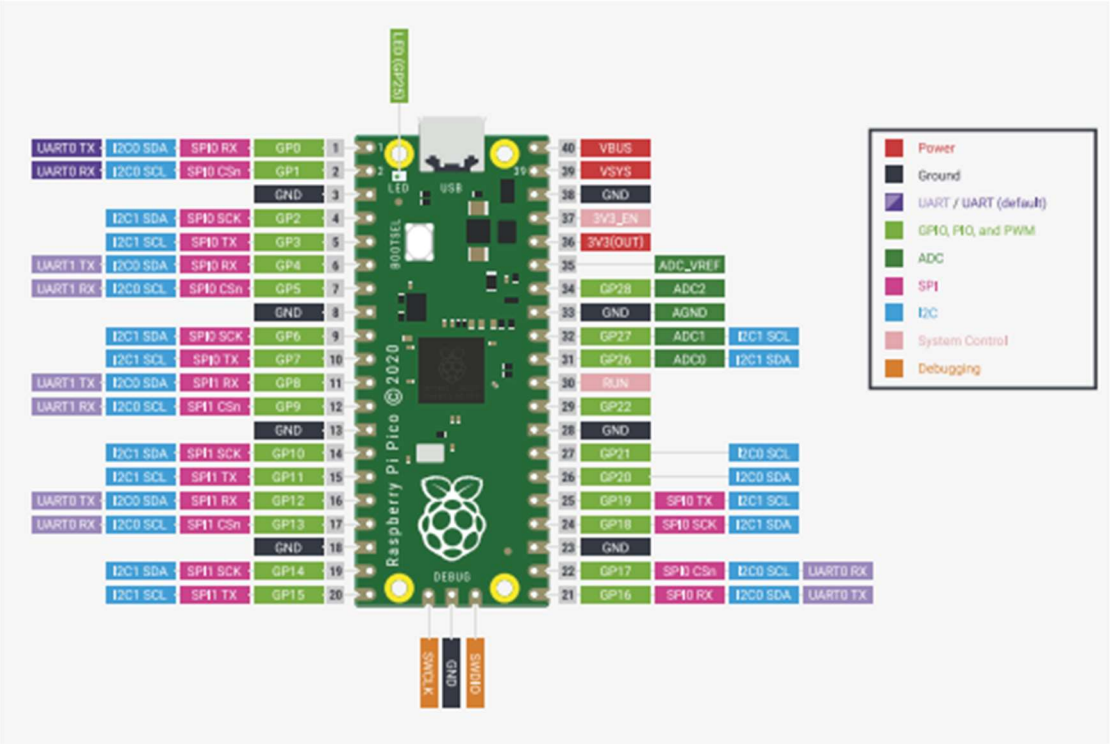


Рис.3.2.2.1. Структурна схема автоматизованого модуля оперативного моніторингу з інтерфейсами та сенсорами.

Для рухомого модулю оперативного або критичного моніторингу доречно вибрати мікроконтролер з достатнім набором інтерфейсів та об’ємом пам’яті. Порівняємо RP2040 та Atmega328.



4.9. ADC and Temperature Sensor

RP2040 has an internal analogue-digital converter (ADC) with the following features:

- SAR ADC (see Section 4.9.2)
- 500ksps (using an independent 48MHz clock)
- 12-bit with 8.7 ENOB (see Section 4.9.3)
- Five input mux:
  - Four inputs that are available on package pins shared with GPIO[29:26]
  - One input is dedicated to the internal temperature sensor (see Section 4.9.5)
- Eight element receive sample FIFO
- Interrupt generation
- DMA interface (see Section 4.9.2.5)

Рис.3.2.2.2. Мікроконтролер RP2040 з характеристиками.

Figure 114. ADC
Connection Diagram

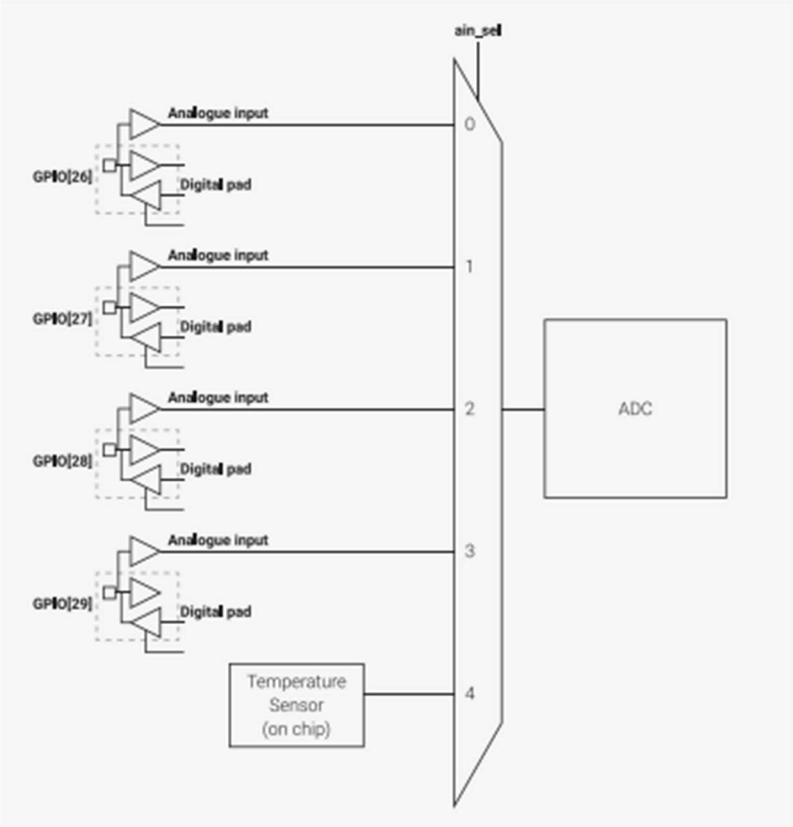
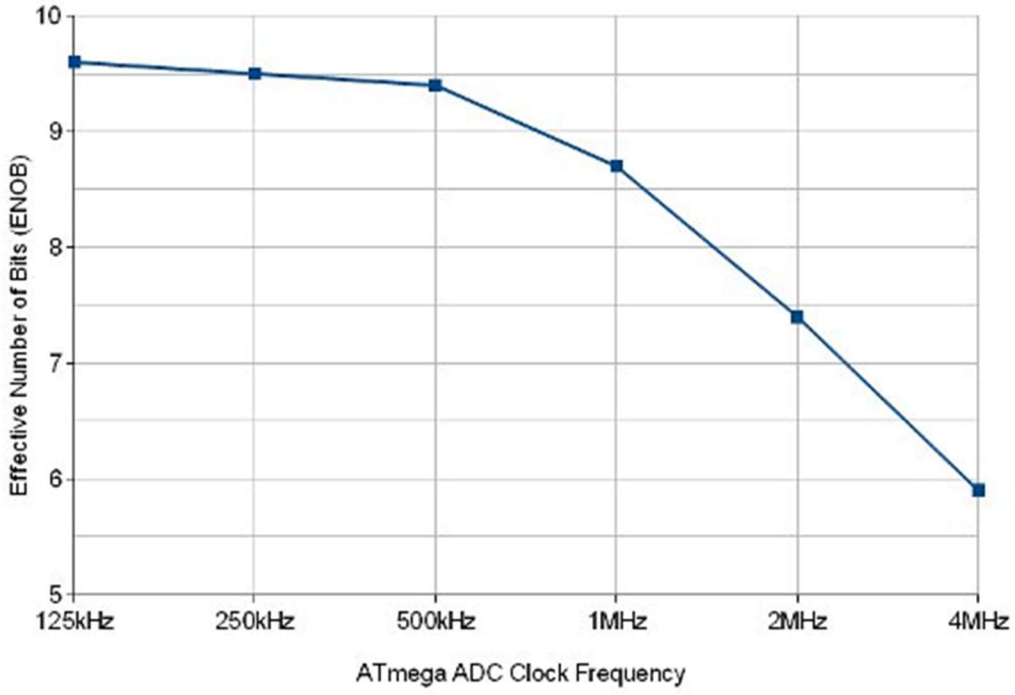


Рис.3.2.2.3. Мікроконтролер RP2040 АЦП входи.

Мікроконтролер RP2040 в свєму складі має вбудований АЦП 12bit та 5 каналів , з частотою обробки 500kHz if CLK 48MHz.



- Operating voltage:
  - 2.7V to 5.5V for ATmega328P
- Temperature range:
  - Automotive temperature range: –40°C to +125°C
- Speed grade:
  - 0 to 8MHz at 2.7 to 5.5V (automotive temperature range: –40°C to +125°C)
  - 0 to 16MHz at 4.5 to 5.5V (automotive temperature range: –40°C to +125°C)
- Low power consumption
  - Active mode: 1.5mA at 3V - 4MHz
  - Power-down mode: 1µA at 3V

Рис.3.2.2.4. Мікроконтролер ATmega328 характеристики.

Режим заглушення шуму в мікроконтролері ATmega328 використовується для зменшення впливу електромагнітного шуму на роботу мікроконтролера і підсилення стійкості його роботи в умовах електромагнітного перешкодження, особливо важливим ця фунуція є для АЦП входу, куди під’днуються занадто чутливі сенсори.

Режим шумозаглушення АЦП. Коли біти SM2...0 записуються в 001, інструкція SLEEP змушує мікроконтроллер перейти до режиму зменшення шуму АЦП режим, зупиняючи ЦП, але дозволяючи АЦП, зовнішні переривання, адресу 2-провідного послідовного інтерфейсу годинник, таймер/лічильник2(1) і сторожовий таймер для продовження роботи (якщо ввімкнено). Цей режим сну практично припиняється clkI/O, clkCPU та clkFLASH, дозволяючи іншим тактовим генераторам працювати. Це покращує шумове середовище для АЦП, що дозволяє проводити вимірювання з вищою роздільною здатністю. Якщо АЦП є увімкнуто, перетворення розпочнеться автоматично при вході в цей режим. Окрім перетворення АЦП Повне переривання, лише зовнішнє скидання, скидання системи Watchdog, переривання Watchdog, вимкнення Скидання, збіг адреси 2-провідного послідовного інтерфейсу, переривання Timer/Counter2, переривання готовності SPM/EEPROM, переривання зовнішнього рівня на INT0 або INT1 або переривання зміни контакту може розбудити MCU від шуму АЦП Режим скорочення.

Сигнали ввімкнення опорної напруги та час запуску ATmega328.

Опорна напруга має час запуску, який може вплинути на спосіб його використання. Час запуску становить наведено в розділі «Характеристики системи та скидання» на сторінці 314. Для економії енергії опорний сигнал не завжди вмикається. Довідка вмикається в таких ситуаціях:

1. Коли BOD увімкнено (шляхом програмування запобіжників BODLEVEL [2:0]).

2. Коли еталонне значення забороненої зони підключено до аналогового компаратора (шляхом встановлення біта ACBG у ACSR).

3. Коли АЦП увімкнено.

Таким чином, коли BOD не ввімкнено, після встановлення біта ACBG або ввімкнення АЦП користувач повинен завжди дозволяти посилання для запуску перед використанням виходу з аналогового компаратора або АЦП. Щоб зменшити потужністьспоживання в режимі вимкнення, користувач може уникнути трьох умов, наведених вище, щоб переконатися, що посилання вимикається перед переходом у режим вимкнення.

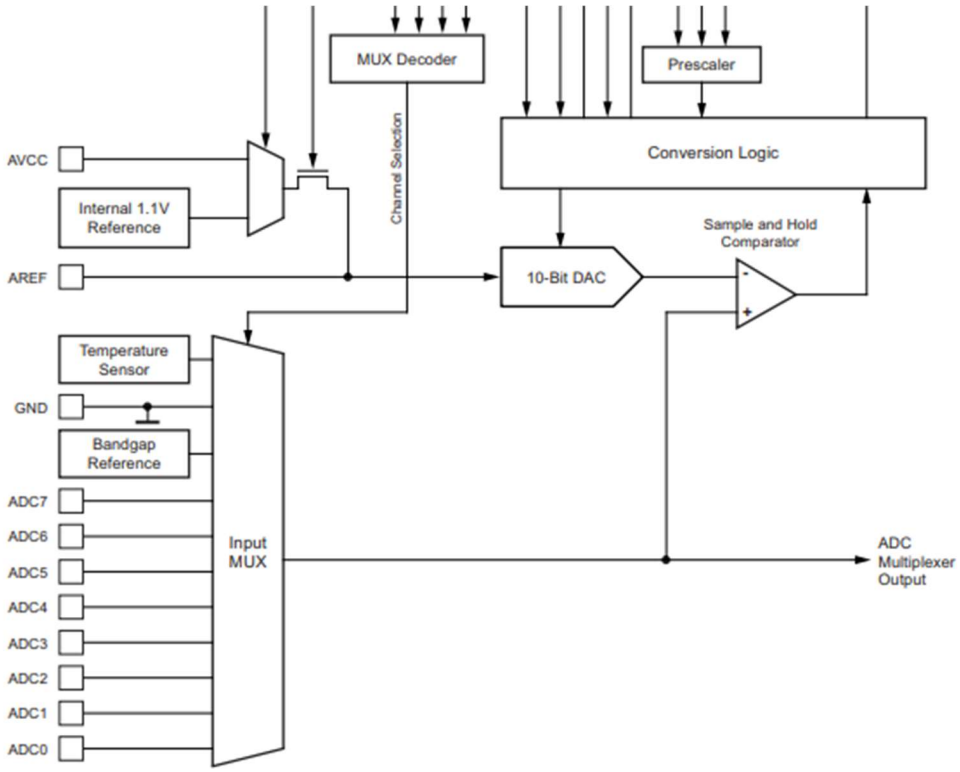


Рис.3.2.2.5. Мікроконтролер ATmega328 вбудований 10bit АЦП.

Проаналізувавши характеристики мікроконтролера було виявлено, що 10 bit реальний АЦП 8 каналів є достатнім для системи оперативного моніторингу, тобто вибір падає на Atmega328.

3.2.3. Вибір сенсорів.

Індикатор радіоактивності на лічильнику Гейгера J305



Рис.3.2.3.1. Лічильник гейгера з трубкою J305.

Характеристики лічильника гейгера на J305:

- Вхідна напруга (постійна) 5В
- Струм споживання до 20мА
- Кількість імпульсів на природньому фоні 10..20 імп/хв
- Розмір модуля 117х63мм

Принцип дії лічильника Гейгера простий. Тонкостінна трубка з газом низького тиску всередині (трубка Гейгера-Мюллера) піддається дії струму високої напруги. Створене електричне поле недостатнє для пробою діелектрика, тому струм через трубку не тече, поки через неї не пройде фотон іонізуючого випромінювання.

Коли бета- або гамма-випромінювання проходить через трубку, воно може іонізувати деякі молекули газу всередині, у результаті чого утворюються вільні електрони та позитивні іони. Частинки починають рухатися під дією електричного поля, а електрони набирають швидкість, достатню для іонізації

інших молекул, що призводить до каскаду заряджених частинок, які проводять струм протягом короткого часу. Цей короткий імпульс струму можна записати за допомогою описаної вище схеми, яка створює звук клацання, або, як у цьому випадку, надсилає інформацію зовнішньому мікроконтролеру INT, який може виконувати обчислення з цими даними.

	SBM20	J305	LND712
Джерело калібровки виробником	Cs-137	Co-60	Co-60
Чутливість	60 – 70 імп / мкР при 4 мкР/с Cs-137або це240-280 імп/с при 4 мкР/с Cs-137	44 імп/с при 1 мР/год Co-60	18 імп/с при 1 мР/год
Час нечутливості (Dead Time)	190 мкс	?	90 мкс
Рівень фонового випромінювання	60 імп/хв	25 імп/хв	?
Власний шум трубки	1 імп/сабо60 імп/хв	0,2 імп/сабо12 імп/хв	10 імп/хв
Рекомендована робоча напруга живлення	400 В	glass tube 380 Bmetal tube 400 В	500 В

Рис.3.2.3.2. Характеристики трубок SBM20, J305, LND712.

В залежності від використованої трубки можливо збільшувати чутливість лічильника (рис.3.2.3.2).

3.2.4. Схема електрична

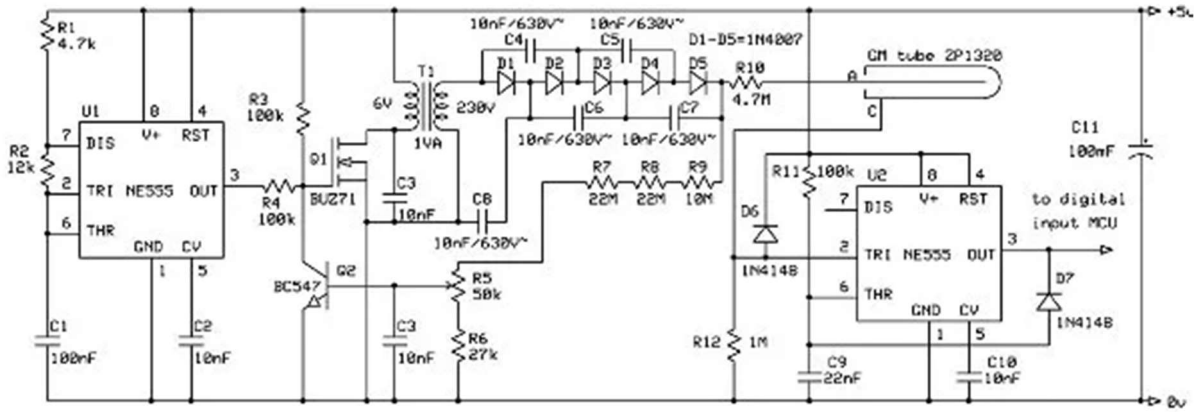


Рис.3.2.4.1. Схема електрична індикатора радіоактивності на лічильнику Гейгера.

Схема складається з трьох частин: Далеко ліворуч таймер 555 налаштований у нестабільному режимі, змушуючи його генерувати меандр на певній частоті. Ця квадратна хвиля потім подається в зарядний насос, створюючи потенціал 300-1000 В, який використовується для живлення трубки лічильника Гейгера. Коли частинка або фотон випромінювання рухається через трубку, це дозволяє інертному газу в трубці проводити електрику, дозволяючи деякому заряду перетікати від високовольтного проводу трубки до іншого боку. Це призводить до того, що провідник датчика піднімається на короткий проміжок часу, що потім змушує другий таймер 555 видавати короткий імпульс.

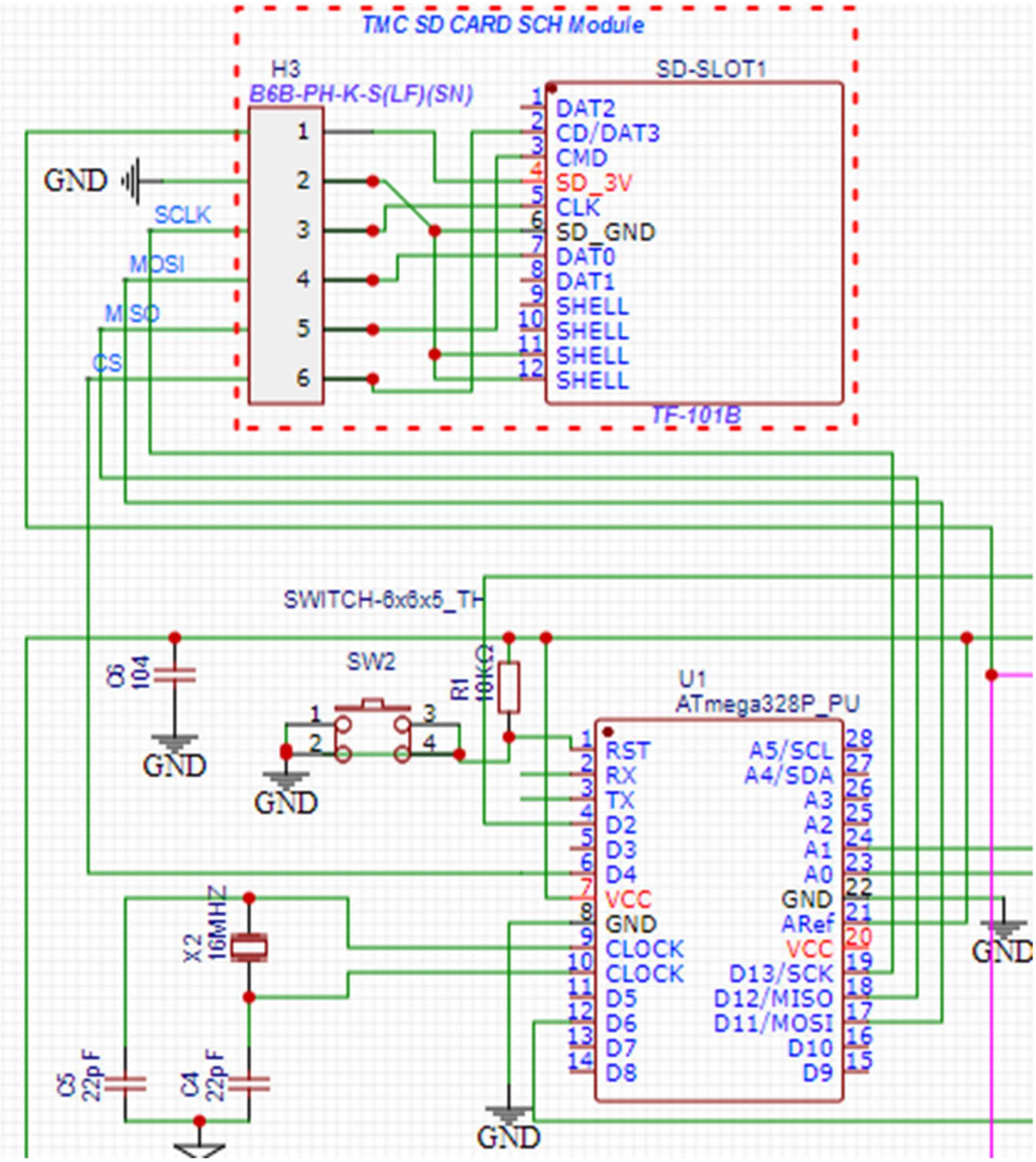


Рис.3.2.4.2. Фрагмент схеми електричної принципової автоматизованого модуля оперативного моніторингу (microSD storage + ATmega328), EasyEDA.

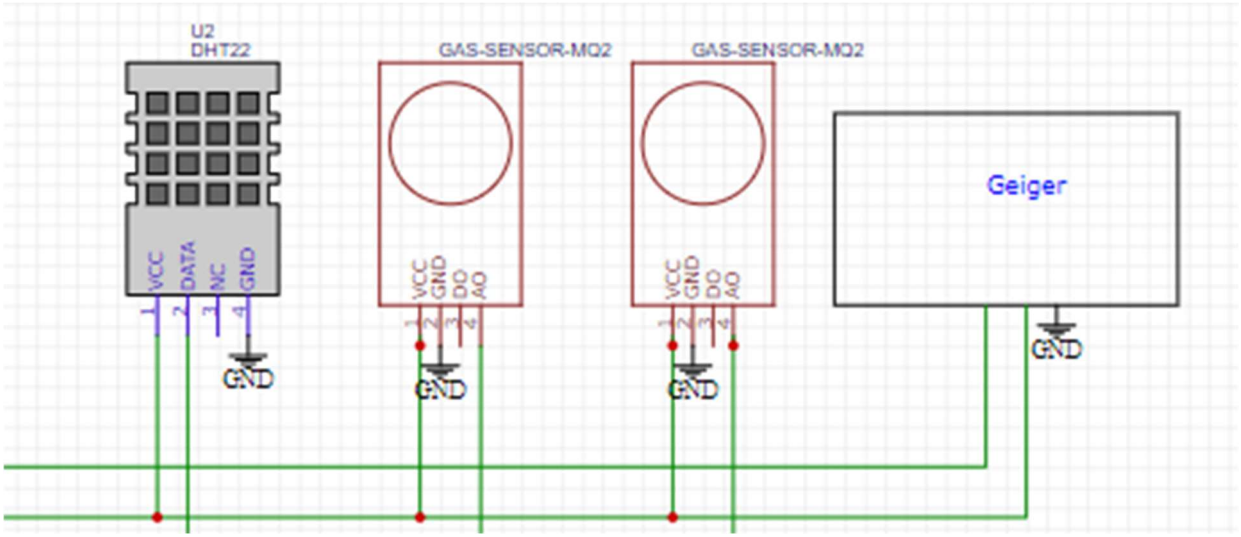


Рис.3.2.4.3. Фрагмент схеми електричної принципової автоматизованого модуля оперативного моніторингу (Air sensors+ Radiometr), EasyEDA.

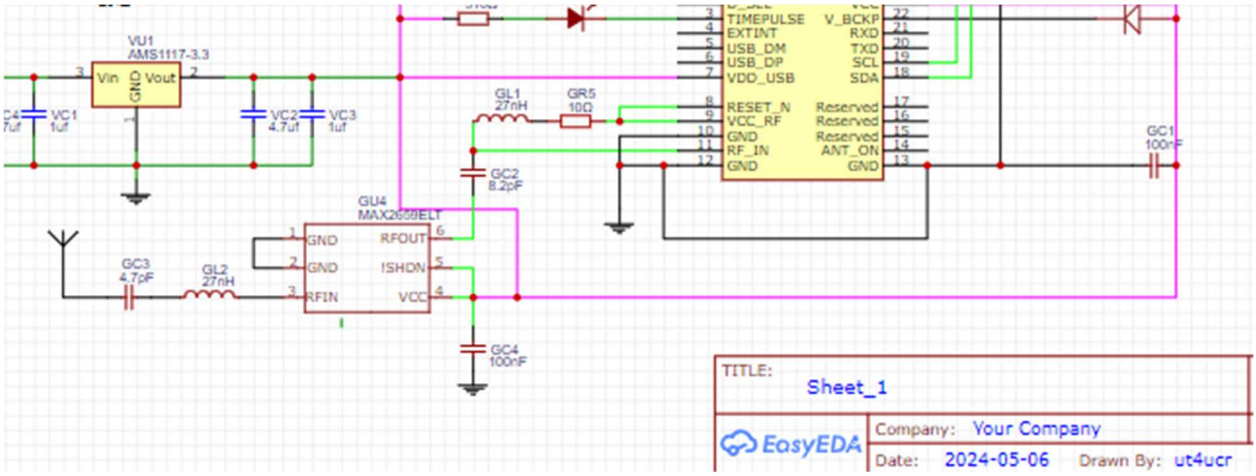


Рис.3.2.4.4. Фрагмент схеми електричної принципової автоматизованого модуля оперативного моніторингу (Navigation), EasyEDA.

Повна схема електрична принципова автоматизованого модуля оперативного моніторингу наведена в додатку 9.

3.2.5. Алгоритм роботи

(Фрагмент коду):

```
//BME:
float TEMP = 0;       // Temp.
float PRESSURE = 0;   // Pres.
float APROX = 0;      //Fl.
float HUM = 0;        // Hum.
//GPS
float LAT = 0;        //Lat.
float LONG = 0;       //Long.
char *CLAT = 0;       //Clat.
char *CLONG = 0;      //Clong.
static char LA[15];
static char LO[15];
int8_t M = 0;         // Month
int8_t D = 0;         //Day
int16_t Y = 0;        //Year
int8_t H = 0;         //hour
int8_t m = 0;         // min
int adc6 = 0;
int adc7 = 0;
int counts = 0;         // Radiation
Main loop
void loop() {
  GPS ();
  if (millis() - old_millis > 5000) {
    old_millis = millis();
    GetADC();
    GetDHT();
    get_HC12();
    SDcard ();
    get_Serial();
    counts = 0;
  }
}
```

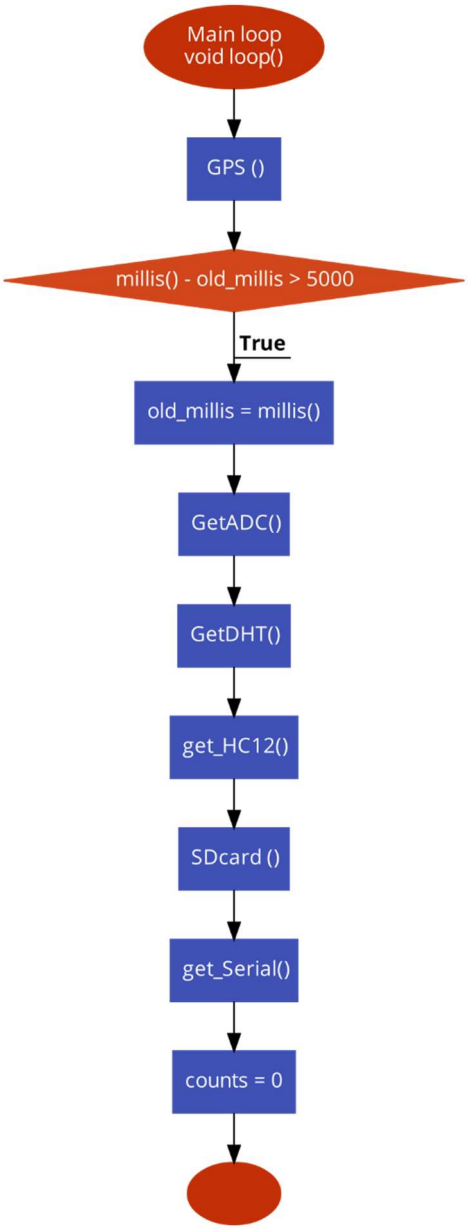


Рис.3.2.5.1. Фрагмент алгоритму роботи (charFLOW).

Додаткові алгоритми роботи програмного забезпечення модуля оперативного моніторингу представлені в додатку 5.

3.3. Автоматизований модуль метеорологічного або фонового моніторингу.

3.3.1. Схема структурна.

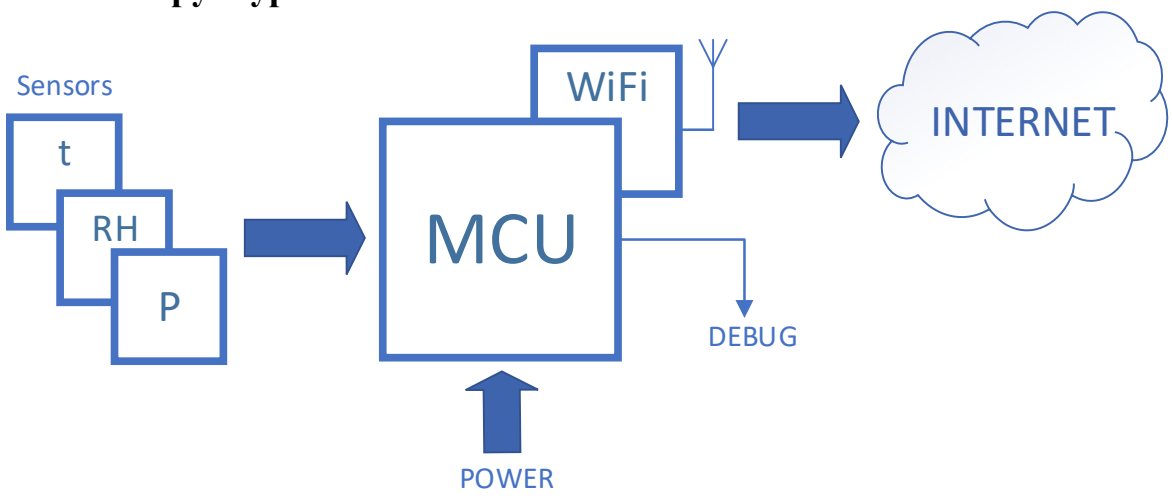


Рис.3.3.1.1. Загальна структурна схема автоматизованого модуля фонового моніторингу.

В загальному вигляді комплекс складається з сенсорів що збирають мікро метеорологічні дані, блоку оброблення, зовнішнього блоку живлення, радіо модуля WiFi. Вимірювані дані передаються через WiFi для подальшої обробки і фонового моніторингу.

3.3.2. Вибір мікроконтролеру.

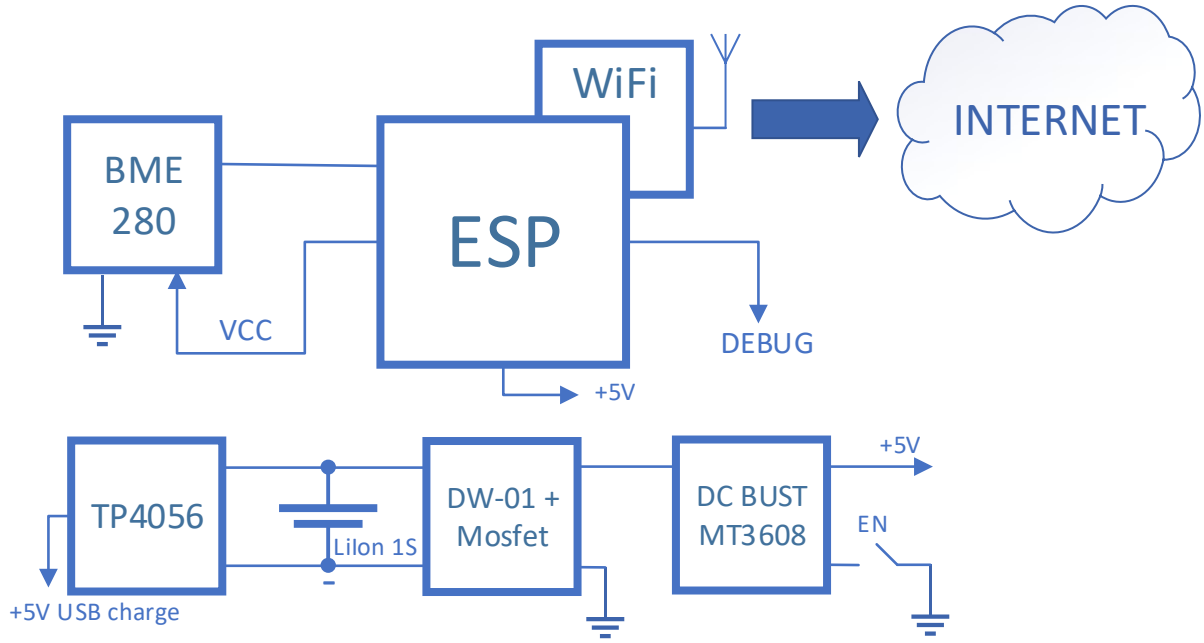


Рис.3.3.2.1. Структурна схема автоматизованого модуля фонового моніторингу з системою живлення та сенсорами.

Для модуля фонового або метеорологічного моніторингу доречно вибрати мікроконтролер з достатнім набором інтерфейсів в складі яких будуть безпроводові.

Порівняємо RTL8710 та ESP8266.

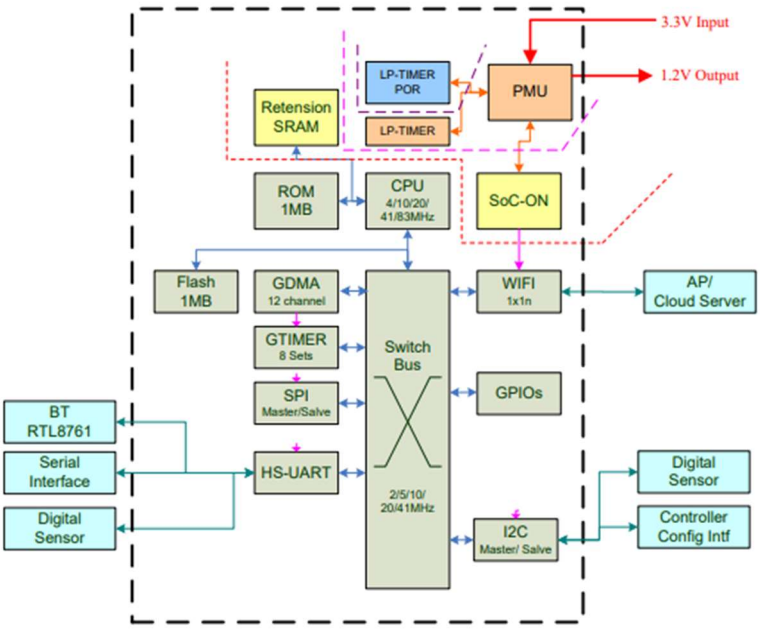


Рис. 3.3.2.2. Блок-схема RTL8710.

- Тактова частота процесора: 166 МГц;
- Об'єм flash-памяті: 1 МБ;
- Об'єм оперативної пам'яті: 48 КБ;
- GPIO: 21 лінія;
- Інтерфейси: 3 x I2C, 2 x SPI, 2 x PCM, 2 x АЦП, ЦАП і 4 виводи ШИМ;
- Wi-Fi: 802.11g, швидкість завантаження до 54 Мб/с; 802.11n, швидкість завантаження до 150 Мб/с;
- Діапазон робочих температур: -40 – 125 °C.

Рис. 3.3.2.3. Основні характеристики RTL8710.

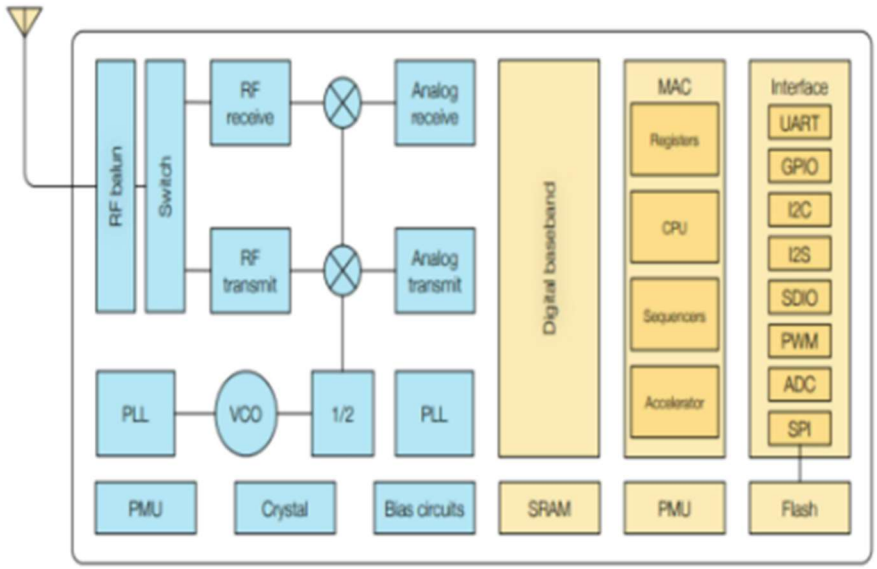


Рис. 3.3.2.4. Блок-схема ESP8266.

- Wi-fi стандарту 802.11 b / g / n
- підтримка STA / AP / STA + AP режимів
- вбудований стек протоколів TCP / IP з підтримкою множинних клієнтських підключень (до 5)
- D0 ~ D8, SD1 ~ SD3: можуть бути використані як GPIO, PWM, IIC та ін.
- струм на виведення: 15 мА
- AD0: 1 виводу АЦП Power input: 4.5 V ~ 9V (10VMAX)
- харчування: 4.5 - 9В (10В максимум), живлення від USB з наданням налагоджувального інтерфейсу
- споживання: обмін даними: ~70 мА (200 мА максимум), очікування: <200 мкА
- швидкість передачі: 110-460800 б/сек
- підтримка UART / GPIO інтерфейсів передачі даних
- перепрошивка з хмари або через USB
- діапазон робочих температур: -40 ~ +125 °C
- типи харчування: подвійний потужний драйвер H-міст
- маса: 18 г

Рис. 3.3.2.5. Основні характеристики ESP8266.

	Realtek RTL8710	Espresif ESP8266
Package	QFN-48 (6×6 mm)	QFN-32 (5×5 mm)
CPU	ARM Cortex M3 @ 166 MHz	Tensilica LX106 @ 80 / 160 MHz
RAM	48KB available to user	36KB available to user
Flash	1MB Built-in	1, 2, 4, 8 or 16 MB
WiFi	802.11n up to 150 Mbps, 802.11g up to 54 Mbps	802.11n up to 65 Mbps, 802.11g up to 54 Mbps
GPIO	Up to 21	Up to 17
I2C	Up to 3	Up to 1
PCM	Up to 2	None
PWM	Up to 4	
UART	2x high-speed UART, 1x low-speed UART	Up to 2x UART
Power	Voltage: 3.0 to 3.6V; Current: 80 mA	
Temperature range	-40 to 125 °C	
Standard certifications	FCC/CE/TELEC/SRRC/ WiFi Alliance	FCC/CE/TELEC/SRRC

Рис. 3.3.2.6. Порівняння основних характеристик RTL8710 та ESP8266.

Загалом, обидва мікроконтролери мають схожі характеристики і призначені для схожих застосувань. Але ESP8266 в залежності від версії може мати до 16Mb вбудованої пам’яті, а RTL8710 має тільки 1Mb. RTL8710 має меншу спільноту користувачів та меншу кількість доступної документації порівняно з ESP8266, що також дає менший вибір по програмним реалізаціям для інтегратора. Таким чином вибір падає на біль розповсюджений модуль ESP8266. Зовнішній блок живлення складається з наступних модулів:

- Модуль аккумуляторний Li-ion;
- Модуль зарядний TP-4056;
- Модуль захисту Li-ion аккумулятора DW-01;
- Модуль підвищуючий DC-DC MT-3608.

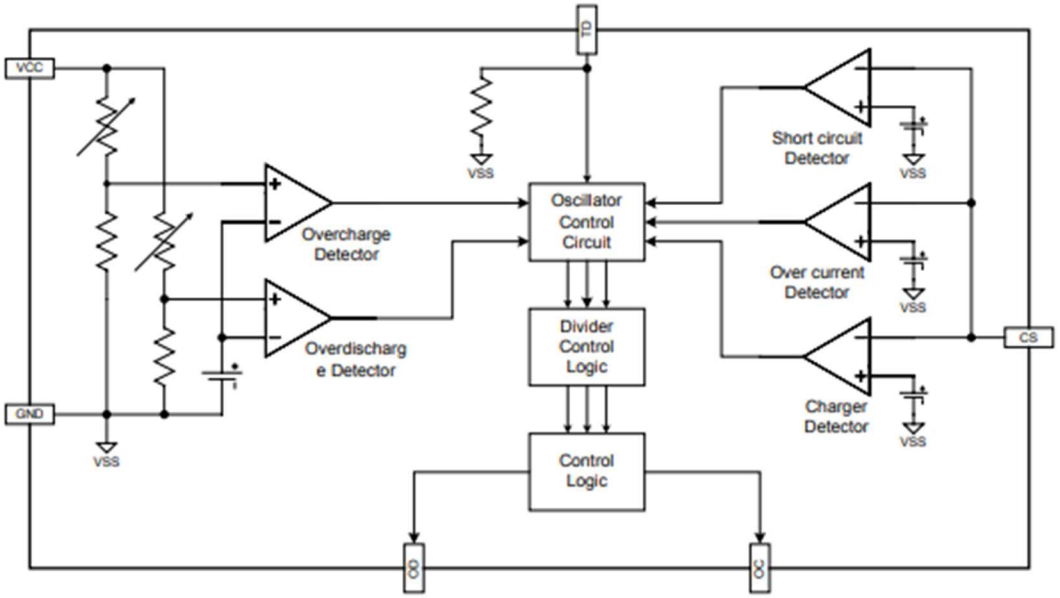


Рис. 3.3.2.7. Функціональна блок-схема DW-01.

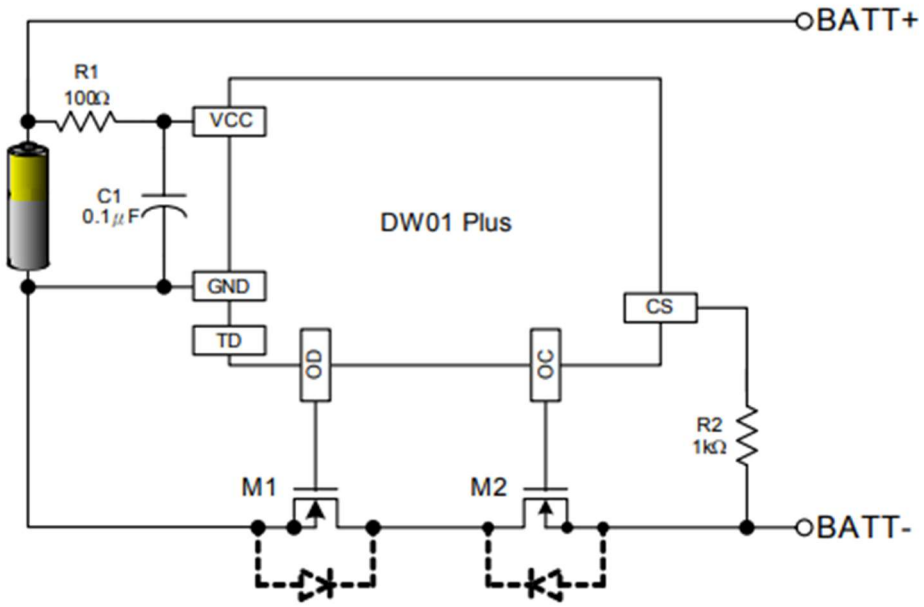


Рис. 3.3.2.8. Типова схема включення DW-01.

- **Reduction in Board Size due to Miniature Package SOT-23-6.**
- **Ultra-Low Quiescent Current at 3 μA (Vcc=3.9V).**
- **Ultra-Low Power-Down Current at 0.1 μA (Vcc=2.0V).**
- **Precision Overcharge Protection Voltage 4.3V ± 50mV for the DW01 Plus**
- **Load Detection Function during Overcharge Mode.**
- **Two Detection Levels for Overcurrent Protection.**
- **Delay times are generated by internal circuits. No external capacitors required.**

Рис. 3.3.2.9. Основні параметри DW-01.

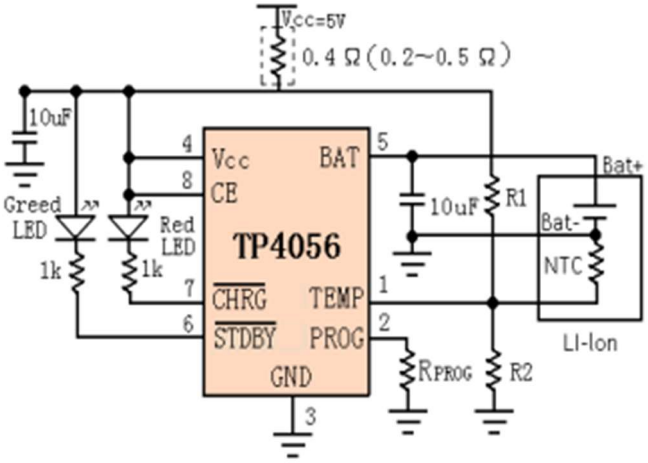


Рис. 3.3.2.10. Типова схема включення TP-4056.

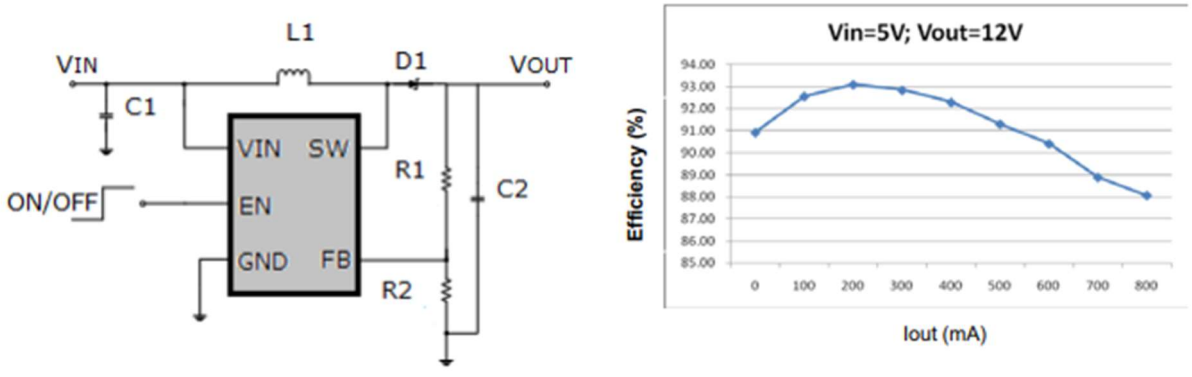


Рис. 3.3.2.11. Типова схема включення MT3608 та графік кпд.

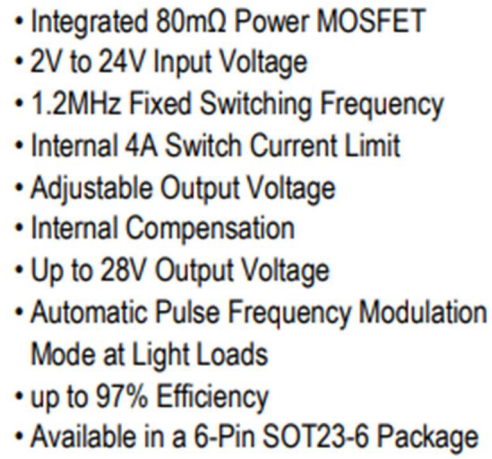


Рис. 3.3.2.12. Основні параметри MT3608.

TP4056 контролер зарядки літій-іонних акумуляторів, забезпечує безпечну та ефективну зарядку акумулятора, контролюючи струм та напругу заряду. Захисний модуль DW01 – забезпечує захист Li-ion акумуляторів від перевантаження, перезарядки, надмірного розряду та короткого замикання. Модуль MT3608 – це DC-DC перетворювач, який в даному випадку дозволяє підвищувати напругу від Li-ion акумулятора 3,7V до стабільних 5V для живлення інших модулів системи. Така комбінація модулів забезпечує безпеку, ефективність та надійність в живленні пристроїв з Li-ion акумуляторами. Можливе використання інших контролерів для реалізації модуля живлення, наприклад TP5000, TP5100, але ці модулі є більш дорогими та можуть заряджати послідовні зборки Li-ion акумуляторів, що не є потрібним в даному випадку. Тому використання перевірених модулів TP4056, DW01, MT3608 є достатнім, надійним та ефективним.

3.3.3. Вибір сенсорів

Порівняємо модулі BME680 та BME280. Сенсорний модуль BME680 (Bosch) - це модуль вимірювання якості повітря, заснований на сучасному цифровому датчику Bosch bme680. Принцип роботи полягає в зчитуванні даних з датчика bme680 і отриманні їх на основі вбудованого алгоритму обробки отриманих даних.Значення температури і вологості, атмосферного тиску, якості повітря в приміщенні iaq. Цей модуль може бути підключений до всіх мікроконтролерів та міні-комп'ютерів [45, 46].

Існує 2 режими введення даних: безперервний вихід і вихід по запиту, які можуть адаптуватися до різних умов роботи.

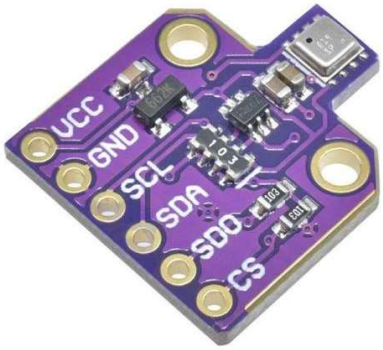


Рис. 3.3.3.1. Модуль BME680.

Був використаний алгоритм визначення якості повітря в приміщенні IAQ, взятий з офіційного веб-сайту [45, 46]. Розрахунок займає певний час, і після кожного включення живлення вам потрібно почекати, поки датчик прогріється, тому протягом 15 хвилин дані будуть в нормі. Використання нагрівача призводить до того, що датчик лову виявився самим "ненажерливим" серед вбудованих датчиків. Пікове споживання струму нагрівачем досягає 18 мА. Режим споживання знижений, що дозволяє значно знизити споживання. Середнє значення для режиму " наднизьке енергоспоживання "становить 90 мкА для режиму" низьке енергоспоживання " і 12 мА для періодичного опитування. Режими відрізняються в основному частотою опитування і, отже, часом відгуку.

IAQ	Качество воздуха
0-50	Хорошее
51-100	Среднее
101-150	Ниже среднего
151-200	Неудовлетворительное
201-300	Плохое
301-500	Очень плохое

Рис. 3.3.3.2. AQI BME680.

Характеристики BME680 [45]:

- Температура: від -40°C до + 85°C
- Вологість: від 0% до 100%
- IAQ: від 0 до 500
- Тиск: від 300 до 1100 hPa
- Частота вимір.: 3 сек
- Вх. напруга: 5 В
- Спож. струм: 12 мА
- Роб. темп: від -40°C до + 85°C
- Темп. зберіг.: від -40°C до + 125°C
- Розміри: 12 х 30 мм

Модуль датчика BME280 (температура, вологість, тиск) - це нове покоління датчиків тиску, яке дозволяє вимірювати не тільки значення атмосферного тиску, але також температуру і вологість. Датчик характеризується високою точністю вимірювань, високою продуктивністю інтерфейсу і низьким споживанням енергії [46]. Підключення робиться по шині I2C. Однією з переваг цього датчика є наявність вбудованих фільтрів, які допомагають у зменшенні шуму та уточненні результатів вимірювань. Деякі фільтри можуть бути налаштовані для адаптації до конкретних умов вимірювань, таких як швидкість зміни параметрів середовища або чутливість датчика.



Рис. 3.3.3.3. Модуль BME280.

Основні характеристики BME280 [46]:

- Шина підключення: I2C
- Частота шини: I2C до 3.4МГц
- Температура: від -40 до 85 градусів
- Точність вимір. темп.: від 0.5 до 1 градуса
- Вологість: від 0 до 100%
- Точність вимір. волог.: 3%
- Тиск: від 300 до 1100 гПа
- Точність вимір. тиску: 1гПа
- Напр. живл: від 1.8 до 5 В
- Струм при вимір. тиску: 714 мкА
- Струм при вимір. вологості: 340 мкА
- Струм при вимір. темп.: 350 мкА
- Струм в реж. сну: від 0.1 мкА до 0.5 мкА
- Розміри : 15 х 12 х 3 мм

Вибір падає на BME280 за переваги в фільтрації показань, енергоспоживанні, бортові сенсори по аналізу повітря AQI не потрібні в даній реалізації модуля фонового моніторингу.

3.3.4. Схема електрична

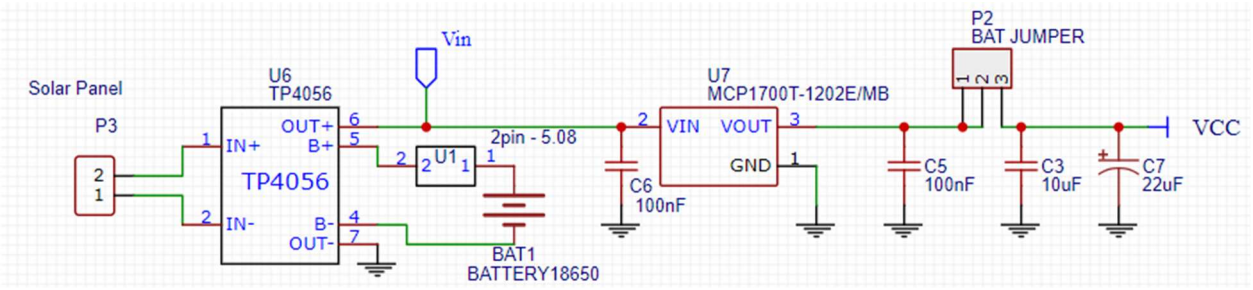


Рис. 3.3.4.1. Фрагмент схеми автоматизованого модуля фонового моніторингу (TP4056 + MCP1700T).

На рисунку 3.3.4.1 зображений фрагмент схеми живлення модуля фонового моніторингу, в схемі застосовані TP4056 та MCP1700T. Таке поєднання дозволяє контролювати процес зарядки літієвого акумулятора і стабілізувати напругу живлення пристрою.

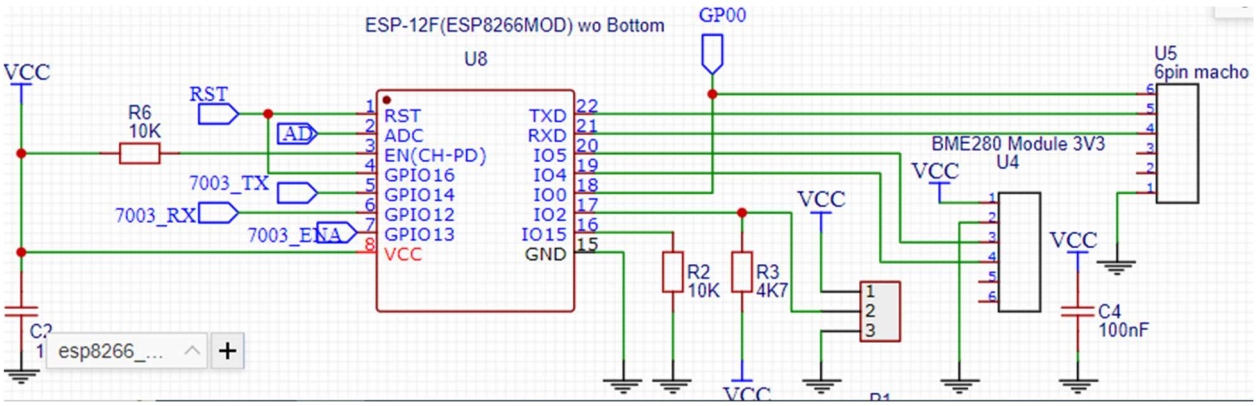


Рис. 3.3.4.2. Фрагмент схеми автоматизованого модуля фонового моніторингу (ESP8266 + BME280).

На рисунку 3.3.4.2 зображений фрагмент схеми модуля фонового моніторингу, що включає мікроконтролер ESP8266, до якого під’єднаний датчик BME280, також присутні роз’єми для під’єднання іншим пристроїв до мікроконтролера . На рисунку 3.3.4.3 зображена спроектована друкована плата схеми модуля фонового моніторингу, наявне місце для акумулятора Li-ion 18650, плата має достатньо компактні розміри і вдалу компоновку.

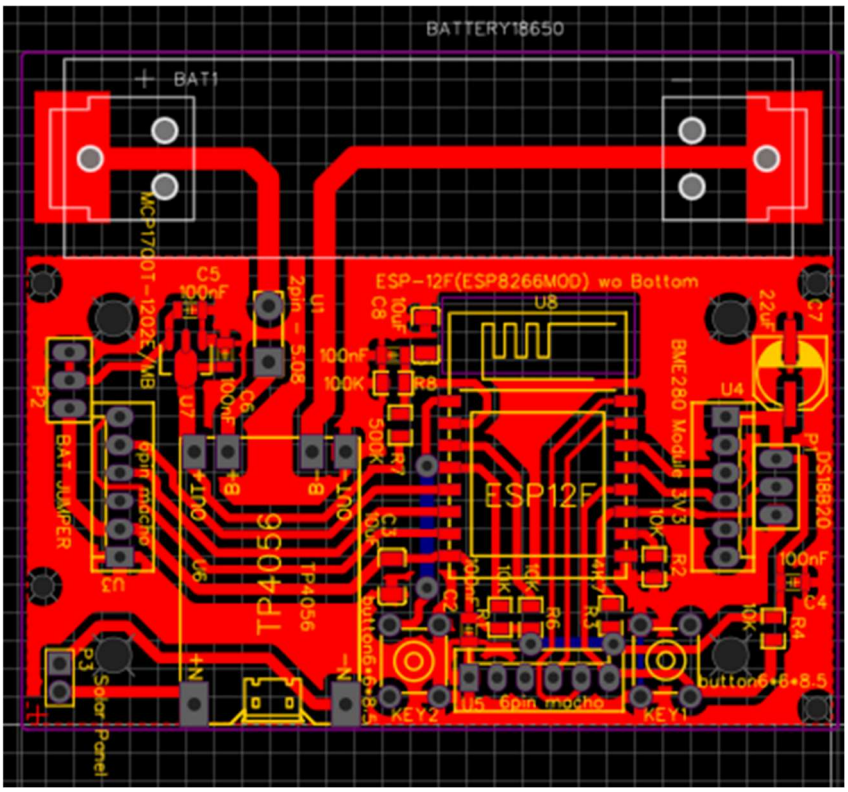


Рис. 3.3.4.3. Друкована плата схеми автоматизованого модуля фонового моніторингу.

3.3.5. Алгоритм роботи

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266WiFiMulti.h>
#include <ESP8266mDNS.h>
#include <Ticker.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>

#define SCL 4
#define SDA 5

const char* ssid = "Grisha";
const char* password = "895361
Ticker sender;
bool sendtonm;
ADC_MODE (ADC_VCC);
Adafruit_BME280 bme;
WiFiClient client;

long rssi;
float vcc, T, H, P, Phg, Pbar;

WiFiServer server(80);
ESP8266WiFiMulti WiFiMulti;
```

Рис. 3.3.5.1. Фрагмент коду автоматизованого модуля фонового моніторингу.

На рисунку зображено фрагмент коду прошивки мікроконтролера ESP8266, де зберігається ідентифікатор WiFi точки доступу, та функція зчитування даних з датчика BME280, на рисунку 3.3.5.2 зображено алгоритм виконання операцій по даному коду.

Додаткові алгоритми роботи програмного забезпечення модуля фонового моніторингу представлені в додатку 6.

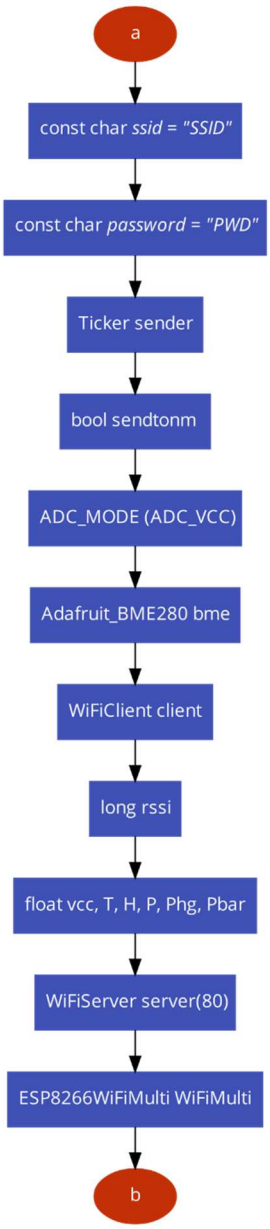


Рис. 3.3.5.2. Фрагмент алгоритму роботи автоматизованого модуля фонового моніторингу.

3.4. Безпроводові модулі наземних та супутникових каналів передачі даних на основі технології LoRa

Meshtastic — це проект, який дозволяє використовувати недорогі радіостанції LoRa як автономну комунікаційну платформу великого радіусу дії в районах без існуючої або надійної комунікаційної інфраструктури. Цей проект на 100% керується спільнотою та має відкритий код. Блок схема структури системи Meshtastic має вигляд зображений на рисунку 3.4.1.

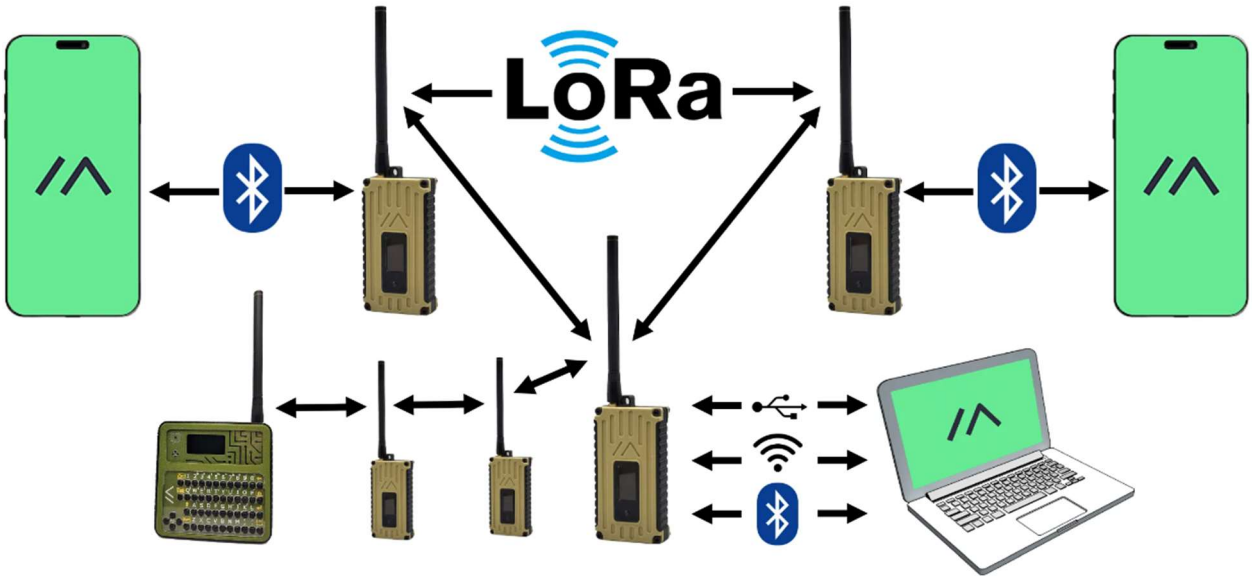


Рис.3.4.1. Блок схема структури системи Lora Meshtastic.

Розглянемо декілька готових оригінальних плат від виробників на базі ESP32 та LoRa модулів.

LILYGO® T-Beam - плати мають на борту GPS, тримачем Li-ion батареї 18650 і додатковим екраном (Рис. 3.4.2).

Name	MCU	Radio	WiFi	BT	GPS
T-Beam v0.7	ESP32	SX1276	2.4GHz b/g/n	4.2	YES
T-Beam v1.1	ESP32	SX1276	2.4GHz b/g/n	4.2	YES
T-Beam with M8N	ESP32	SX1276/62	2.4GHz b/g/n	4.2	YES
T-Beam S3-Core	ESP32-S3	SX1262	2.4GHz b/g/n	5.0	YES
T-BeamSUPREM	ESP32-S3	SX1262	2.4GHz b/g/n	5.0	YES

Рис.3.4.2. Варіанти плат LILYGO® T-Beam.

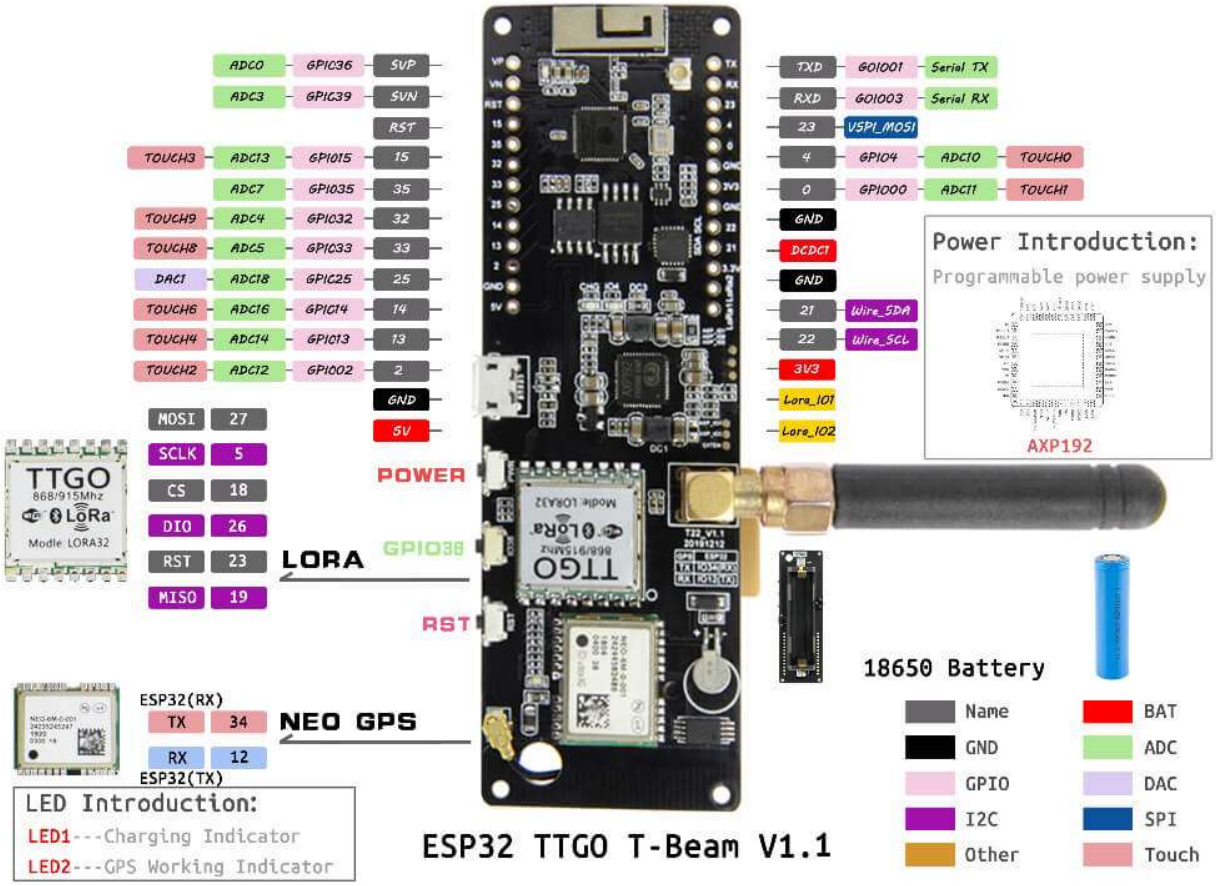


Рис.3.4.3. Плата LILYGO® T-Beam V1.1 із схемою портів та модулями.

LILYGO® T-Echo – варіант плати без WiFi і мікроконтролером nRF52840:

Name	MCU	Radio	WiFi	BT	GPS
T-Echo	nRF52840	SX1262	NO	5.0	YES

LILYGO® LoRa – варіант плати без GPS:

Name	MCU	Radio	WiFi	BT	GPS
LoRa32 V1	ESP32	SX127x	2.4GHz b/g/n	4.2	NO
LoRa32 V1.3	ESP32	SX127x	2.4GHz b/g/n	4.2	NO
LoRa32 V2.0	ESP32	SX127x	2.4GHz b/g/n	4.2	NO
LoRa32 V2.1-1.6	ESP32	SX127x	2.4GHz b/g/n	4.2	NO
LoRa32 V2.1-1.8	ESP32	SX1280	2.4GHz b/g/n	4.2	NO
LoRa32 T3-S3	ESP32-S3	1262/76/80	2.4GHz b/g/n	5.0	NO

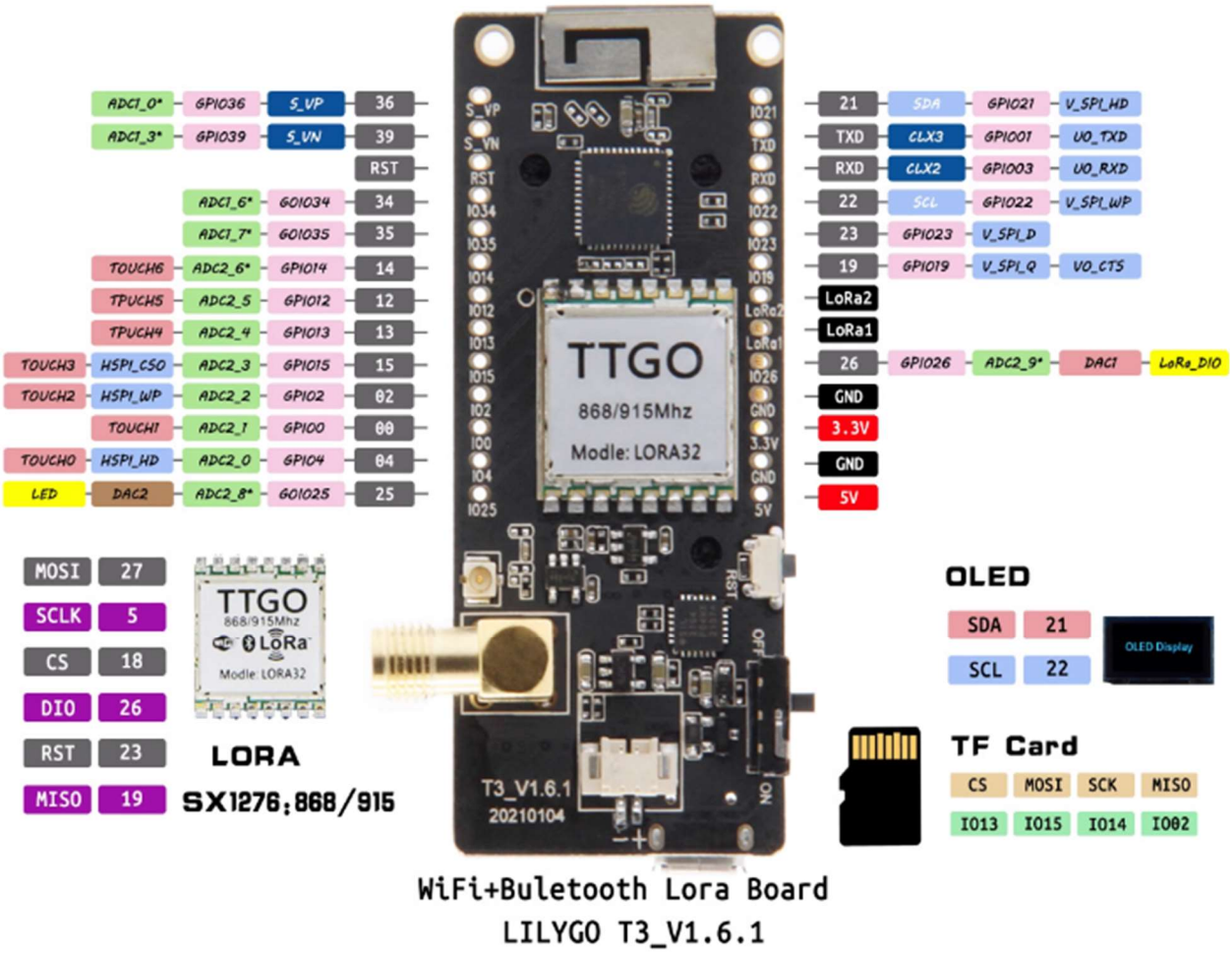


Рис.3.4.4. Плата LILYGO® T3_V1.6.1 із схемою портів та модулями.

HELTEC® LoRa 32 – варіант плат від іншого виробника, це едорогі базові плати на основі мікроконтролера ESP32.

Name	MCU	Radio	WiFi	BT	GPS
LoRa32 V2.1	ESP32	SX127x	2.4GHz b/g/n	4.2	NO
LoRa32 V3/3.1	ESP32-S3FN8	SX1262	2.4GHz b/g/n	5.0	NO
Wireless Stick Lite	ESP32-S3FN8	SX1262	2.4GHz b/g/n	5.0	NO
Wireless Tracker	ESP32-S3FN8	SX1262	2.4GHz b/g/n	5.0	YES
Wireless Paper	ESP32-S3FN8	SX1262	2.4GHz b/g/n	5.0	NO

Рис.3.4.5. Варіанти плат HELTEC® LoRa.

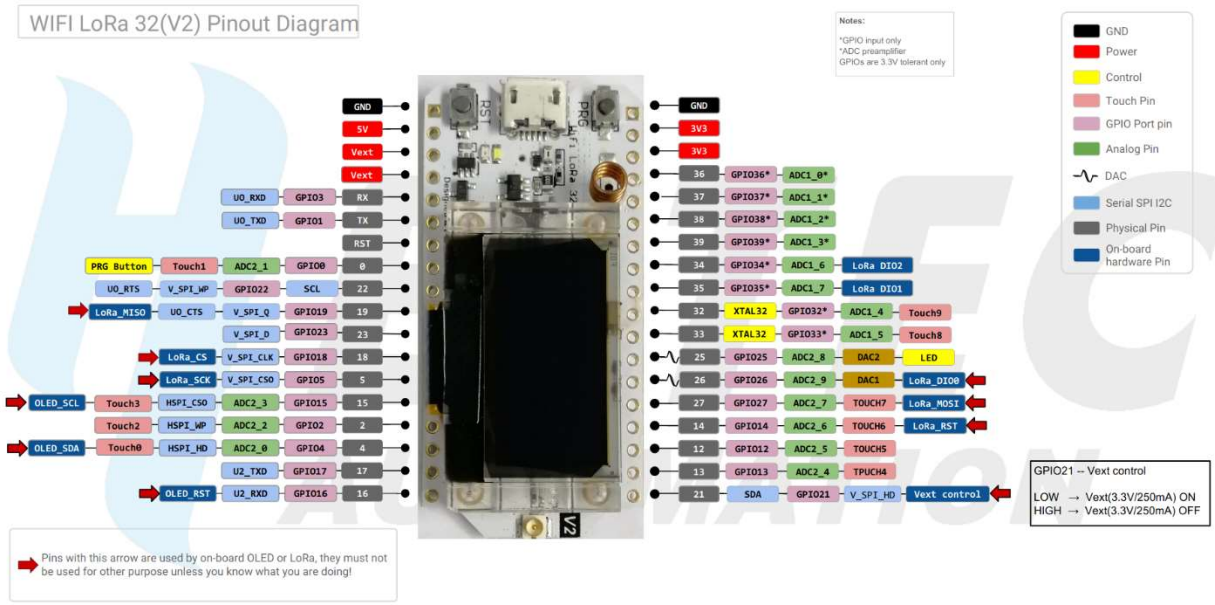


Рис.3.4.6. Плата WIFI LoRa32 V2 із схуемою портів та модулями.

Nano Series - портативні та міцні пристрої, розроблені для Meshtastic:

Name	MCU	Radio	WiFi	BT	GPS
Nano G2 Ultra	NRF52840	SX1262	2.4GHz b/g/n	5.0	YES
Nano G1 Explorer	ESP32 WROOM	SX1262	2.4GHz b/g/n	4.2	YES
Nano G1	ESP32 WROOM	SX1276	2.4GHz b/g/n	4.2	YES

Station G1 - трансивер високої потужності LoRa, розроблений для роботи з радіоаматорами з ліцензією Meshtastic:

Name	MCU	Radio	WiFi	BT	GPS
Station G1	ESP32 WROOM	SX1262	2.4GHz b/g/n	4.2	YES

Розберемося з апаратною частиною модулів спеціально зроблених для проекту Meshtastic. На рисунках 3.4.7 – 3.4.9 представлені схеми принципові електричні модулів. Як бачимо елементна база відрізняється версіями мікроконтролерів ESP32-PICO D4, ESP32-DEVKIT 30, ESP32-DEVKIT 38, що дає для кожного модуля різний набір по набору портів для включення додаткової периферії.

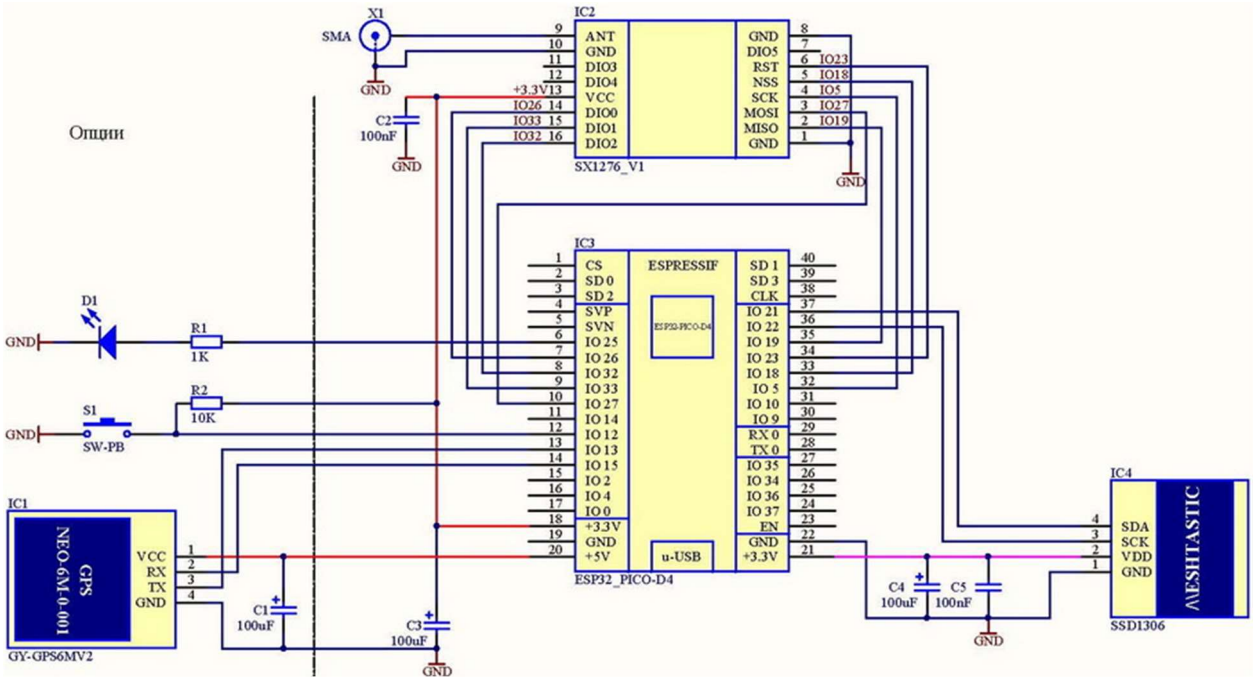


Рис.3.4.7. Схема електрична принципова модуля ESP32_PICO_D4 (EasyEDA).

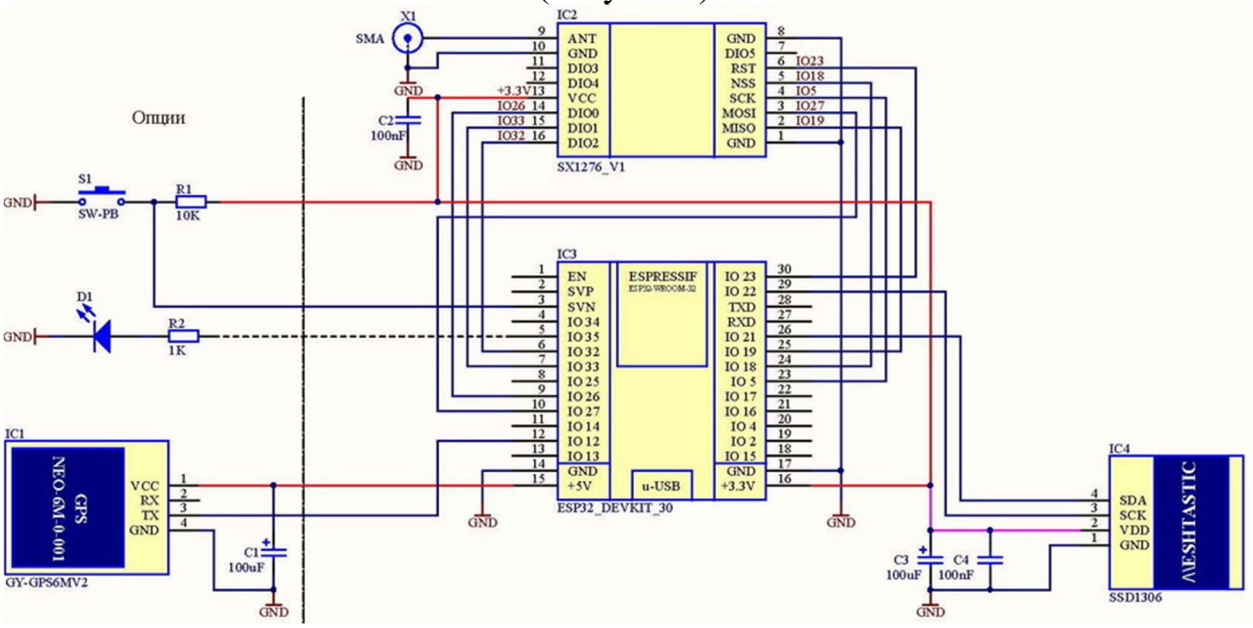


Рис.3.4.8. Схема електрична принципова модуля ESP32_DEVKIT_30 (EasyEDA).

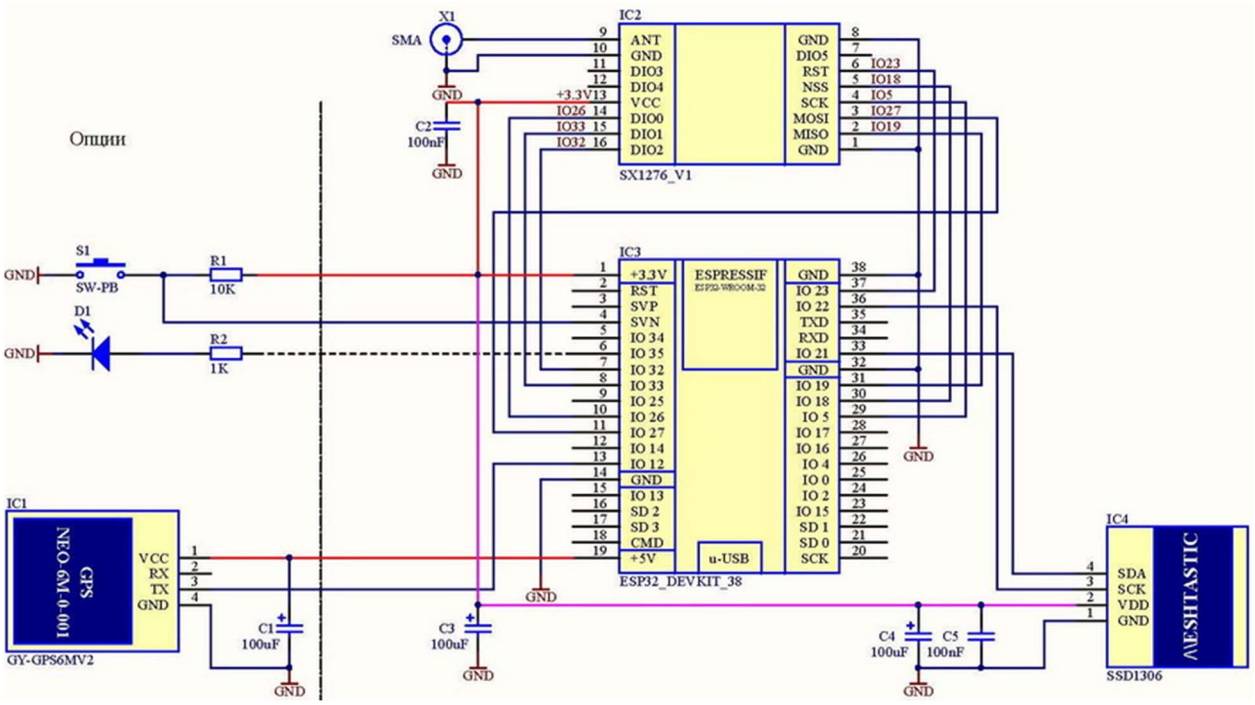


Рис.3.4.9. Схема електрична принципова модуля ESP32_DEVKIT_38 (EasyEDA).

Проект Meshtastic LoRa має чіткі обмеження по використовуваним частотам для кожного регіону в світі, дані зображено на рисунку 3.4.10. Як ми бачимо зі списку для України доступні два діапазони частот – 433Мгц та 868МГц. Опираючись на дозволений частотний діапазон для нашого регіону був зроблений відбір модулів для проекту передачі даних, а саме було використано модулі LILYGO® T3_V1.6.1 (рис.3.4.4) з радіочастотним діапазоном 433МГц та 868МГц. На базі даних модулів було спроектовано та вироблено мобільні наземні станції для побудови MESH мережі Meshtastic в місті Києві на 868МГц. Проведено ряд експериментів по передачі даних в умовах міської забудови міста Києва. В процесі тестування мережі було виявлено недоліки штатних антен, вони не давали очікуваної якості зв'язку навіть на висотах і зв'язок повністю був відсутній в умовах щільної залізобетонної забудови. Використовуючи методи другого розділу даної роботи, а саме підрозділ 2.3 Моделювання антен, було змодельовано та виготовлено декілька варіантів нових антен для мобільного та стаціонарного використання, що дало відчутний ефект на якість зв'язку. Зображення виготовлених станцій зв'язку та антен представлені в додатку 2.

Region	Country	MHz	%	dBm
US	United States	902.0 - 928.0	100	30
EU_433	European Union 433MHz	433.0 - 434.0	10	12
EU_868	European Union 868MHz	869.4 - 869.65	10	27
CN	China	470.0 - 510.0	100	19
JP	Japan	920.8 - 927.8	100	16
ANZ	Australia & New Zealand	915.0 - 928.0	100	30
KR	Korea	920.0 - 923.0	100	
TW	Taiwan	920.0 - 925.0	100	27
RU	Russia	868.7 - 869.2	100	20
IN	India	865.0 - 867.0	100	30
NZ_865	New Zealand 865MHz	864.0 - 868.0	100	36
TH	Thailand	920.0 - 925.0	100	16
UA_433	Ukraine 433MHz	433.0 - 434.7	10	10
UA_868	Ukraine 868MHz	868.0 - 868.6	1	14
MY_433	Malaysia 433MHz	433.0 - 435.0	100	20
MY_919	Malaysia 919MHz	919.0 - 924.0	100	27
SG_923	Singapore 923MHz	917.0 - 925.0	100	20
LORA_24	2.4 GHz band worldwide	2400.0 - 2483.5	100	10

Рис.3.4.10. Список допустиумих діапазонів частот LoRa Meshtastic в світі.

На рисунку 3.4.11 забражено інтерфейс мобільного застосунку Meshtastic для Android. Оператору мобільної станції зв’язку доступні налаштування, які включають зміну ID користувача, регіон, можна змінити пристрій що під’єднаний до блютуз інтерфейсу. В панелі відладки доступна корисна технічна інформація про стан кожного кроку роботи станції.

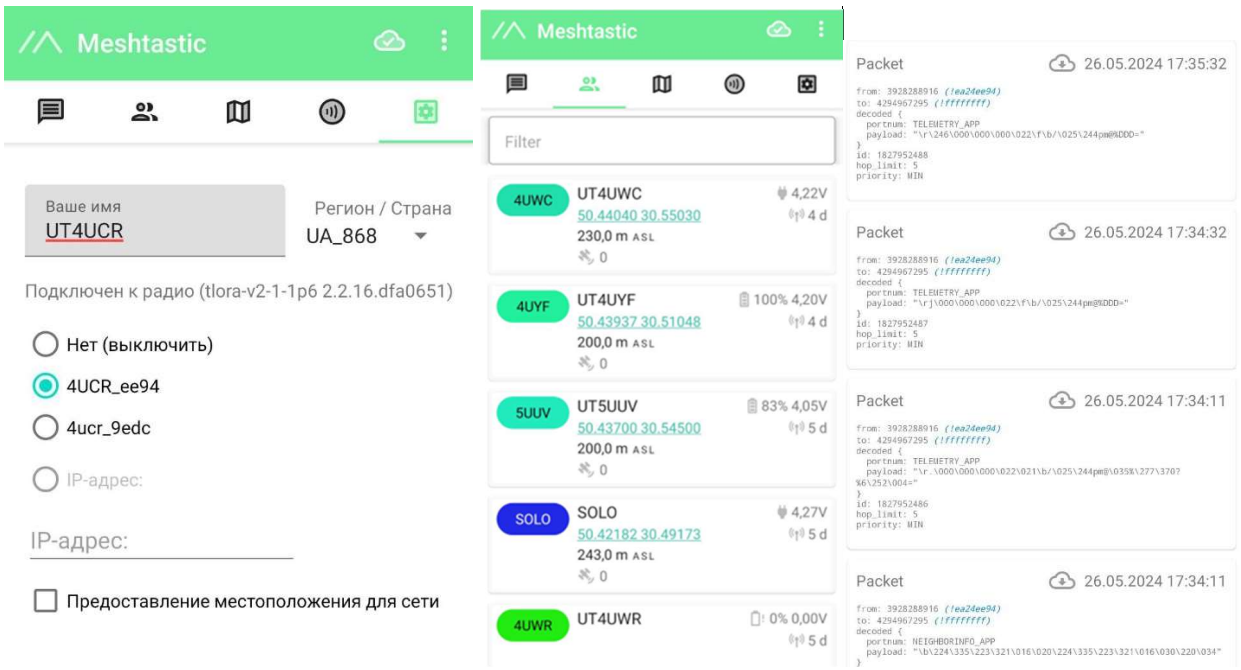


Рис.3.4.11. Інтерфейс застосонку під Android Meshtastic.

На базі модулів LILYGO® T3_V1.6.10 були спроектовані та виготовлені наземні станції супутникового зв’язку для проекту TinyGS. В процесі експерименту було виявлено неможливість прийому сигналів супутників на штатні антени в міській забудові, тому було спроектовано та виготовлено декілька моделей антен з покращеними характеристиками (метод моделювання Розділ 2, підрозділ 2.3). В результаті отримані якісні показники прийому сигналів супутників, навіть з позиції нижче рівня землі. Фото виготовлених наземних станцій та антен викладені в додатку 3.

3.5. Автоматизований модуль фонового моніторингу з акселерометром

3.5.1. Схема структурна

Розглянемо механізми збору та передачі даних, реалізовані на базі однокристальних мікроконтролерів ESP8266. На рисунку 3.5.1 зображений мікроконтролер (MCU) з підключеними до нього різними датчиками для збору інформації, таких як датчики температури, вологості, тиску, прискорення (x, y, z), газоналізатори, датчики кисню та радіометри, а також передавач LoRa. Зібрані дані обробляються MCU та передаються через радіоканал до шлюзу.

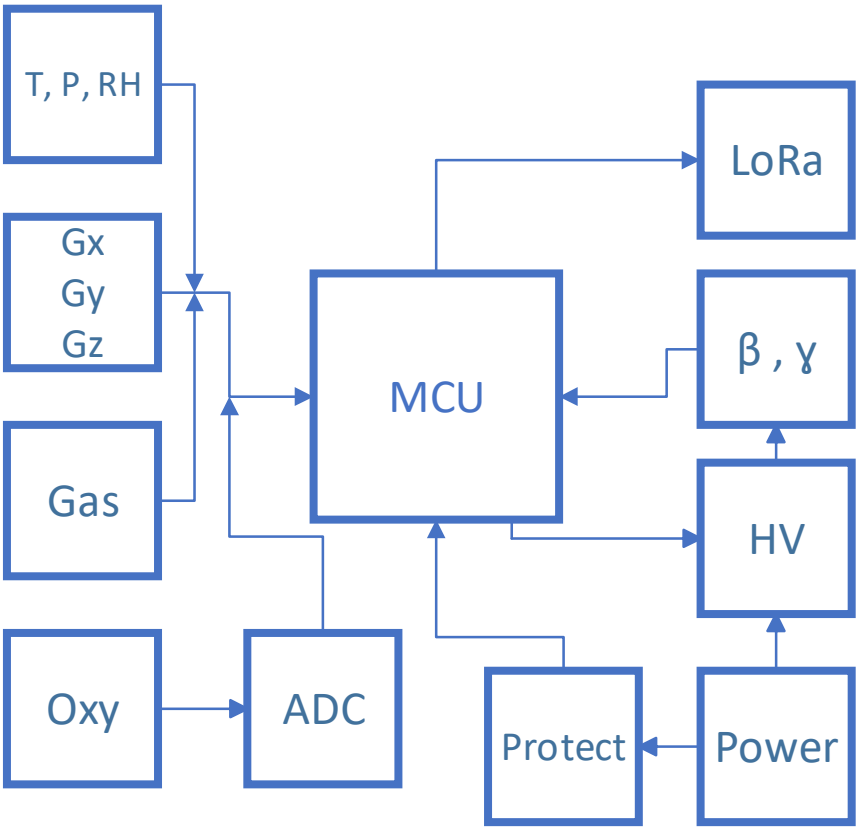


Рис. 3.5.1. Структурна схема модуля моніторингу з акселерометром.

Важливо зазначити, що "MCU" безпосередньо не залежить від характеристик транспорту, тому його можна використовувати на будь-якій платформі, яка йде певним маршрутом. Під час роботи, за допомогою спеціальних датчиків (рис. 3.6.2), здійснюється збір наступної інформації:

- коливання радіаційного фону бета- та гамма-випромінювання (β, γ);
- вимірювання температури, вологості та тиску (t, P, RH);
- реакція на загазованість (MQ);

- вміст кисню (Oxy);
- дані акселерометра та навантаження по осям (Gx, Gy, Gz);
- GPS координати (GPS).

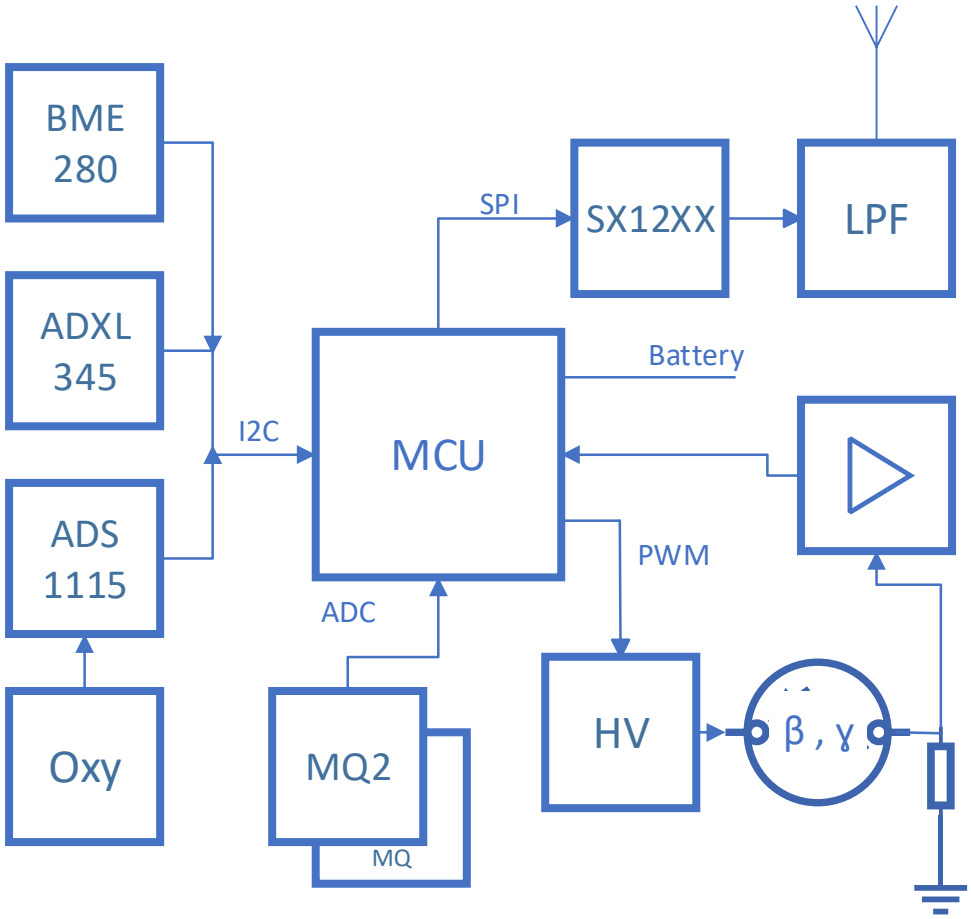


Рис. 3.5.2. Мікроконтролер MCU з під’єднаними датчиками.

Для забезпечення оптимальної ефективності роботи системи до "MCU" підключена система управління акумулятором, що робить її повністю автономною. Об'єднавши всі компоненти апаратно-програмного комплексу, ми отримуємо готове до впровадження рішення, що складається з трьох основних частин: модуля збору і передачі даних, модуля що передає дані з локального середовища до глобальної мережі Інтернет, а також системи моніторингу з веб інтерфейсом для накопичення та візуалізації даних.

3.5.2. Вибір мікроконтролера

Виберемо мікроконтролер між ESP8266 та TG7100C.

ESP8266 [99]

- Процесор: 32-бітний Tensilica Xtensa L106, що працює на частоті до 80/160 МГц
- Пам'ять: 32 КБ SRAM для інструкцій та 80 КБ для даних, 4 МБ вбудованої флеш-пам'яті (розширювана до 16 МБ)
- Безпровідний зв'язок: Wi-Fi 802.11 b/g/n
- Порти введення/виведення (GPIO): До 17 доступних GPIO
- Протоколи: Підтримка TCP/IP, HTTP, MQTT, WebSockets
- Напруга живлення: 3.0-3.6 В
- Розміри: Дуже компактний розмір, який підходить для різних додатків

TG7100C

- Процесор: Cortex-M4, частота до 120 МГц
- Пам'ять: 384 КБ SRAM, 1 МБ вбудованої флеш-пам'яті
- Безпровідний зв'язок: Bluetooth 4.2,Wi-Fi 802.11b/g/n,
- Порти введення/виведення (GPIO): До 32 доступних GPIO
- Протоколи: Підтримка TCP/IP, HTTP, MQTT, WebSockets
- Напруга живлення: 2.7-3.6 В
- Розміри: Компактний розмір з великою кількістю портів

Порівнявши мікроконтролери зробили висновки, що ESP8266 має широку підтримку в спільності , багато бібліотек і прикладів коду, підтримку Arduino IDE, PlatformIO та інших середовищ розробки, більш доступна ціна. TG7100T більш потужний, є підтримка Bluetooth, більше портів GPIO. Для даного проекту цілком достатньо більш доступного ESP8266, тому зупинимось на ньому.

3.5.3. Вибір сенсорів

Розглянемо ADXL335 та ADXL345.

Акселерометр ADXL335 має три осі, що дозволяє визначати вектор прискорення в тривимірному просторі. Оскільки сила гравітації також є вектором, акселерометр може визначати свою орієнтацію в тривимірному просторі відносно центру Землі. Мінімальний діапазон вимірювань цього пристрою становить ±3 g..

Характеристики:

- Навантаження: ударні навантаження до 10000g
- Напруга: від 1.8 В до 3.6 В
- Струм споживання: 350 мкА
- Частота: від 0.5 Гц до 1600 Гц для осей X і Y, від 0.5 Гц до 550 Гц для осі Z
- Чутливість: 300 мВ/g
- Діапазон температур: -40...+85 °C
- Розмір: 20 мм × 15 мм

ADXL345 - це крихітний, енергоефективний трьохосьовий акселерометр з високою роздільною здатністю (13 біт). Він має діапазон вимірювання до ±16 g і надає результати у вигляді 16-розрядних чисел у додатковому коді через цифрові інтерфейси SPI/I2C. Цей акселерометр ідеально підходить для мобільних пристроїв, оскільки може вимірювати статичне прискорення (від гравітації) для визначення нахилу, а також динамічне прискорення, спричинене рухом або ударами. Завдяки високій роздільній здатності ($4 \cdot 10^{-3}$ g/LSB), ADXL345 дозволяє точно відстежувати зміни нахилу менше ніж на 1°. Режим зниженого енергоспоживання забезпечує інтелектуальне управління живленням системи.

Характеристики:

- живлення акселерометра: 3.3 - 5 В
- підтримувані інтерфейси: I2C / SPI
- роздільна здатність: 10/13-bit (min. 4 mg/LSB)

- діапазон вимірювань: +/-2g / +/-4g / +/-8g / +/-16g

- розміри модуля: 20x15 мм

У проекті обрано ADXL345 який має 16-бітну роздільну здатність і здатний вимірювати прискорення вільного падіння до 2 g. Він підключається через інтерфейс I2C. На відміну від ADXL335 має три аналогових виходи, що може створити високий поріг для топології плати та вимагати додаткового АЦП в мікроконтролері, тому його не рекомендується використовувати в цій конкретній системі.

Термогігрометр з барометром, виготовлений компанією Bosch, є оптимальним та широко використовується авторами BME280. Хоча BME680 є більш сучасним, його використання може не бути обґрунтованим. Навіть за умови того, що висотомір має роздільну здатність в 10 см, це не має великого значення порівняно з шумами. Крім того, комбінований датчик TVOC в BME680 може бути менш ефективним, ніж використання набору спеціалізованих катарометрів.

Вибір катарометрів від Winsen падає на набір із кількох із списку згідно потенційних загроз: MQ-2, MQ-5, MQ-7, MQ-9, MQ-135.

Лічильник Гейгера з трубкою J305, чи аналоги СБ-20 чи СТС-6, мають достатню чутливість для скорочення динамічного часового вікна пошуку джерел іонізуючого випромінювання, тому є достатнім для даного проекту.

3.5.4. Схема електрична

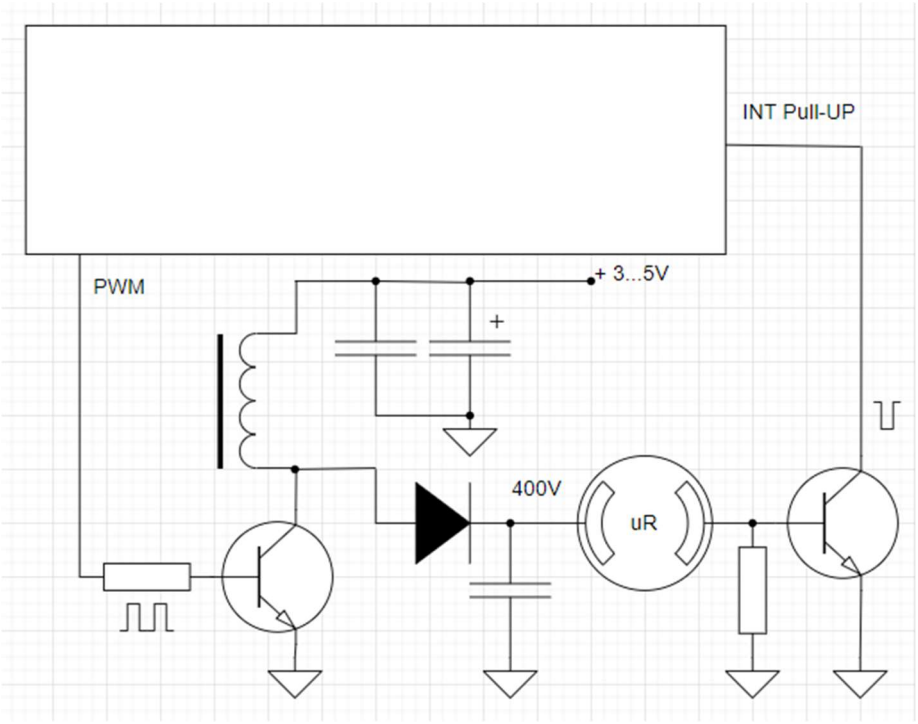


Рис. 3.5.4.1. Модуль радіометра, схема електрична принципова.

Схема модуля фонового моніторинга з акселерометром збігається зі схемою застосованою при проектуванні в розділі 3.3, тому не будемо зупинятися окремо на цьому кроці. Нововведення закладається у включенні в систему модуля акселерометра та зміні програмного коду. На рисунку 3.5.4.1 зображено спрощену схему лічильника іонізуючого випромінення, яка застосована в даному проекті. При цьому зниження якості вимірювання радіації не спостерігається.

3.5.5. Алгоритм роботи

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "WiFiClient.h"
#include "ESP8266WebServer.h"
#include "ESP8266HTTPClient.h"
#include "ESP8266mDNS.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
ADC_MODE (ADC_VCC);
Adafruit_BMP085 bmp;
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
WiFiClient client;
WiFiServer server(80);
```

Рис.3.5.5.1. Фрагмент коду роботи програмного забезпечення модуля фонового моніторингу з акселерометром.

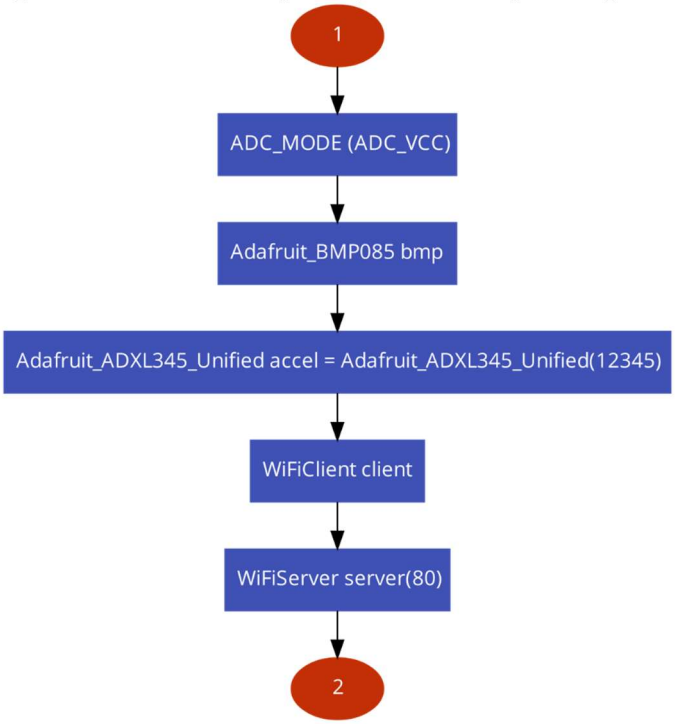


Рис.3.5.5.2. Фрагмент алгоритму роботи програмного забезпечення модуля фонового моніторингу з акселерометром.

На рисунках 3.5.5.1-3.5.5.2 зображено фрагмент коду з ініціалізацією об’єктів BMP085, ADC, ADXL345, WiFi, Http. Додаткові алгоритми роботи програмного забезпечення модуля фонового моніторингу представлені в додатку 7.

Висновки

Розроблено новий керований засіб збору параметрів ОЕС із покращеним енергоспоживанням та оптимізованим до впливу завад набором чутливих елементів вхідних сенсорів.

Розроблено нову систему керування автономним роботизованим АПК із інтеграцією GNSS та сенсорів каторометричного типу для аналізу стану повітряних мас.

Покращено стаціонарну IoT вузли спостереження за сейсмічними та метео параметрами з точки зору керування енергоспоживанням та інтегрованими виходами в ХС.

Побудовано і запропоновано в ролі дублюючих каналів передачі даних малопотужні та супутникові наземні станції і інтегровано у відповідні спільноти.

4. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ РІЗНИХ ТИПІВ МОНІТОРИНГУ ОЕС ТА ЛАНОК ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

4.1. Результати вимірювання автоматизованим комплексом експерименту з мікроводоростю Chlorella vulgaris

В таблиці 4.1 наведені отримані вибіркові дані по температурі, вологості, тиску, кисню.Дані за перший тиждень досліду, освітлення природнє, початок березня 2023.

Таблиця 4.1. Вимірювання температура, тиск, вологість, кисень

Temp	17,04	16,99	16,94	16,9	16,85
16,82	16,82	16,77	16,77	16,73	16,7
16,7	16,67	16,63	16,57	16,56	16,57
16,52	16,45	16,45	16,43	16,41	16,4
16,39	16,39	16,39	16,37	16,34	16,35
16,33	16,33	16,28	16,26	16,22	16,22
16,19	16,17	16,18	16,18	16,13	16,12
16,13	16,09	16,09	16,07	16,04	16,03
16,04	16	15,99	16,03	15,99	16,06
16,06	16,02	16,02	16,01	16,08	16,08
16,09	16,07	16,14	16,21	16,4	16,47
16,62	16,87	17,64	18,11	18,5	18,31
18,52	18,72	18,88	18,67	19,27	19,23
18,93	18,69	18,58	18,46	18,76	19,04
19,08	19,24	19,25	18,89	18,78	18,65
18,57					
Humidity	34,04	34,06	34,17	34,28	34,4
34,47	34,5	34,59	34,62	34,73	34,77
34,77	34,82	34,9	35,02	35,08	35,09
35,18	35,34	35,38	35,44	35,5	35,57
35,61	35,62	35,66	35,74	35,78	35,84
35,89	35,96	36,05	36,1	36,22	36,25
36,34	36,43	36,48	36,5	36,61	36,66
36,69	36,77	36,79	36,87	36,97	37,03
37,04	37,14	37,21	37,21	37,34	37,29
37,3	37,45	37,5	37,64	37,61	37,64
37,69	37,91	37,91	37,98	37,91	37,9
37,91	37,69	38,67	40,01	41,03	41,06
41,06	41,55	42,07	40,64	40,56	40,69
38,98	38,29	38,18	38,23	38,62	39,24
39,83	40,31	40,82	40,8	40,26	39,84
39,55					

Pressure	99213,7	99234,7	99259,6	99264,9	99286,3
99295,1	99309,9	99314,7	99315,2	99326,5	99333,5
99339,6	99350,2	99360,2	99364,6	99383,8	99383,3
99386	99380	99382,7	99390,5	99394	99401
99406,6	99424,5	99419,7	99427,5	99430,6	99440,6
99439,8	99440,2	99424,2	99434,2	99439,1	99444,3
99444,8	99442,6	99438,3	99449,6	99465,7	99471,8
99477,4	99490,1	99507	99518,8	99528,8	99539,6
99537,9	99550,6	99548,8	99574	99586,2	99597,4
99607,4	99616,6	99637,4	99653,1	99664,7	99670,8
99672,5	99674,7	99681,2	99686,3	99690,5	99694,3
99694,5	99686	99688,8	99699,8	99693,4	99691,6
99681,1	99680,3	99672,1	99667,3	99655,5	99642,1
99641	99627,1	99618,2	99613,6	99601,3	99592,3
99594,4	99594	99584,4	99574,8	99572,4	99570,1
99562,8					
Oxygen	16,978	17,05	17,084	17,059	17,019
17,097	17,003	17,038	17,056	17,038	17,041
17,025	16,991	16,981	17,028	17	16,991
17,1	17,05	17,034	17,041	17,025	17,025
17,025	17,031	17,038	16,984	17,041	17,028
17,053	17,019	17,069	17,075	17,078	17,05
17,059	17,025	17,013	17,069	16,969	16,984
17,019	16,984	17,003	17,056	16,997	17,228
17,003	17,041	17,116	17,056	17,028	17,019
17,009	17,056	17,066	17,056	17,047	17,038
17,047	17,031	17,034	17,019	17,209	16,956
16,928	16,941	16,906	16,909	16,803	16,828
16,869	16,828	16,803	16,766	16,784	16,778
16,875	16,934	16,959	17,022	16,981	16,925
16,925	16,941	16,903	16,959	17,016	17,006
17,028					

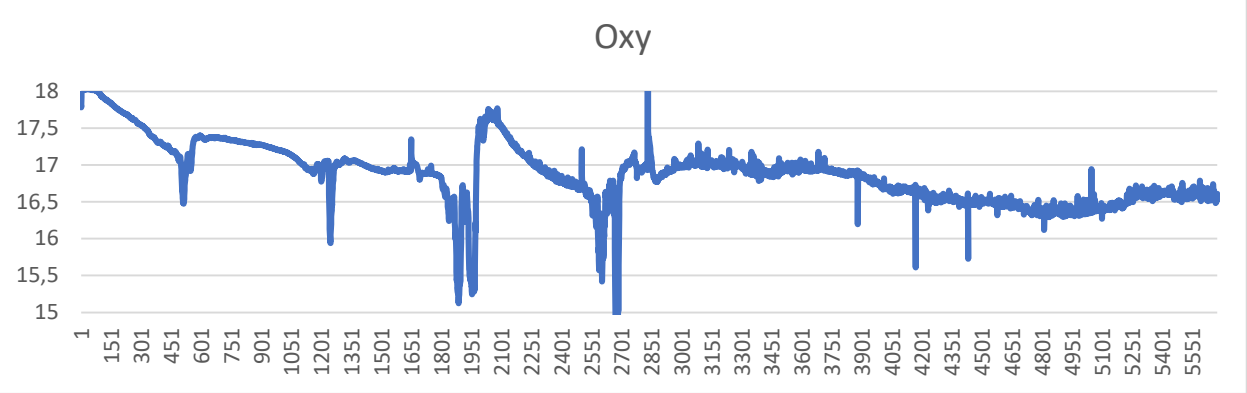


Рис. 4.1.1. Залежність кисень

Легко бачити добовий хід генерації кисню як функцію освітлення, різки передранкові мінімуми.

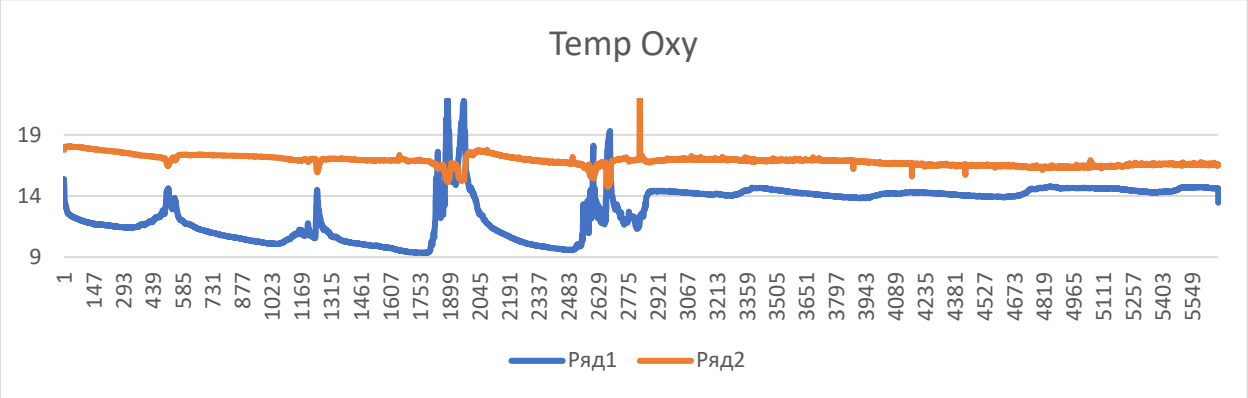


Рис. 4.1.2. Залежність температура/ кисень від часу

Виявлено незначну від'ємну кореляцію концентрації кисню за температурою.

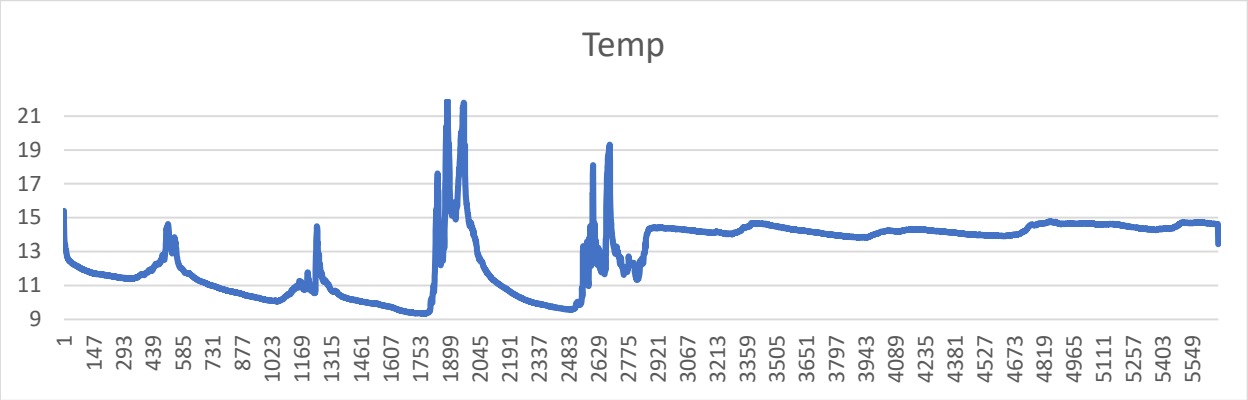


Рис. 4.1.3. Залежність температура

Дні з наявністю прямих сонячних променів лише два.

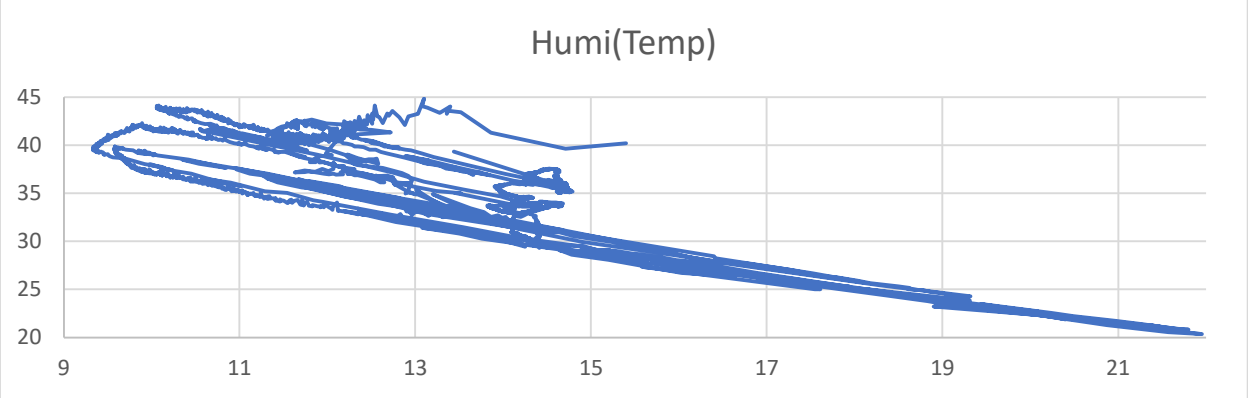


Рис. 4.1.4. Залежність температура/ вологість

Підтверджено негативну залежність вологість – температура, що вказує на коректність вимірів.

Наступний масив даних за перший місяць роботи. Дані піддано децимації, значення щогодини. Задано експорт логфайлу з сенсорного модуля в табличний процесор, вибірка кожного 30 значення при інтервалі сну сенсора в 2 хвилини.

	A	B	C	D	E	F
1	1	15,4	40,21	99862,7	17,8	
30	30	12,42	42,52	99836,7	18,031	0
60	60	12,17	41,25	99836	18,016	0
90	90	11,97	41,15	99813	17,975	0
120	120	11,81	40,53	99777	17,894	0
150	150	11,72	40,52	99754,5	17,831	0
180	180	11,65	40,7	99716	17,766	0

Рис. 4.1.5. децимація на годину в редакторі таблиць.

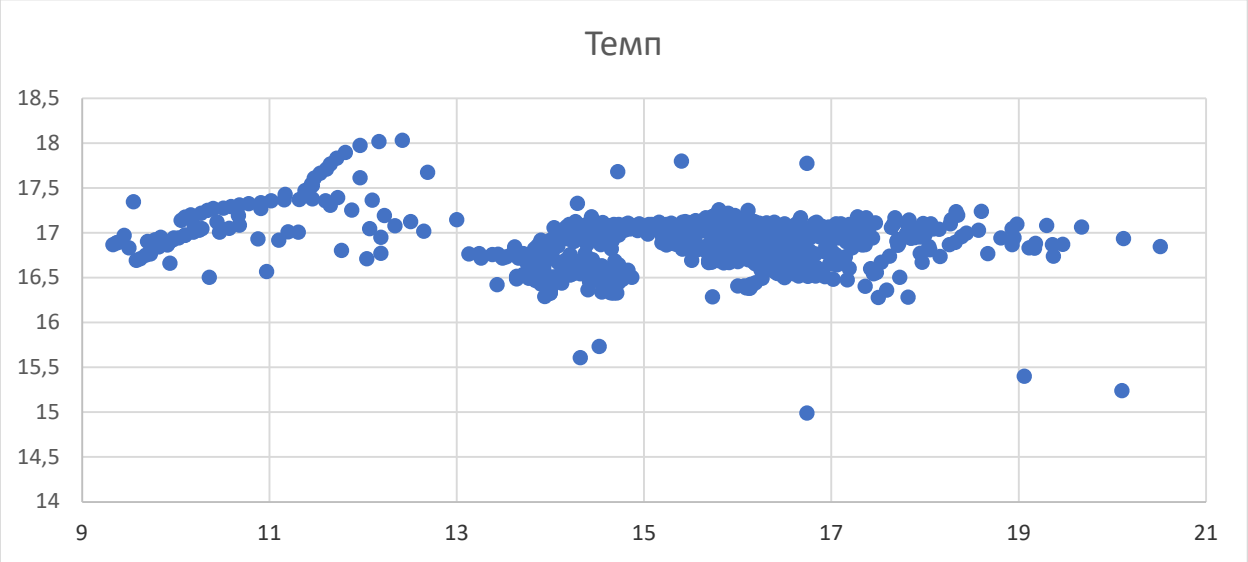


Рис. 4.1.6. Графік температура/ кисень за 30 днів.

Проаналізуємо отримані залежності методом попереднього образного аналізу. Спробуємо з'єднати точки і побачимо цікаві області роботи з природнім та штучним освітленням.

Області штучного освітлення мають фіксовані значення концентрації кисню.

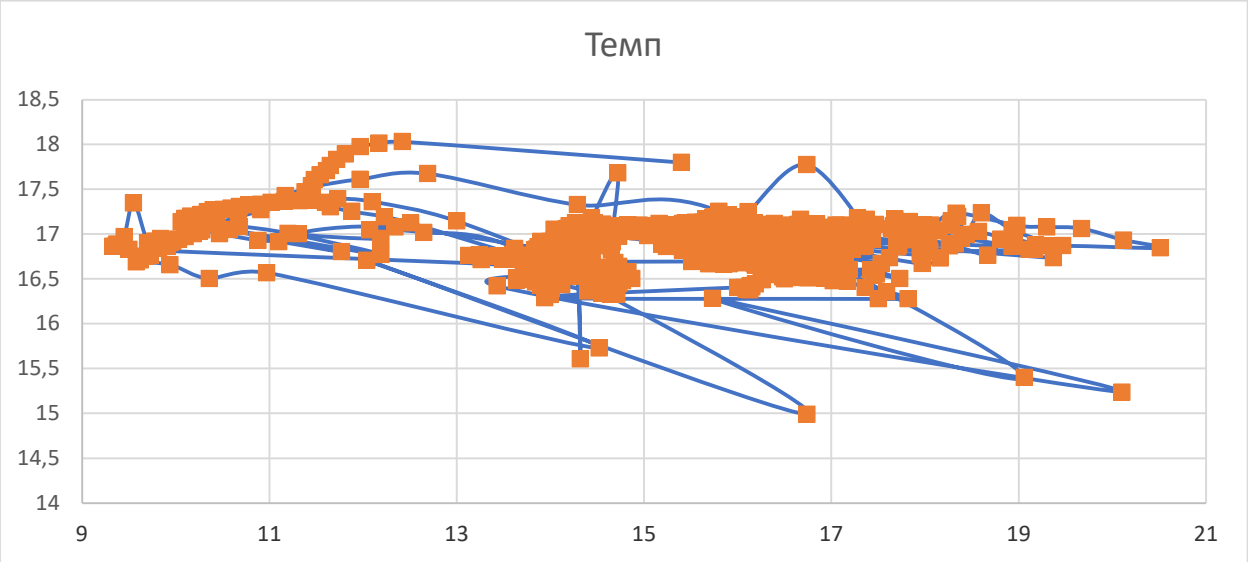


Рис. 4.1.7. Графік температура/ кисень із з'єднаними точками за 30 днів.

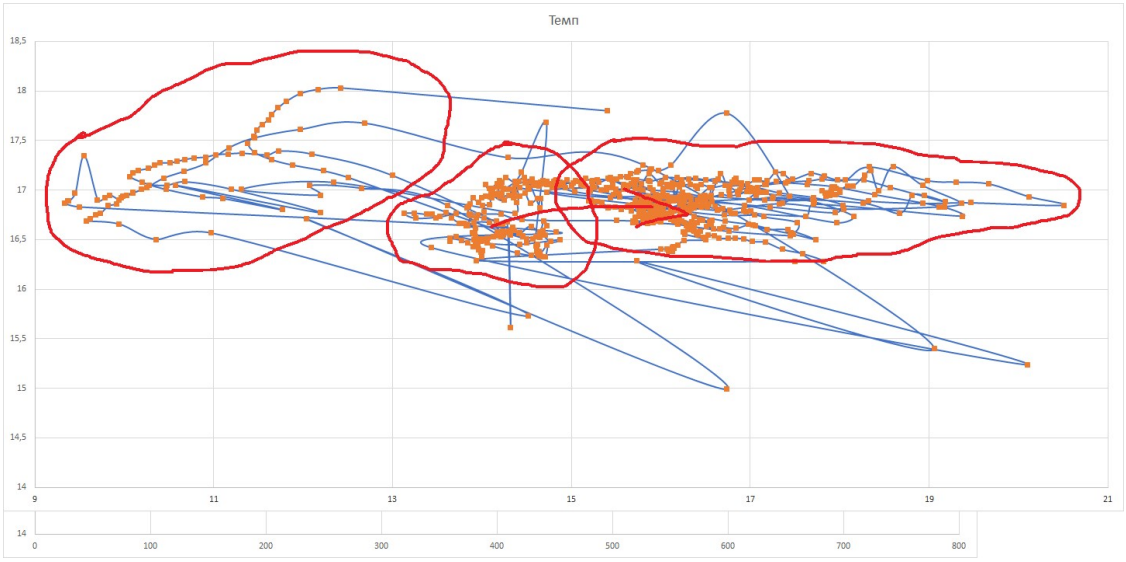


Рис. 4.1.8. Графік залежності температура/ кисень з виділеними областями природнього та штучного освітлення.

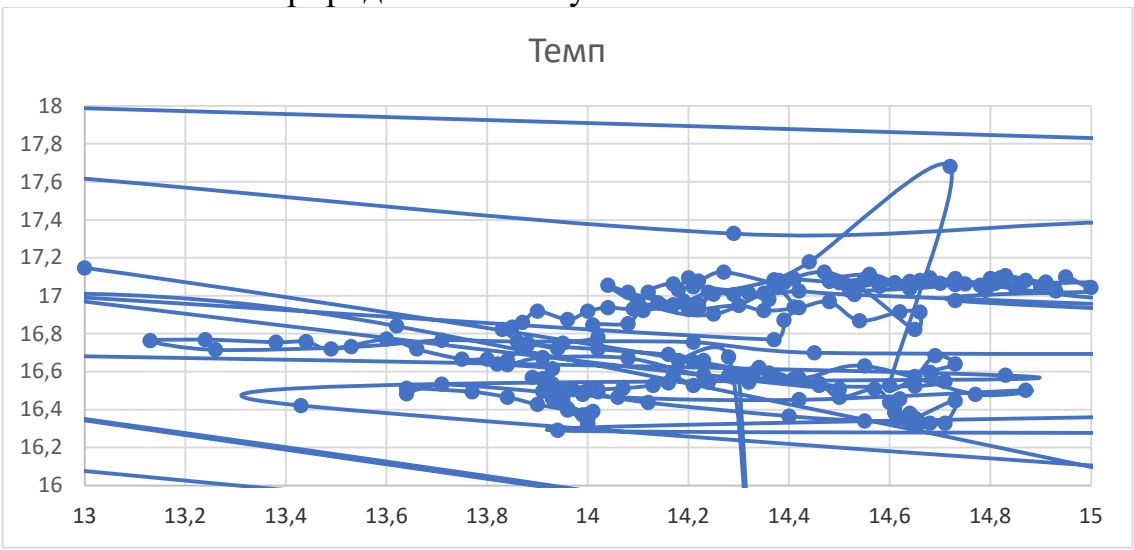


Рис. 4.1.9. Графік температура/ кисень збільшений фрагмент з концентрацією кисню.

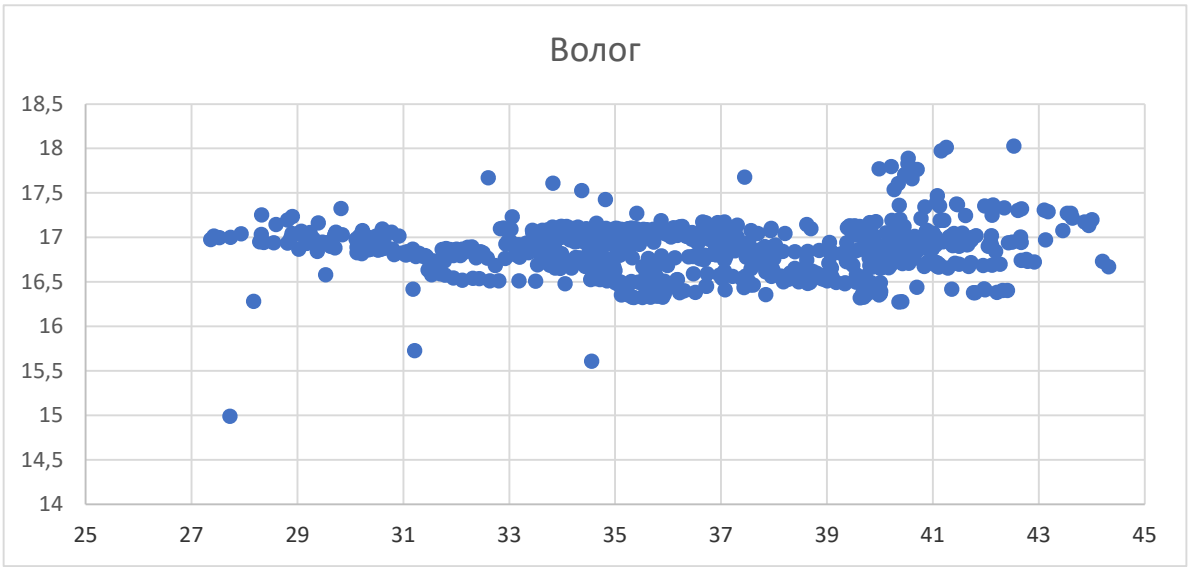


Рис. 4.1.10. Графік вологість/ кисень за 30 днів.

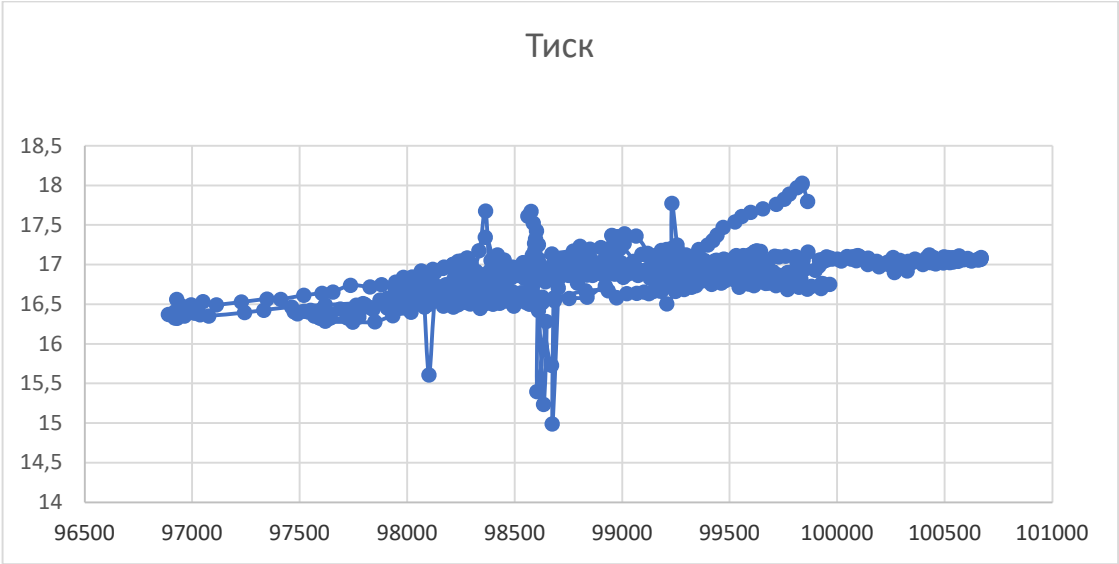


Рис. 4.1.11. Графік тиск/ кисень за весь період есперименту.

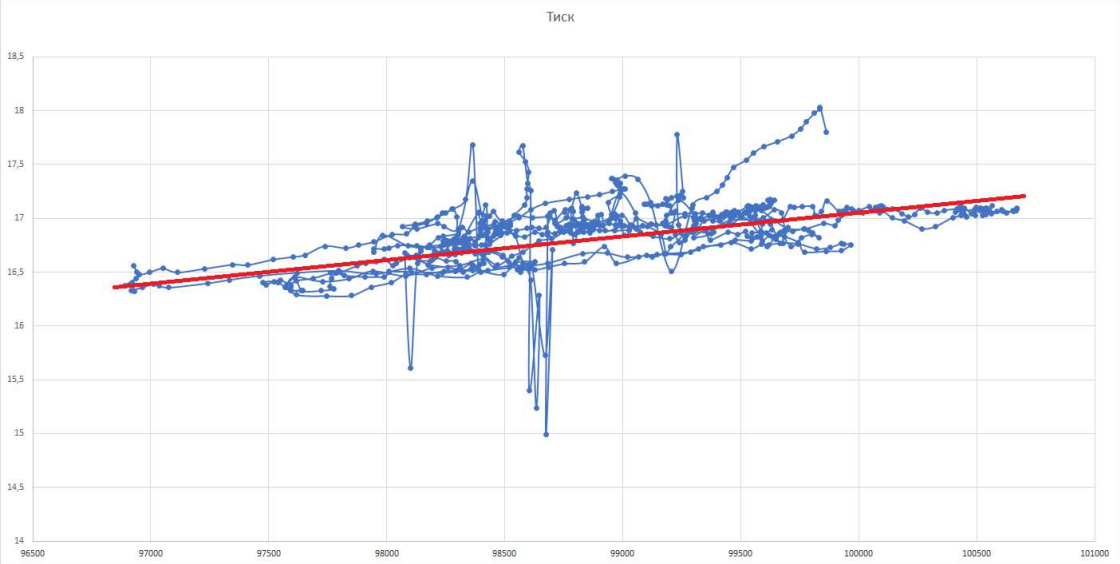


Рис. 4.1.12. Графік тиск/ кисень за весь період есперименту.

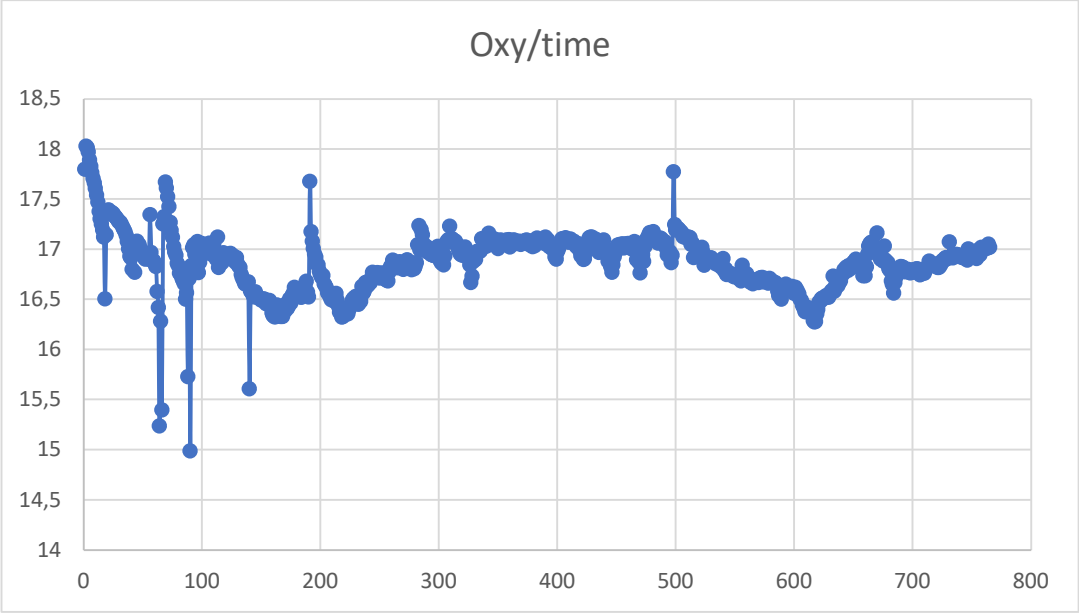


Рис. 4.1.13. Графік кисень/ час за весь період есперименту.

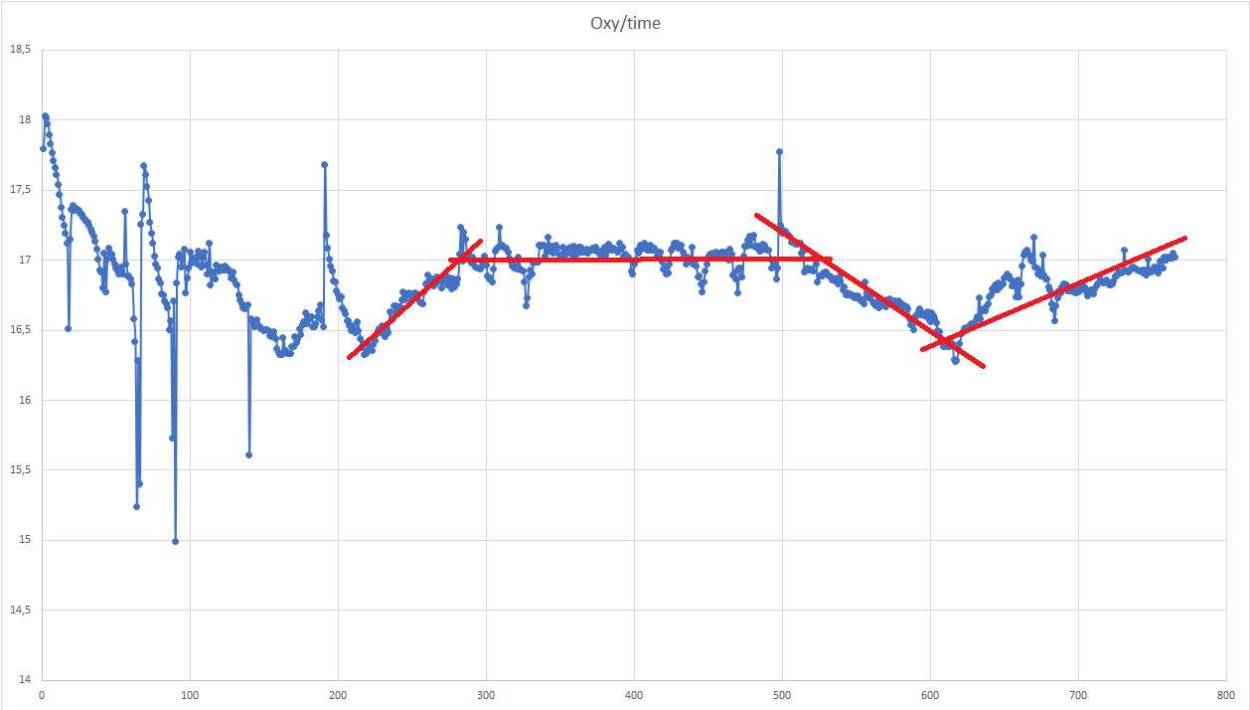


Рис. 4.1.14. Графік кисень/ час за весь період есперименту з виділеними зонами стабілізації.

На графіку можемо спостерігати процеси залежності концентрації кисню в залежності від добових циклів природнього освітлення. Далі йде зона росту концентрації кисню і далі стабілізація, що говорить про використання штучного освітлення. В подальшому ході експерименту штучне освітлення прибирається, що логічно відслідковується на останньому відрізку графіку.

Для автоматизованого процесу реєстрації росту популяції водорості був використаний метод коефіцієнту неоднородності по Ластовцеву, Для цього були використані оброблені фото зразків популяції мікроводорості. В розробленому програмному забезпеченні були отримані результати росту популяції Chlorella vulgaris.

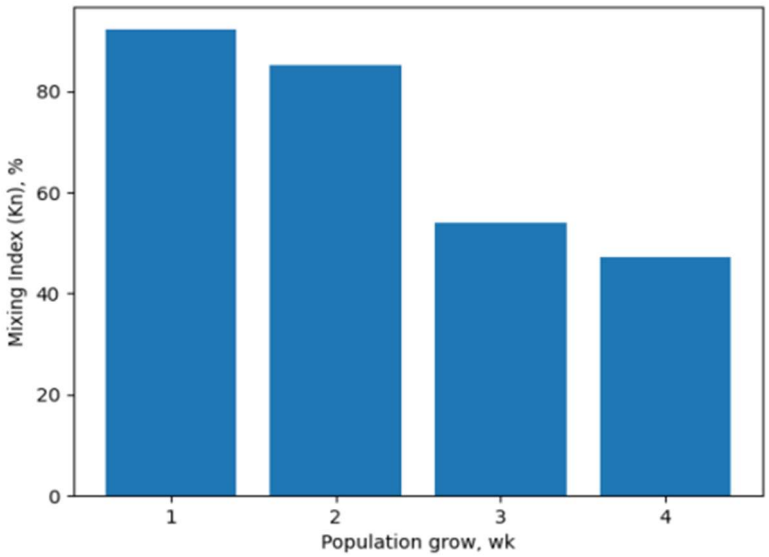


Рис.4.1.15. Гістограма коефіцієнта гетерогенності (Kn) Біомаса мікроводоростей Chlorella vulgaris у водному розчині від змін популяції в тижнях (тижд.)

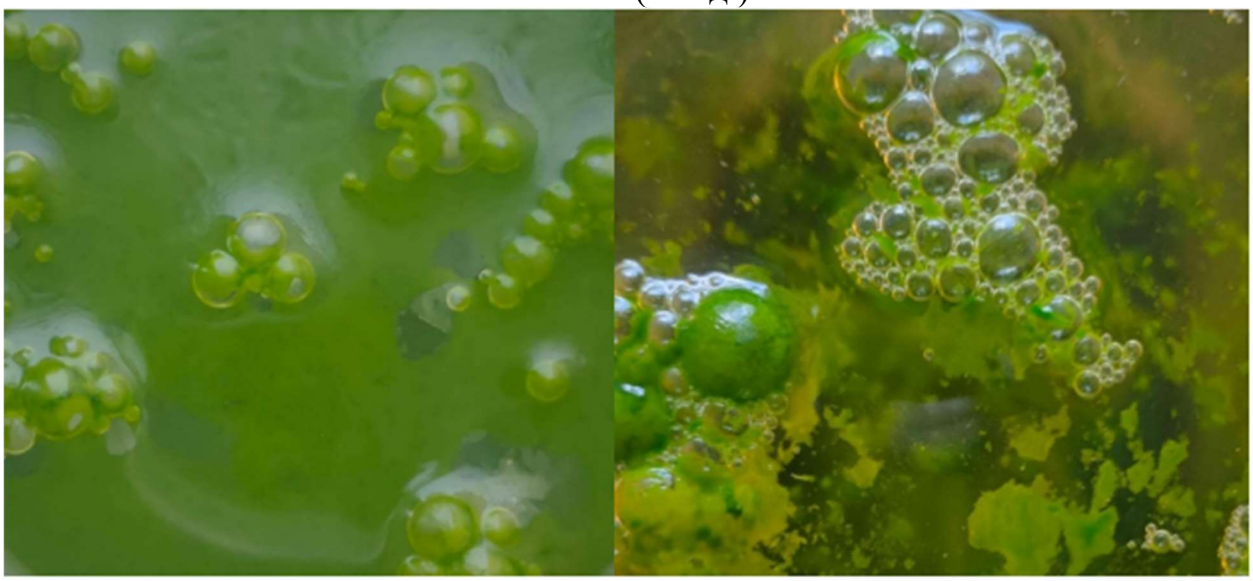


Рис. 4.1.16. Фото популяції Chlorella vulgaris ідентифікація.

Програмне забезпечення, яке дозволяє оцінити рівномірність розподілу Chlorella vulgaris розвинуто зростання популяції біомаси мікроводоростей. придатність розробленого програмного забезпечення для практичного використання. За допомогою розробленого програмного забезпечення визначено вплив на зростання біомаси мікроводоростей Chlorella vulgaris у водному середовищі. Показано, що зростання популяції мікроводоростей Chlorella vulgaris від 1 до 4 тижнів призводить до зменшення в індексі змішування від 93% до 47%, що обумовлено наявністю оптимальних умов для вирощування мікроводоростей Chlorella vulgaris. Метод дослідження може бути використаний в розробці автоматизованих комплексів моніторингу

екологічного стану водних ресурсів та контролю за промисловим виробництвом мікроводоростей Chlorella vulgaris.



Рис. 4.1.17. Популяція Chlorella vulgaris 1 тиждень.



Рис. 4.1.18. Популяція Chlorella vulgaris 2-3 тиждень.



Рис. 4.1.19. Популяція Chlorella vulgaris 4 тиждень.

4.2. Результати вимірювання автоматизованим модулем оперативного моніторингу

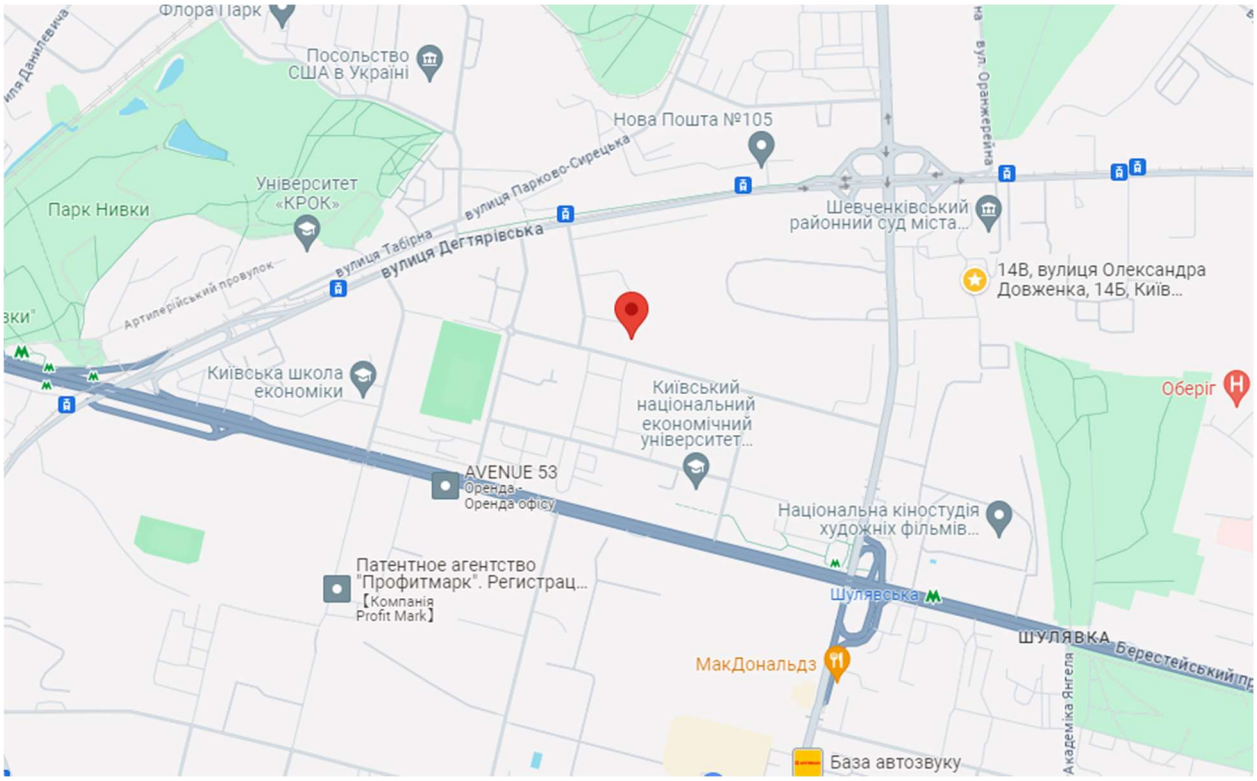


Рис. 4.2.1. Карта роботи модуля оперативного моніторингу (м.Київ)

ID	time	date	N	E	Lat	Radiation, uSv	t, C
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45964	30,438695	192,6	0,079	26,9
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45964	30,438697	192,7	0,873	26,8
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45964	30,438701	193,4	0,397	26,9
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45964	30,438703	194,4	0,952	26,9
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45963	30,438705	195,3	0	27
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45962	30,438705	197	0,079	27,1
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45961	30,438709	198,4	0,397	27,1
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45959	30,438711	200,4	0,159	27,2
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45958	30,438714	202	0	27,3
<ut4ucr	11:59:00	5,5,2023	50,45957	30,438714	203,2	0,238	27,4
<ut4ucr	12:00:00	5,5,2023	50,45956	30,438728	204,6	0,635	27,5
<ut4ucr	12:00:00	5,5,2023	50,45955	30,438734	205,5	0,556	27,5
<ut4ucr	12:00:00	5,5,2023	50,45955	30,438743	207	0,556	27,5
<ut4ucr	12:00:00	5,5,2023	50,45954	30,438753	208,8	0	27,5

Рис. 4.2.2. Фрагмент лог файлу роботи модуля оперативного моніторингу (м.Київ)

На рис. 4.2.2. показано фрагмент лог файлу роботи модуля оперативного моніторингу в місті Києві в районі метро Шулявська. Збираються дані радіаційного фону, температури, висоти, йде прив’язка показань до геолокації.

Мітка з місцем розташування модуля показана на рис. 4.2.1 на google картах. На рисунку 4.2.3. зображено графік маршруту замірів точок радіаційного фону місто Київ, фон знаходиться в межах норми мксимальний замір 19мкР (норма до 30мкР).

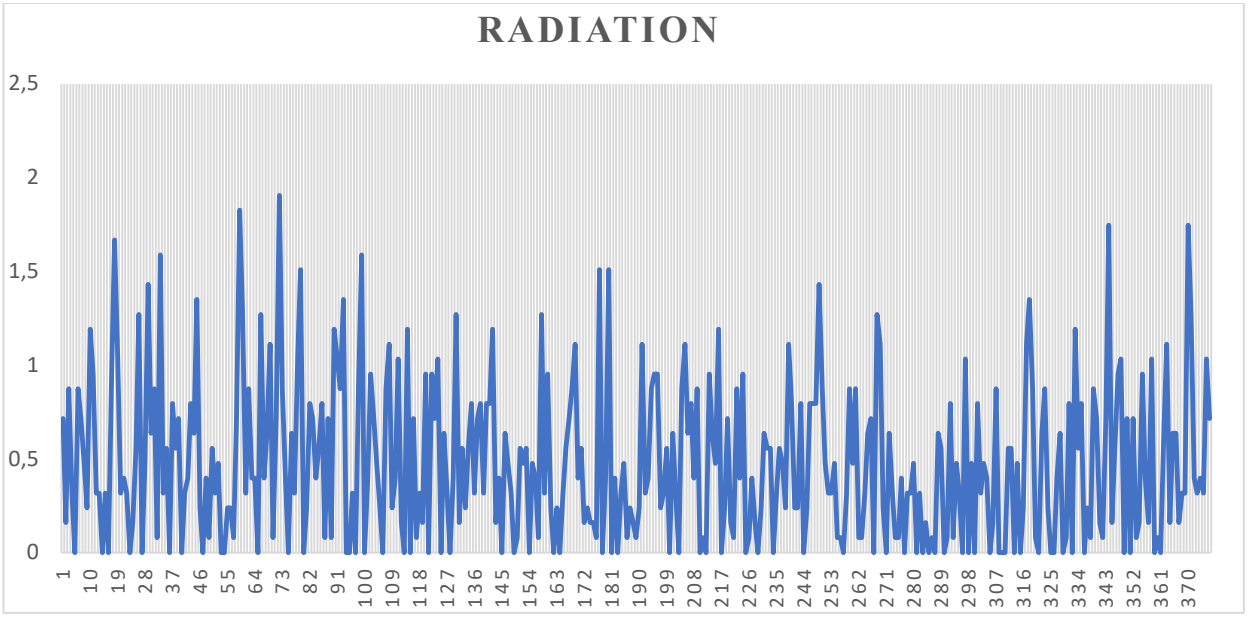


Рис.4.2.3. Графік точок замірів радіаційного фону в м. Київ (норма макс 19мкР)

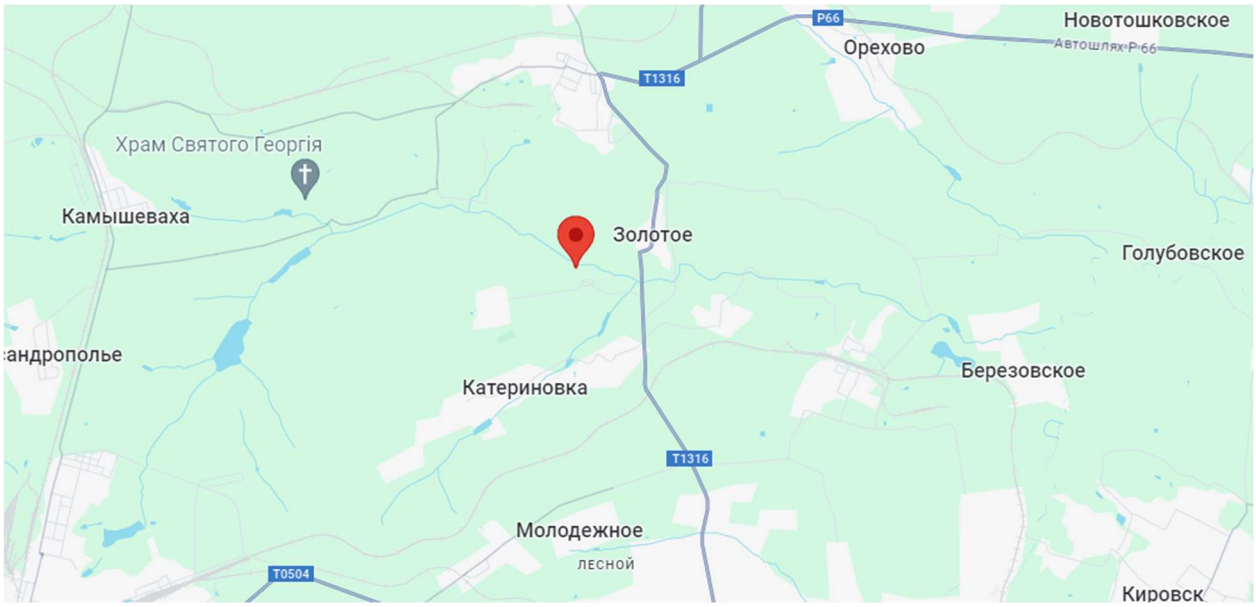


Рис. 4.2.4. Карта роботи модуля оперативного моніторингу с. Золоте, Луганська область

ID			Date	Humidity	Lat	T	N	E	Rad, uSv
ДатчикN1	16	7	2021	996.87	137.31	33.06	48.68784	38.49650	1,169
ДатчикN1	16	7	2021	996.86	137.35	33.03	48.68785	38.49650	1,072
ДатчикN1	16	7	2021	996.86	137.40	33.01	48.68784	38.49650	1,072
ДатчикN1	16	7	2021	996.87	137.28	33.00	48.68785	38.49649	1,072
ДатчикN1	16	7	2021	996.86	137.36	32.98	48.68785	38.49649	0,974
ДатчикN1	16	7	2021	996.86	137.35	32.96	48.68785	38.49649	0,974
ДатчикN1	16	7	2021	996.86	137.40	32.91	48.68785	38.49648	0,974
ДатчикN1	16	7	2021	996.89	137.13	32.82	48.68786	38.49647	0,812
ДатчикN1	16	7	2021	996.89	137.14	32.71	48.68787	38.49647	0,812
ДатчикN1	16	7	2021	996.91	136.97	32.60	48.68784	38.49651	0,812
ДатчикN1	16	7	2021	996.86	137.35	32.50	48.68784	38.49651	0,552
ДатчикN1	16	7	2021	996.88	137.20	32.41	48.68784	38.49651	0,552
ДатчикN1	16	7	2021	996.88	137.32	32.29	48.68784	38.49652	0,552

Рис. 4.2.5. Фрагмент лог файлу роботи модуля оперативного моніторингу с. Золоте, Луганська область

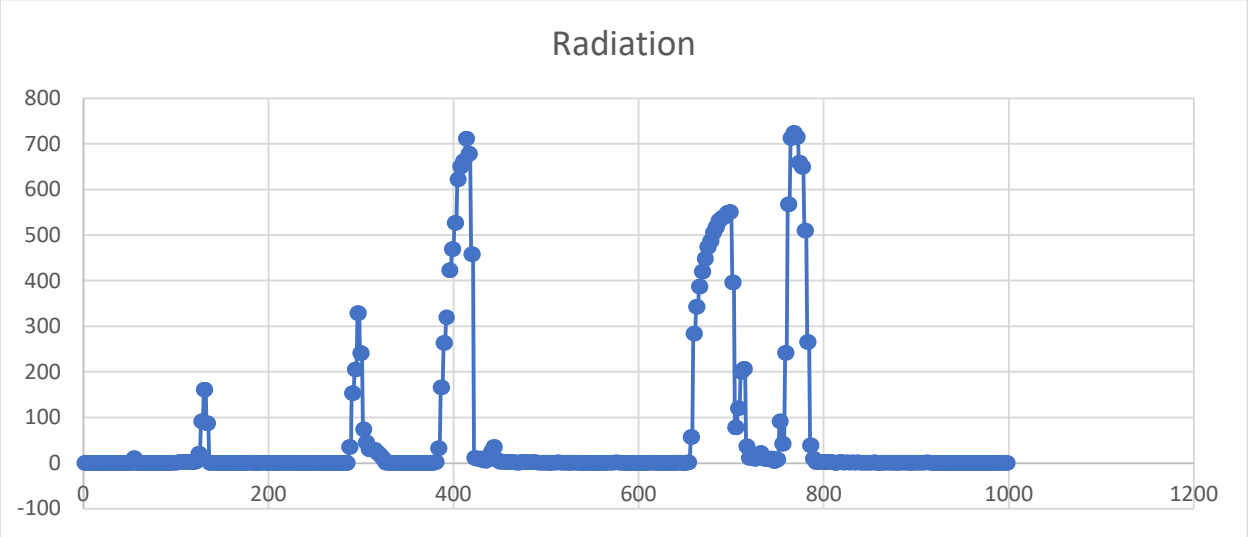


Рис. 4.2.6. Графік точок замірів радіаційного фону в с. Золоте, Луганська область

На рисунках 4.2.4-4.2.6. зображено карта роботи модуля оперативного моніторингу в с. Золоте Луганської області, фрагмент лог файлу з даними та графік вимірів точок радіаційного фону. Спостерігається реєстрація підвищеного фону на багатьох ділянках до 100мкР, та є декілька локацій з високих рівнем забрудненості до 766мкР. Підвищений фон можна пояснити відвалами породи, яка знаходиться на відкритому грунті, що є критичним в зв'язку з близьким розташуванням помешкань людей.

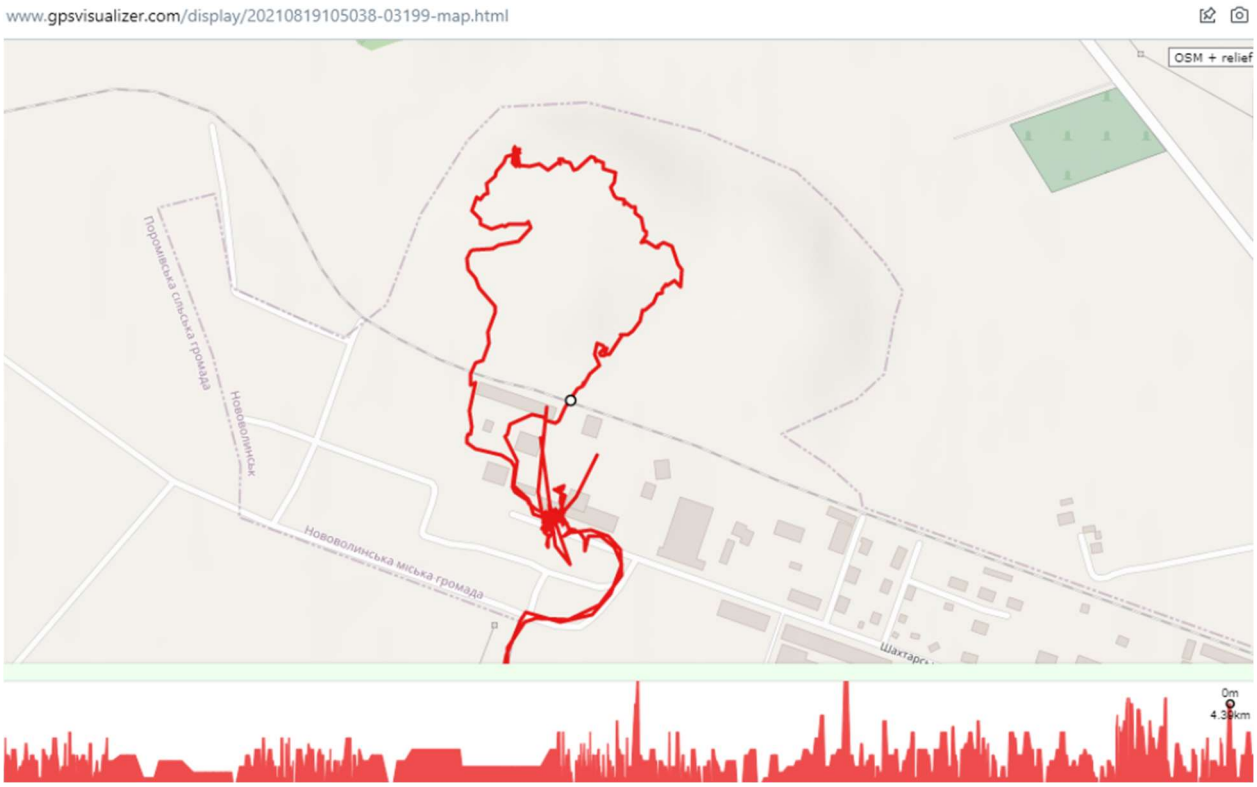


Рис. 4.2.7.Трек маршрут точок замірів радіаційного фону в с. Шахтарське, Волинська область (платформа gpsvisualizer)

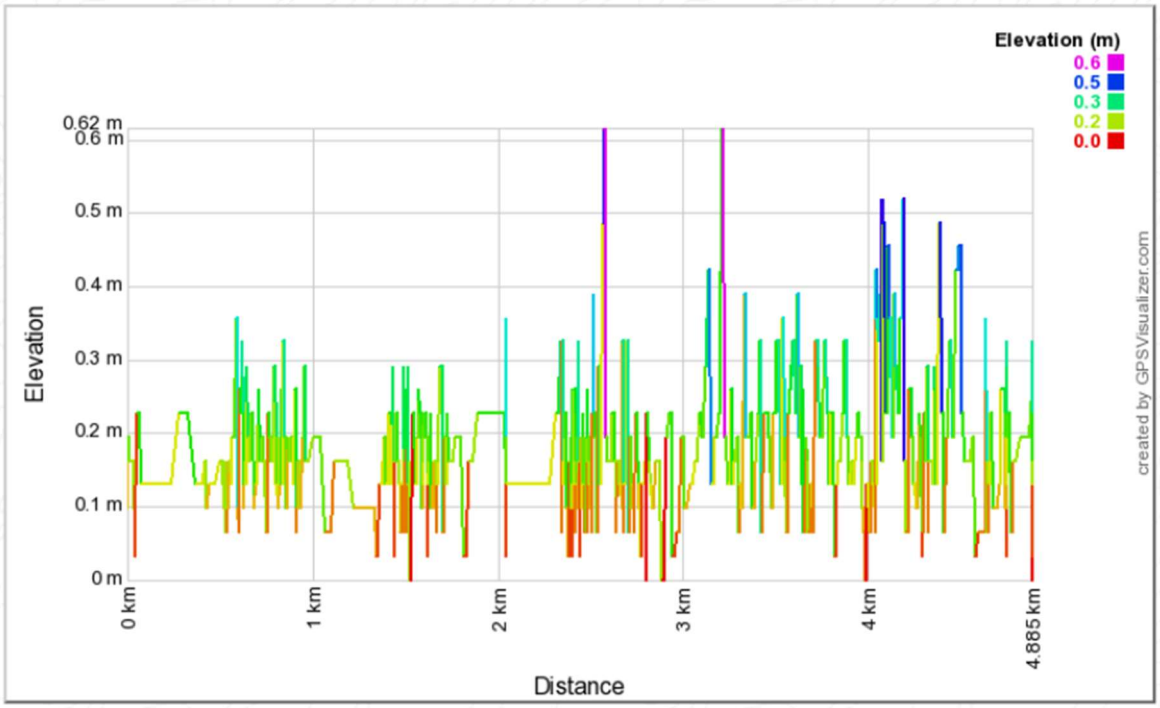


Рис. 4.2.8. Графік точок замірів радіаційного фону з трек маршрутом в с. Шахтарське, Волинська область (платформа gpsvisualizer)

4.3. Результати вимірювань автоматизованого модуля метеорологічного або фонового моніторингу

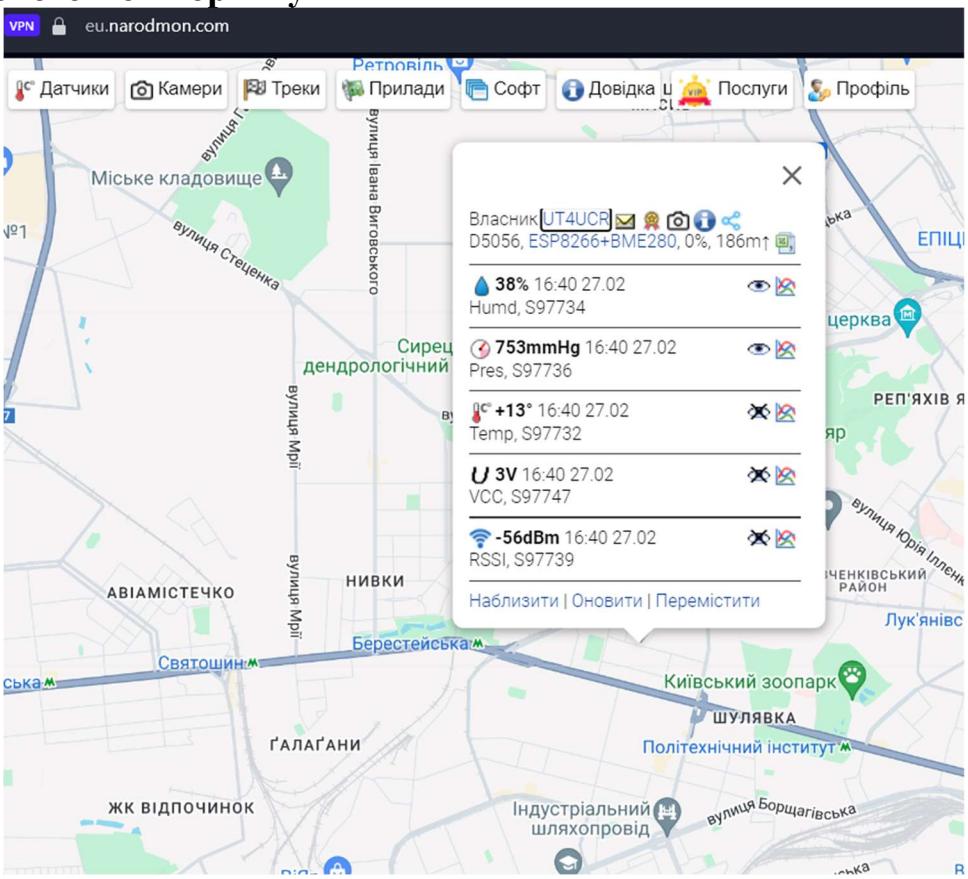


Рис. 4.3.1. Карта з позначенням модуля фонового моніторингу платформа narodmon

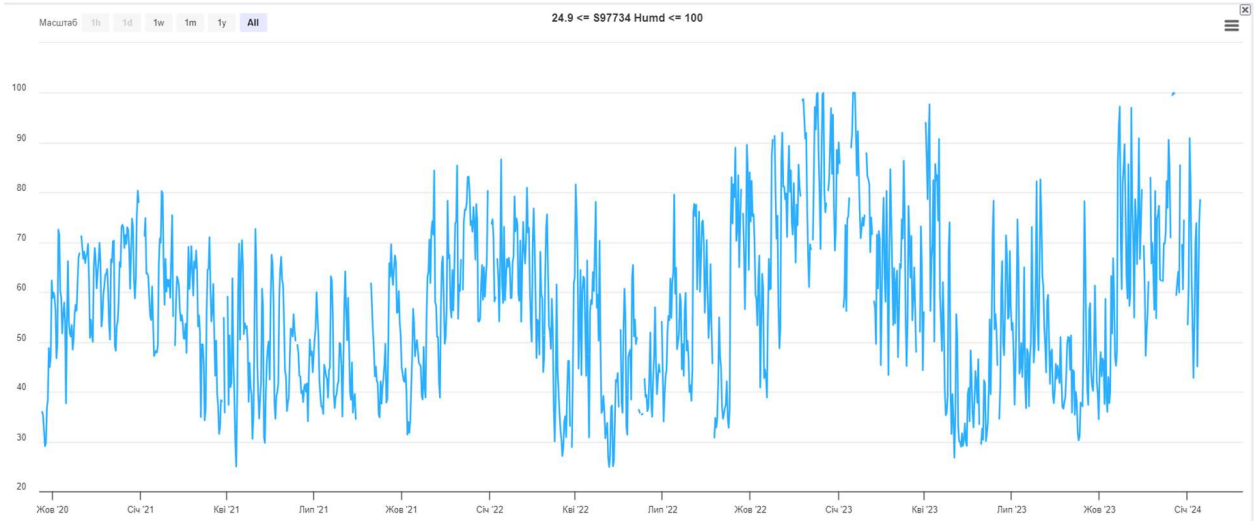


Рис.4.3.2. Графік вимірювань вологості автоматизованим модулем м.Київ, вул Антона Цедіка, 12, платформа narodmon (період 2020р-2024р)

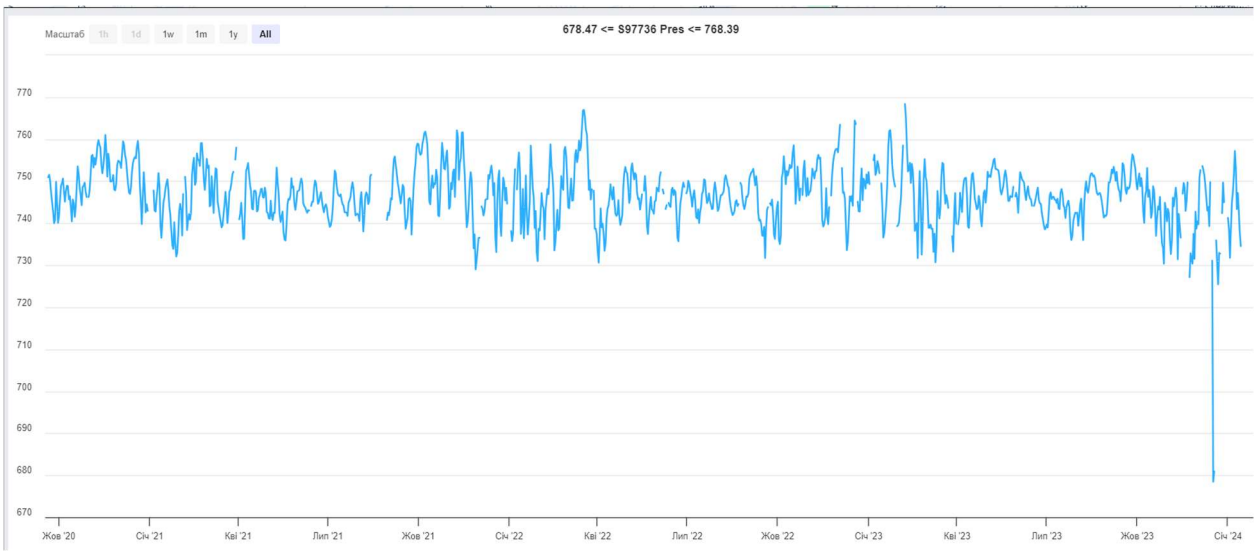


Рис.4.3.3. Графік вимірювань атмосферного тиску автоматизованим модулем м.Київ, вул Антона Цедіка, 12, платформа narodmon (період 2020р-2024р)

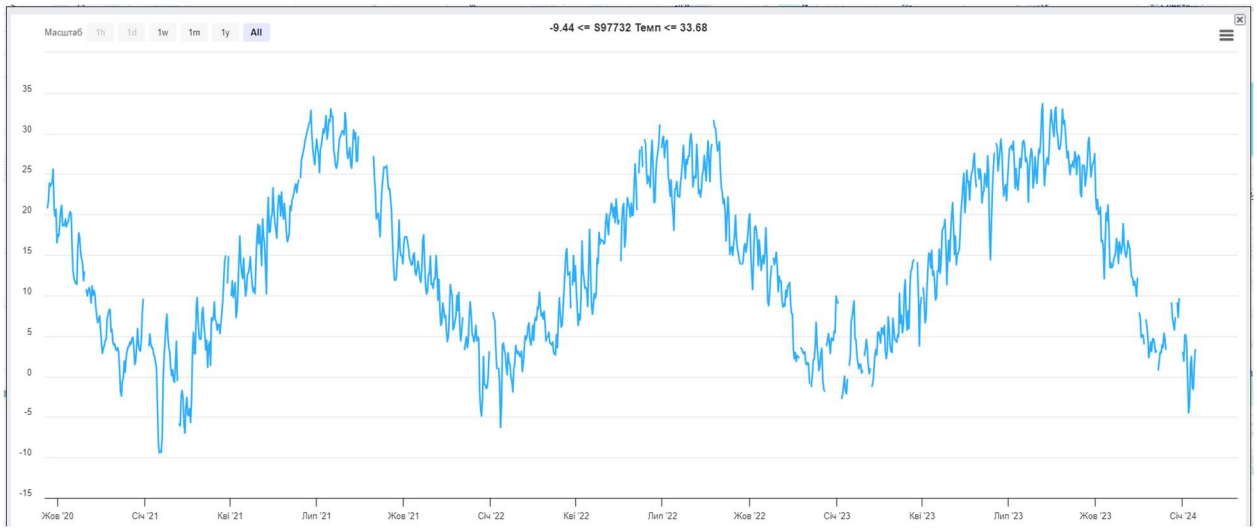


Рис. 4.3.4.Графік вимірювань температури навколишнього середовища автоматизованим модулем м.Київ, вул Антона Цедіка, 12, платформа narodmon (період 2020р-2024р)

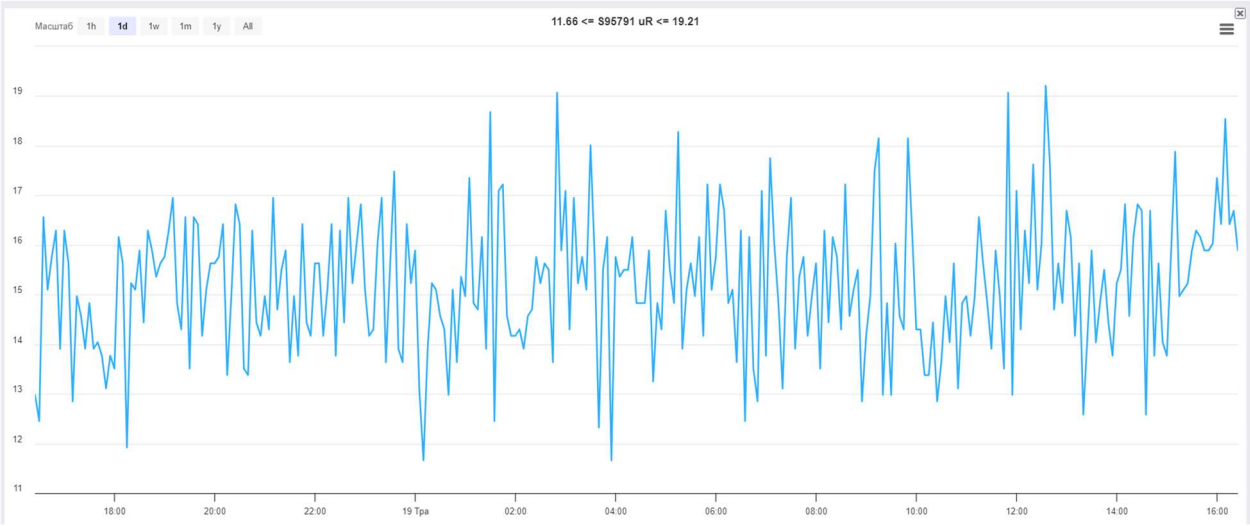


Рис.4.3.5. Денний хід вимірювання фону радіації м.Київ, вул. Володимирська,66, платформа narodmon

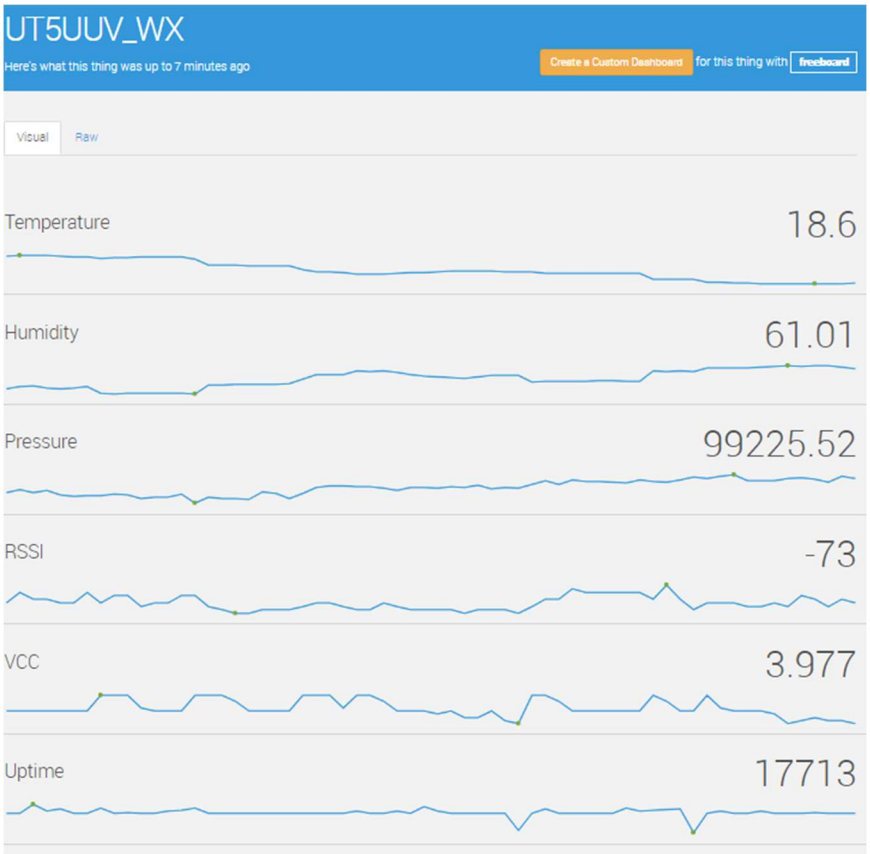


Рис. 4.3.6. Результати вимірювання модуля фонового моніторингу на платформі dweet.io (температура, вологість, тиск)

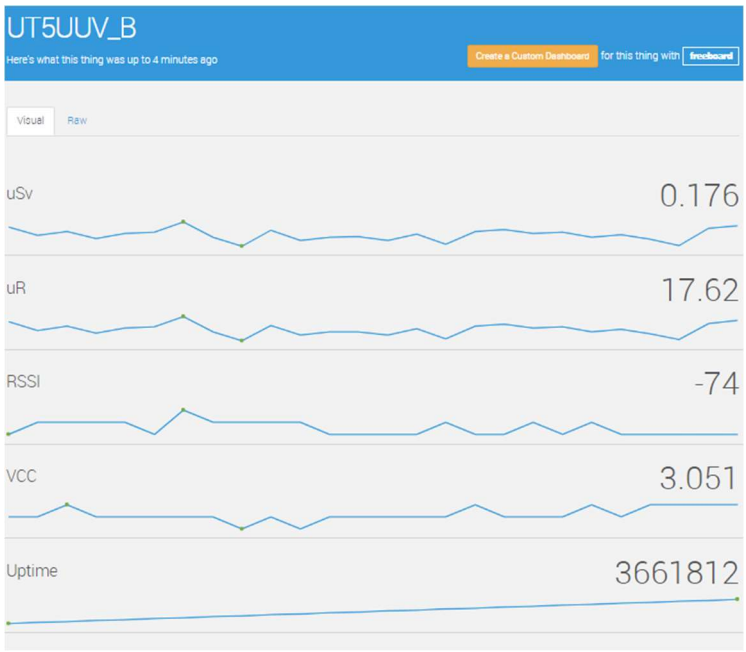


Рис. 4.3.7. Результати вимірювання модуля фонового моніторингу на платформі dweet.io (радіація)

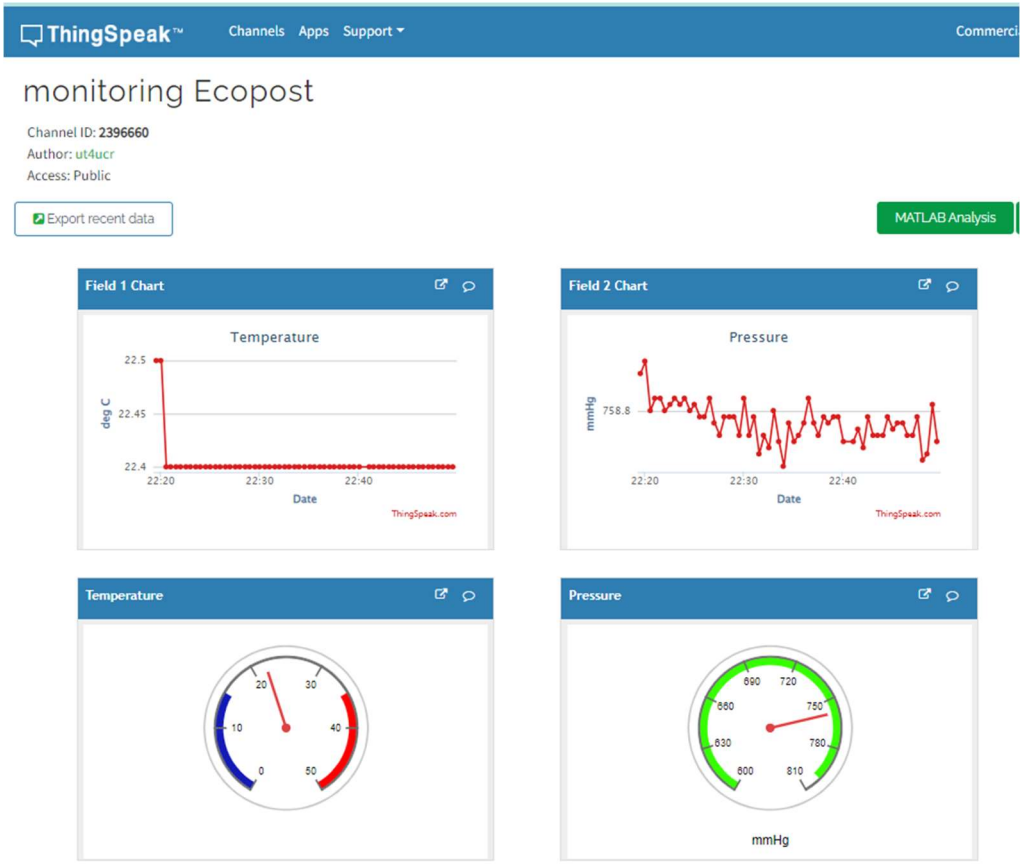


Рис. 4.3.8. Вивід результатів вимірювань модуль фонового моніторингуз акселерометром на ThingSpeak (температура, тиск)



Рис. 4.3.9. Вивід результатів вимірювань модуль фонового моніторингу з акселерометром на ThingSpeak (прискорення по осям (X, Y, Z), Радіація)

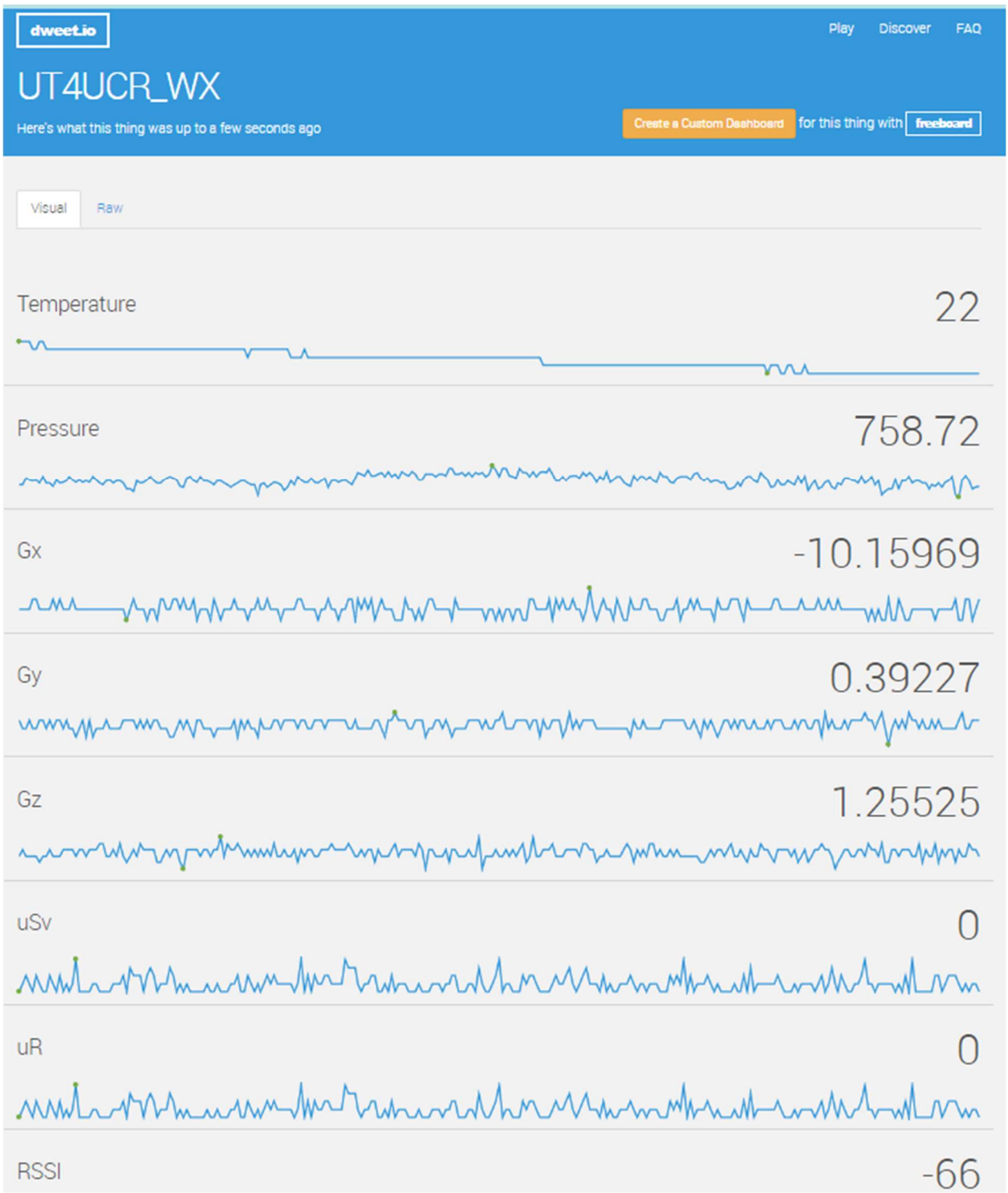


Рис. 4.3.10. Вивід результатів вимірювань модуль фонового моніторингу з акселерометром dweet.io

4.4. Результати вимірювань енергетичних характеристик наземних та супутникових каналів передачі даних на основі технології LoRa

4.4.1. Вимірювання покриття мережі передачі даних на основі технології LoRa з використанням проекту Meshtastic

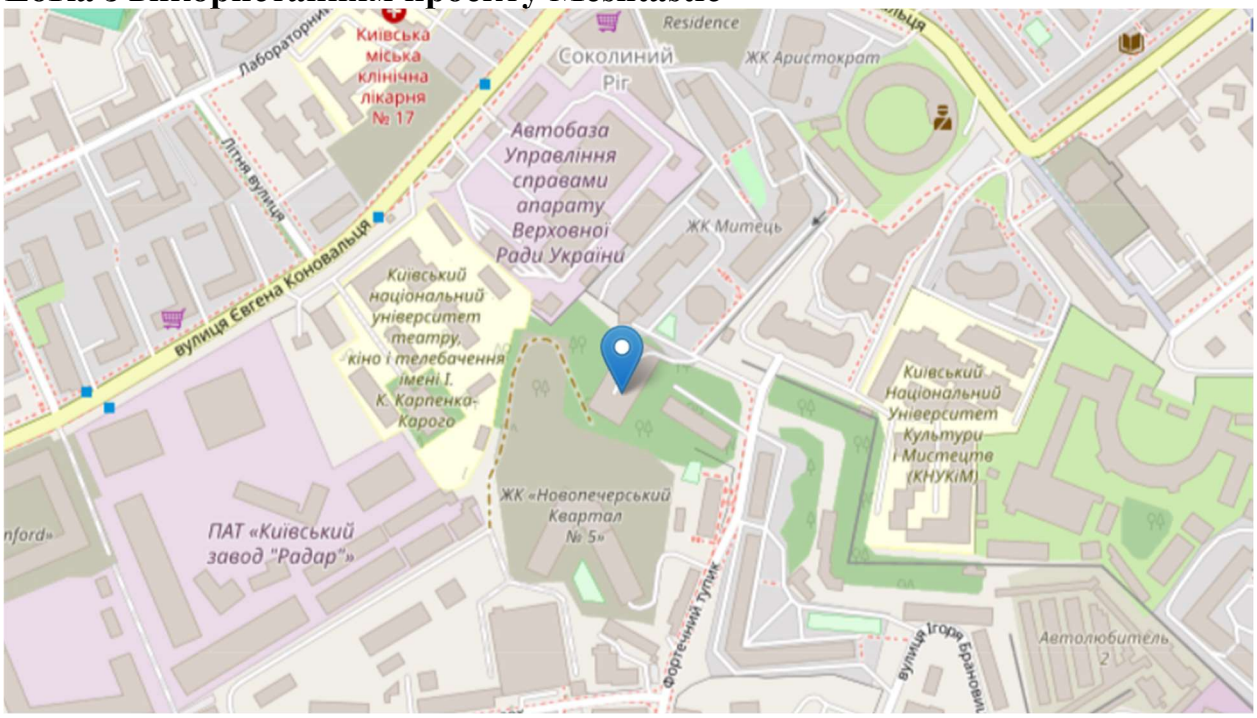


Рис.4.4.1.1. Розташування модулю зв’язку Lora 868МГц

На рисунку 4.4.1.1 зображено карту в місті Києві з точкою розташування модуля зв’язку Lora 868МГц в системі Meshtastic. На рисунку 4.4.1.2 зображений інтерфейс застосунку Meshtastic із списком користувачів з ID позивними. В застосунку видно таку інформацію по користувачам: заряд аккумулятора, рівень сигналу та дату останнього сеансу зв’язку, геолокаційні дані користувача, висоту.

Більше технічної інформації можна отримати з панелі отладки, яка знаходиться в розширеному меню. На рисунку 4.4.1.3 зображено фрагмент лог файлу при тестуванні діапазону покриття мобільною або базовою станцією Meshtastic, в рядку з ID відправника показані його геоданні, геоддані приймача, рівень сигналу, дистанція, кількість повторів посилки пакетів, також присутній результат проходження пакету.

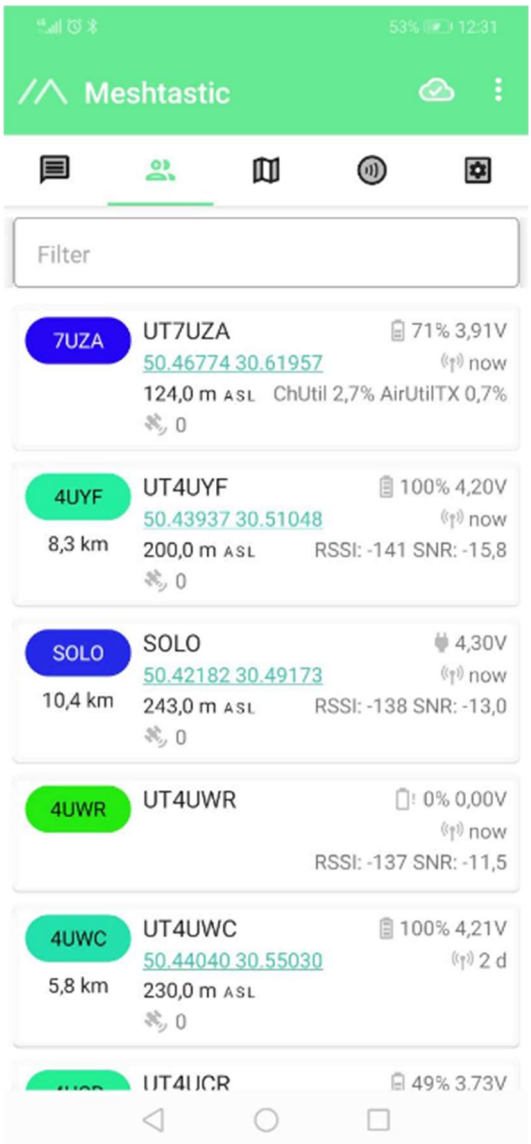


Рис. 4.4.1.2. Список користувачів у застосунку Meshastic, Lora 868МГц

date	time	from	sender name	sender lat	sender long	rx lat	rx long	rx elev	rx snr	distance	hop limit	payload
10.05.2024	13:42:49	3928285356	UT4UWC	50.4403998	30.5503	50.4677448	30.619565	124	-15,75	5765	3	<NODEINFO_APP>
10.05.2024	13:42:54	3928285356	UT4UWC	50.4403998	30.5503	50.4677448	30.619565	124	-15	5765	3	<TELEMETRY_APP>
10.05.2024	13:42:58	3928304360	SOLO	50.4218225	30.4917259	50.4677448	30.619565	124	-8,5	10385	5	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:43:04	3928288928	UT4UYF	50.4393698	30.5104799	50.4677448	30.619565	124	-9	8336	2	<NODEINFO_APP>
10.05.2024	13:44:59	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	12,5	6285	5	<NODEINFO_APP>
10.05.2024	13:44:59	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	10,75	6285	5	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:44:59	3928285356	UT4UWC	50.4403998	30.5503	50.4677448	30.619565	124	10,25	5765	2	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:46:03	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	11,25	6285	5	<NODEINFO_APP>
10.05.2024	13:46:23	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	12	6285	5	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:46:31	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	11,5	6285	5	<TRACEROUTE_APP
10.05.2024	13:46:34	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	12,5	6285	5	<ROUTING_APP>
10.05.2024	13:46:35	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	11,5	6285	5	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:46:36	3928304360	SOLO	50.4218225	30.4917259	50.4677448	30.619565	124	-16	10385	5	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:46:39	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	11	6285	5	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:46:42	3928285356	UT4UWC	50.4403998	30.5503	50.4677448	30.619565	124	-15,75	5765	2	<POSITION_APP>
10.05.2024	13:47:06	3928287680	UT5UUV	50.437	30.5449999	50.4677448	30.619565	124	14	6285	5	Hello
10.05.2024	13:47:51	3928285356	UT4UWC	50.4403998	30.5503	50.4677448	30.619565	124	-13	5765	2	<NODEINFO_APP>
10.05.2024	13:48:04	3928288928	UT4UYF	50.4393698	30.5104799	50.4677448	30.619565	124	-14,75	8336	2	<NODEINFO_APP>

Рис. 4.4.1.3. Фрагмент лог файлу тестування діапазону покриття в застосунку Meshtastic

На рисунку 4.4.1.3 зображено фрагмент лог файлу тестування діапазону покриття мережі Lora 868МГц до найближчих вузлів обміну. Ця інформація

дає змогу оцінити проходження сигналу в радіоканалі для кожної місцевості, особливо в умовах міської забудови міста Києва. Після аналізу даних проводимо повторні тести із зміною висоти роботи та підбору антени для кожного окремого випадку.

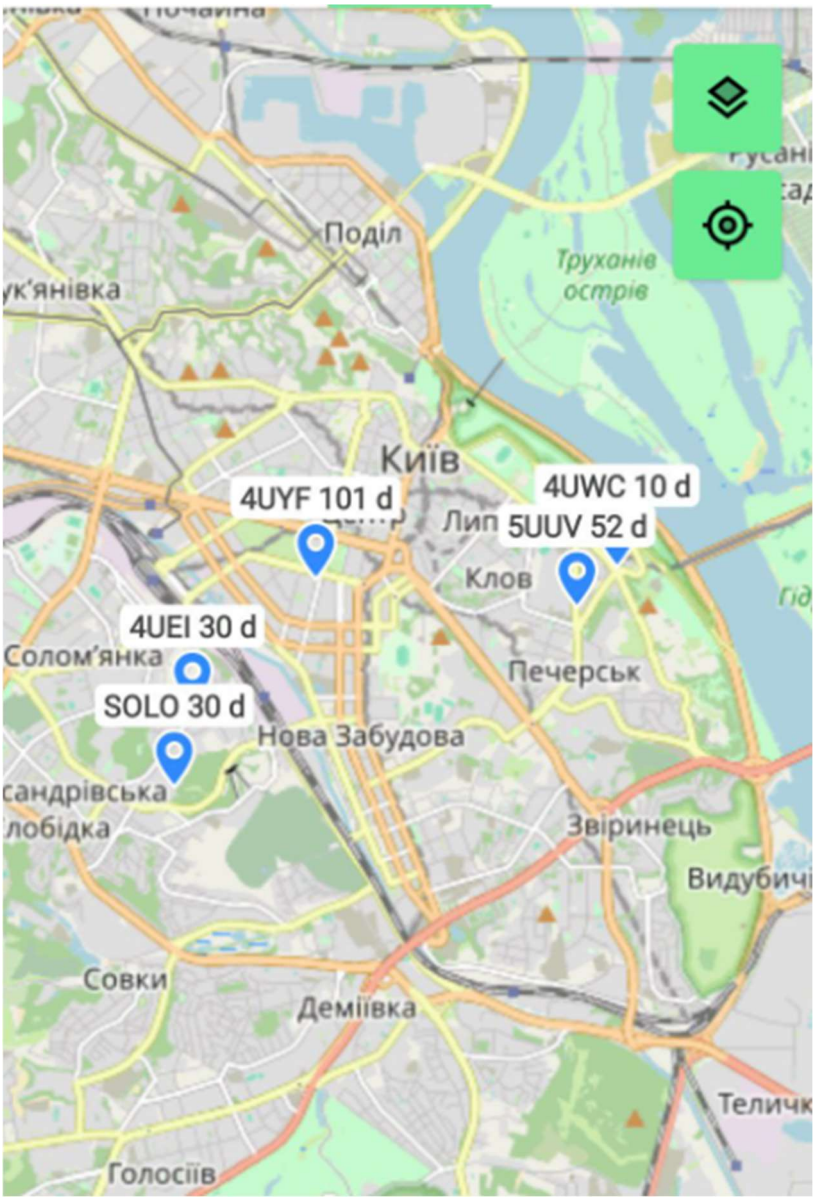


Рис. 4.4.1.4 Карта розташування вузлів Lora 868МГц (м.Київ, Печерськ)

На рисунку 4.4.1.4 зображена карта з росташованими вузлами зв'язку Lora 868МГц Meshtastic. Передача даних може відбуватись через декілька проміжних вузлів по маршруту найсильнішого рівня сигналу. Наприклад, від вузла SOLO до 4UWC пакет даних пройде через вузли 4UEI та 4UYF, але можливий і інший маршрут і через 5UUV. Форма маршрута залежить від умов в яких знаходиться кожний з вузлів, включаючи кінцевий, на рисунку 4.4.1.5

зображені можливі маршрути проходження сигналу (червоні та зелені стрілки).

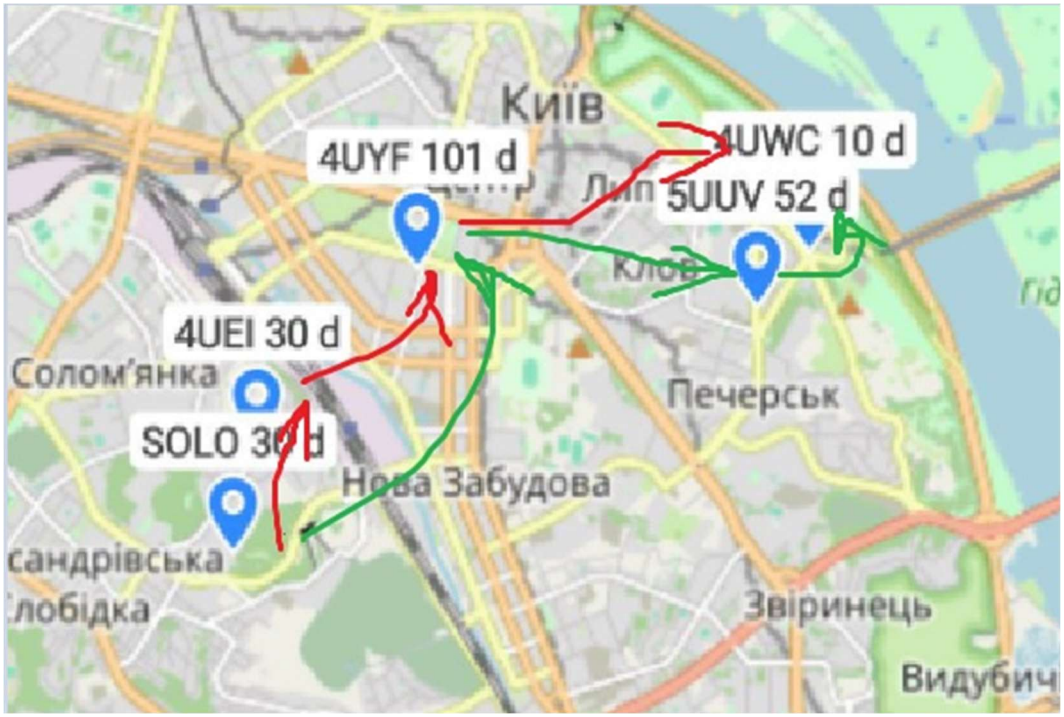


Рис. 4.4.1.5. Карта з прходженням сигналу між вузлами

Тобто сигнал може пройти через вузел 4UEI або оминути і зразу пройти через 4UYF і піти далі, це станеться у випадку якщо вузел 4UYF матиме кращі параметри прийому/передачі в даний проміжок часу.

4.4.2. Вимірювання покриття наземної станції супутникової ланки передачі даних на основі технології LoRa з використанням проекту TinyGS.

На рисунках 4.4.2.1-4.4.2.2 зображено карти покриття базовими станціями TinyGS в північній Америці та Європі. Як бачимо щільність в Європі найбільша, також видно прохід супутників.

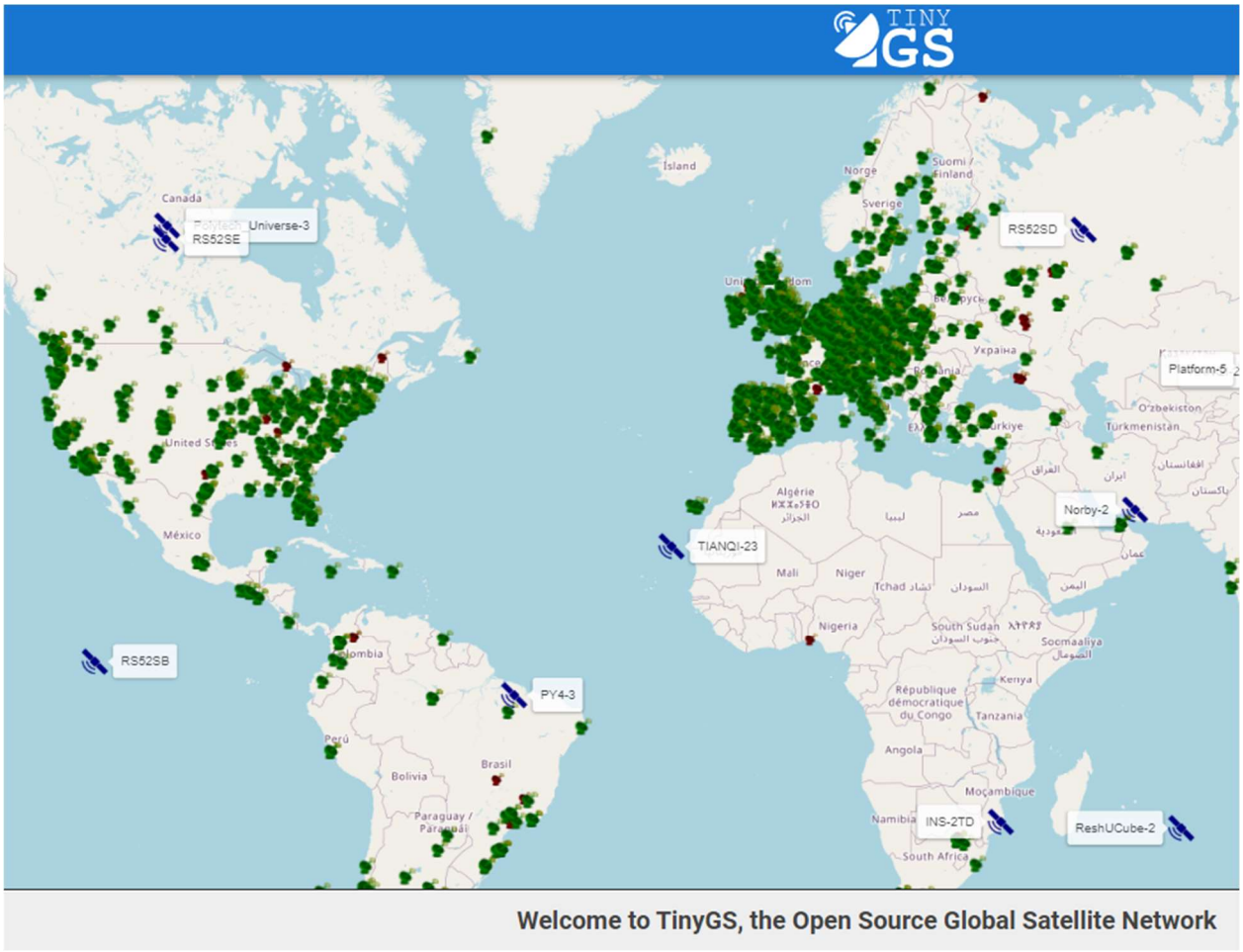


Рис. 4.4.2.1. Карта покриття базовими станціями, проект TinyGS, Америка та Європа

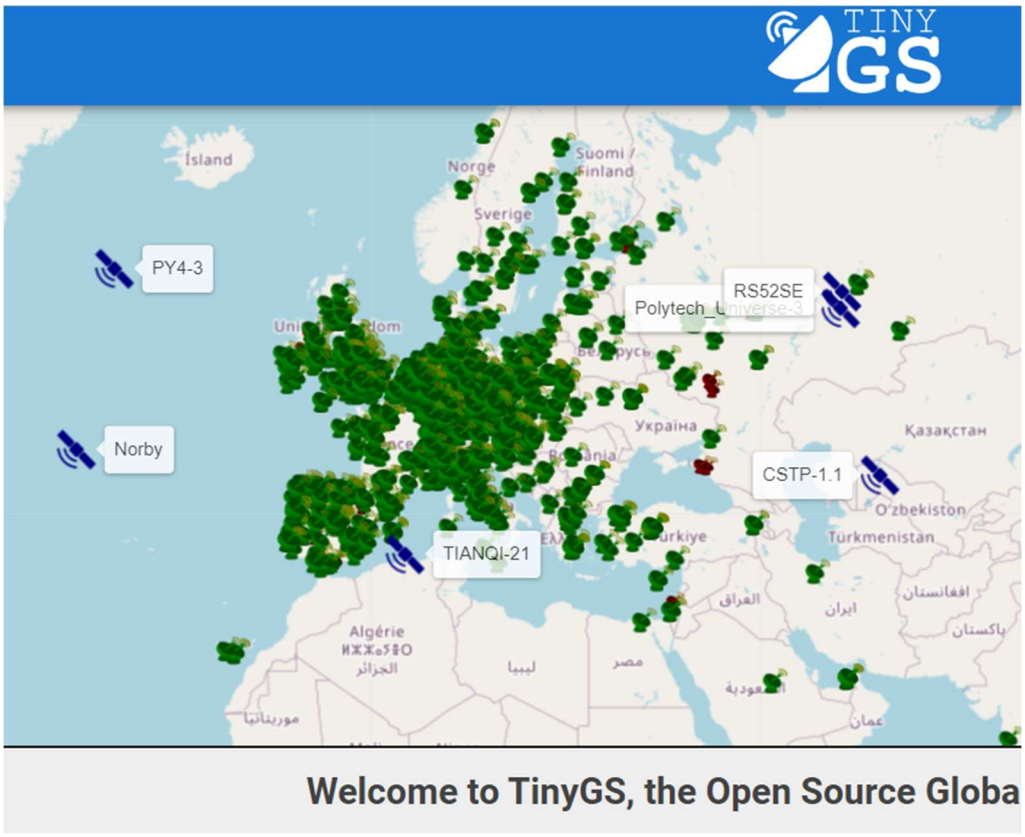


Рис. 4.4.2.2. Карта покриття базовими станціями та прохід супутників, проект TinyGS

На рисунку 4.4.2.3 зображено карту покриття базовими станціями TinyGS в місті Києві, видно декілька станцій (8шт), більшість з яких безпосередньо було встановлено і запущено за участю автора.

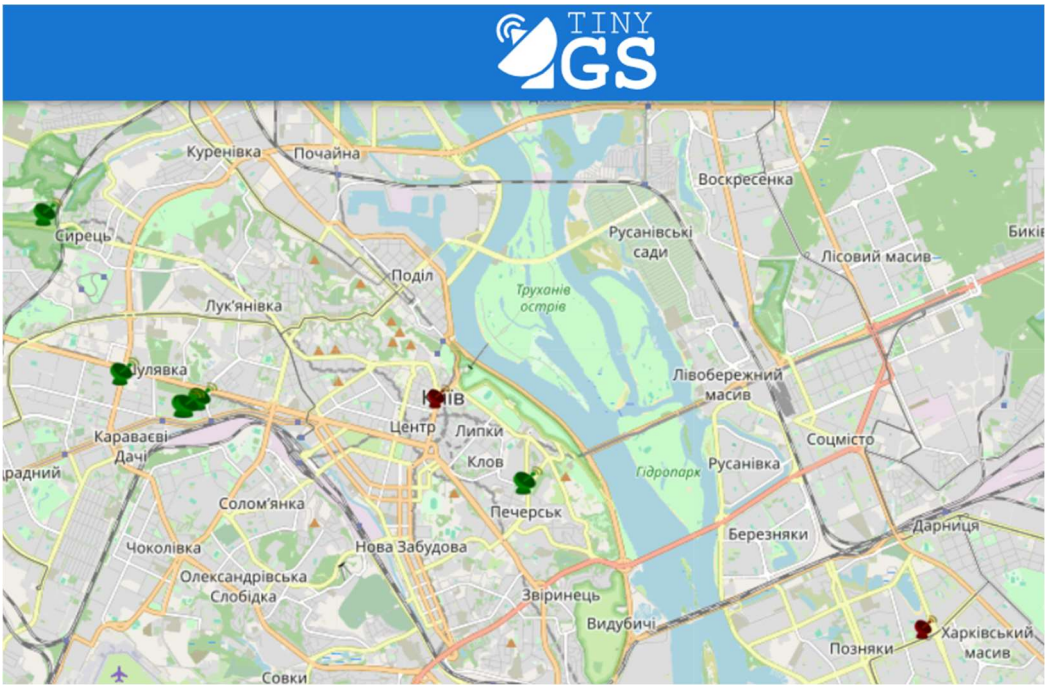


Рис. 4.4.2.3. Карта покриття базовими станціями TinyGS м. Київ, Україна

На рисунку 4.4.2.4 зображено дані базової станції UT4UCR (позивний автора роботи). З даних виділимо кількість прийнятих пакетів від супутників 7855 всього та 6843 з телеметричними даними, час роботи станції 4 місяці. Станція працює з цокольного приміщення забудови, тобто на рівні землі або навіть нижче на спроектовану широкосмугову антену з доволі якісним результатом. Прийом пакетів супутників ведеться в умовах міської забудови, що є успішним результатом. Для порівняння ряд станцій в Європі не приймають жодного пакету в умовах відкритого горизонту в сільській місцевості.

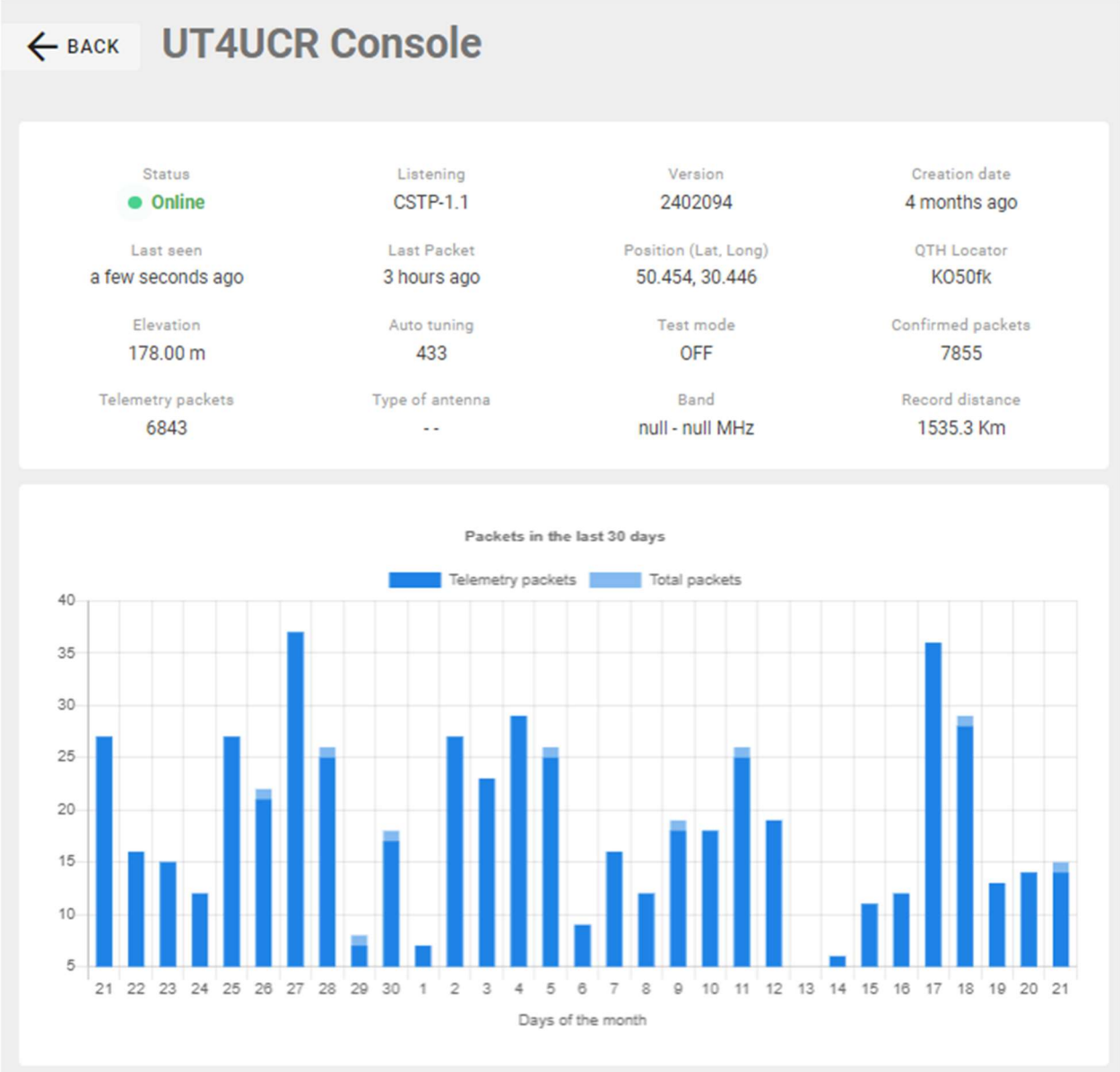


Рис. 4.4.2.4. Базова станція UT4UCR із статистикою прийому пакетів з супутників (TinyGS)

На рисунку 4.4.2.5 зображено дзеркало точок прийому супутників станціїї UT4UCR, розташування точок свідчить про закономірний прохід променів сигналу відносно проходу супутника зумовлену міською забудовою. На рисунку 4.4.2.6 зображено фрагмент статистики прийому пакетів з супутників (TinyGS). Зображення базової станції та антени з локальним місцем установки наведені в додатку 3.

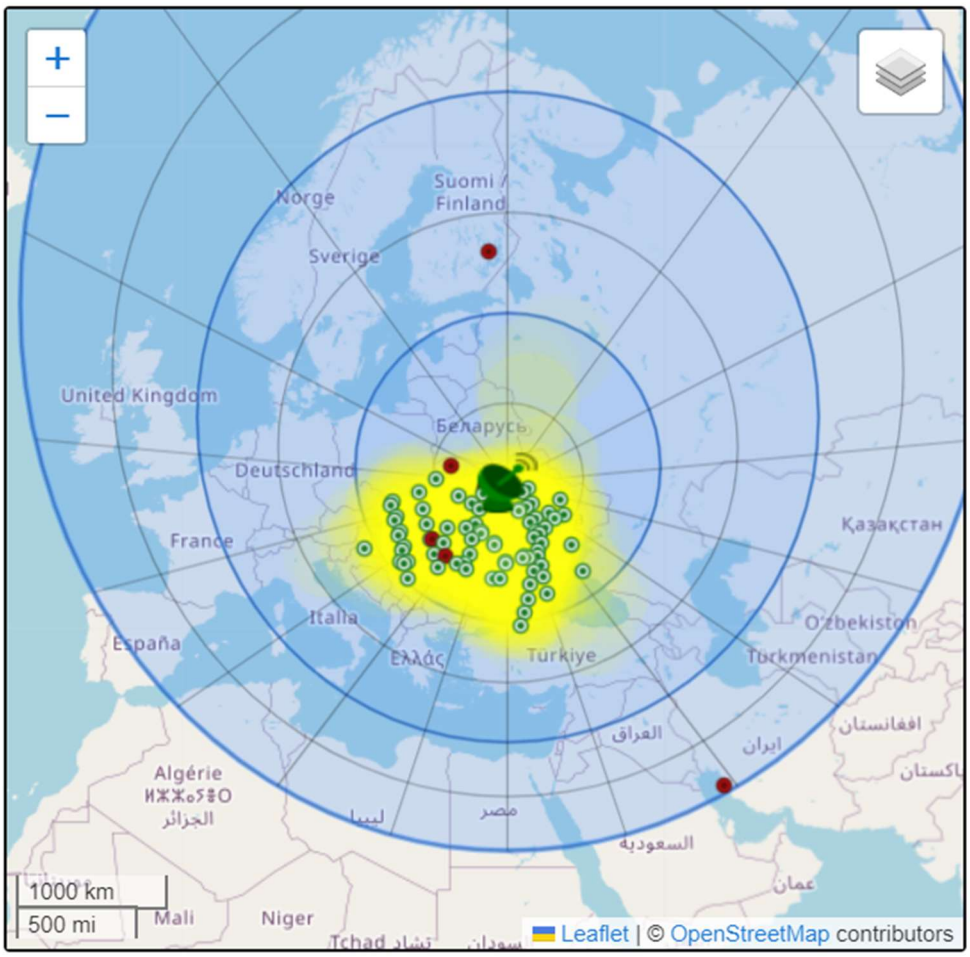


Рис. 4.4.2.5. Базова станція UT4UCR із візуалізацією точок прийому пакетів від супутників (TinyGS)

	Mode	Power	Distance	Elevation	RSSI	SNR	Predicted Doppler	Frequency Error
Tianqi-7 May 21, 2024 17:07:11 (3 hours ago)	LoRa@400.45	9000mW	1105Km	24.00°	-119.25 dBm	-9.25 dB	-6971.24Hz	3347.05Hz
GaoFen-19 May 21, 2024 12:47:15 (7 hours ago)	LoRa@400.45	9000mW	766Km	32.57°	-113.25 dBm	-10.25 dB	-6947.51Hz	3380.61Hz
GaoFen-19 May 21, 2024 12:47:01 (7 hours ago)	LoRa@400.45	9000mW	697Km	37.09°	-113.25 dBm	-11.25 dB	-6138.03Hz	2491.42Hz
Norby-2 May 21, 2024 10:48:50 (9 hours ago)	LoRa@436.5	6000mW	886Km	35.25°	-122.25 dBm	-5.25 dB	-7991.62Hz	6608.13Hz
Norby-2 May 21, 2024 10:47:49 (9 hours ago)	LoRa@436.5	6000mW	627Km	60.17°	-118.5 dBm	-2.5 dB	-3627.49Hz	1767.90Hz
RS52SE May 21, 2024 10:25:48 (9 hours ago)	LoRa@436.26	1000mW	783Km	40.79°	-131.5 dBm	-15.5 dB	-6915.22Hz	2778.73Hz
Polytech_Universe-3 May 21, 2024 10:24:50 (9 hours ago)	LoRa@436.55	800mW	786Km	41.80°	-129.75 dBm	-6.75 dB	-6951.72Hz	1772.09Hz
Polytech_Universe-3 May 21, 2024 10:24:48 (9 hours ago)	LoRa@436.55	800mW	776Km	42.55°	-130.25 dBm	-7.25 dB	-6834.82Hz	1637.88Hz
Norby May 21, 2024 04:09:58 (16 hours ago)	LoRa@436.703	2000mW	668Km	49.50°	-132.25 dBm	-12.25 dB	-2836.98Hz	283.12Hz

Рис. 4.4.2.6. Базова станція UT4UCR фрагмент статистики прийому пакетів з супутників (TinyGS)

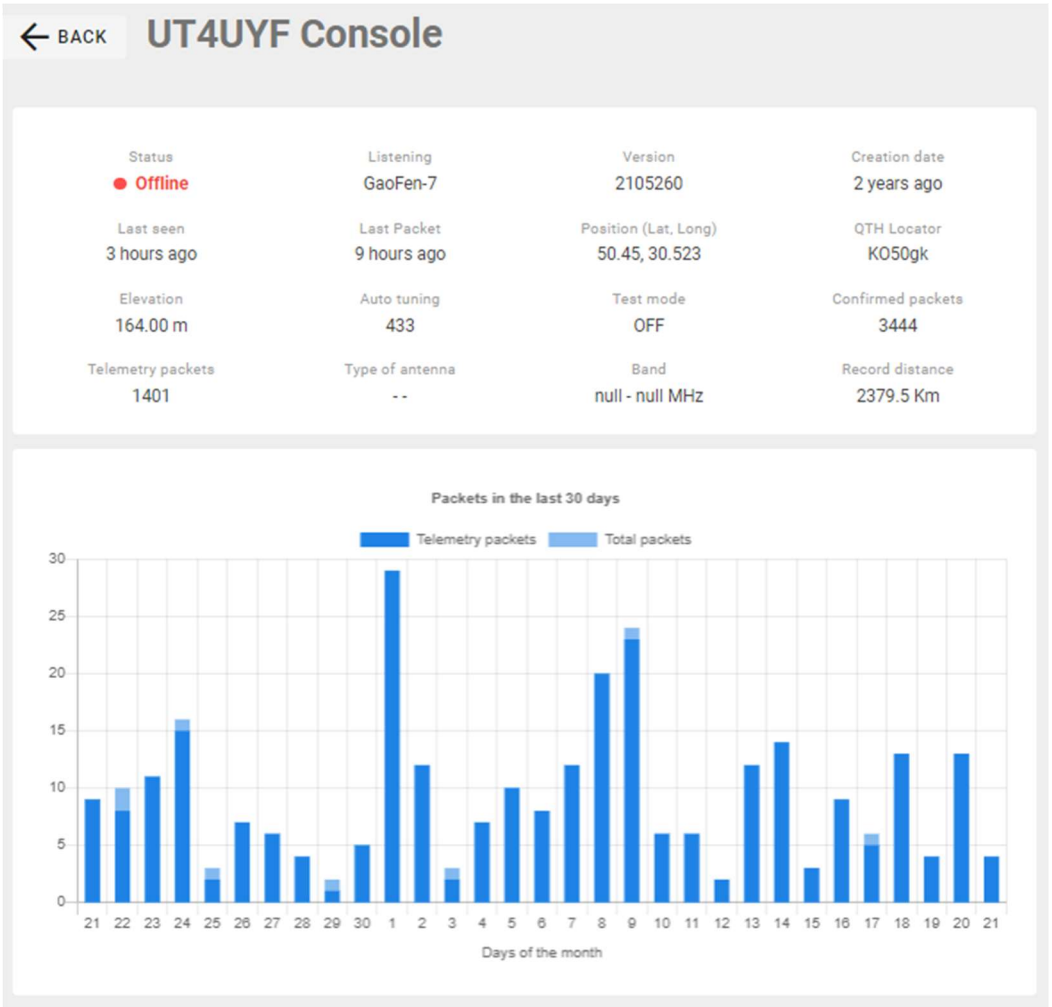


Рис. 4.4.2.7. Базова станція UT4UYF із статистикою прийому пакетів з супутників (TinyGS)

На рисунку 4.4.2.7 зображено статистику базової станції UT4UYF (колективний позивний НУХТ). Станція побудована 2 роки тому, прийняла 3444 пакети, має в своєму складі спроектовану антену конструкції Ground plane, що дало можливість приймати пакети супутників при закритому горизонті з більш високою забудовою. На рисунку 4.4.2.8 зображено дзеркало точок прийому супутників станції UT4UYF, чітко прослідковується сектор відкритої частини горизонту.

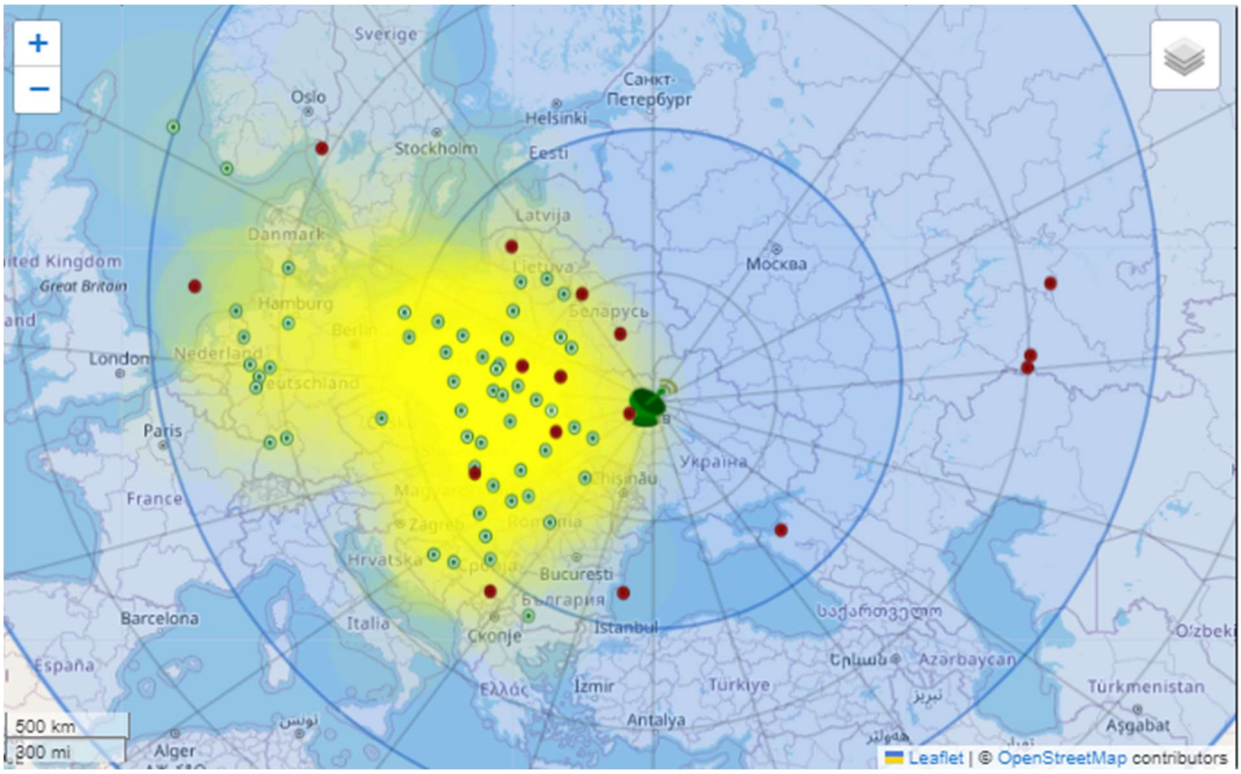


Рис. 4.4.2.8. Базова станція UT4UYF із візуалізацією точок прийому пакетів від супутників (TinyGS)

Зображення базової станції UT4UYF та антени з локальним місцем установки наведені в додатку 3.

4.5. Результати вимірювань автоматизованим модулем фонового моніторингу сонячної радіації

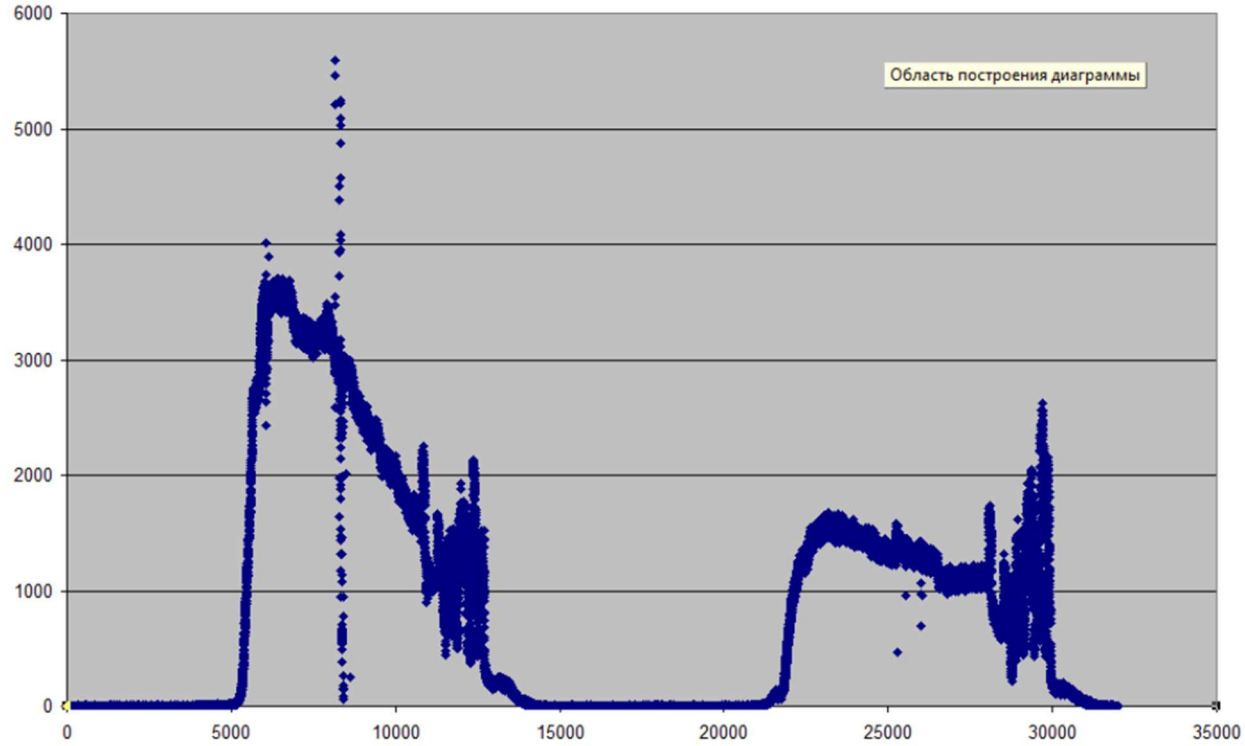


Рис.4.5.1. Графік сплесків сонячної радіації 5 травня 2023р

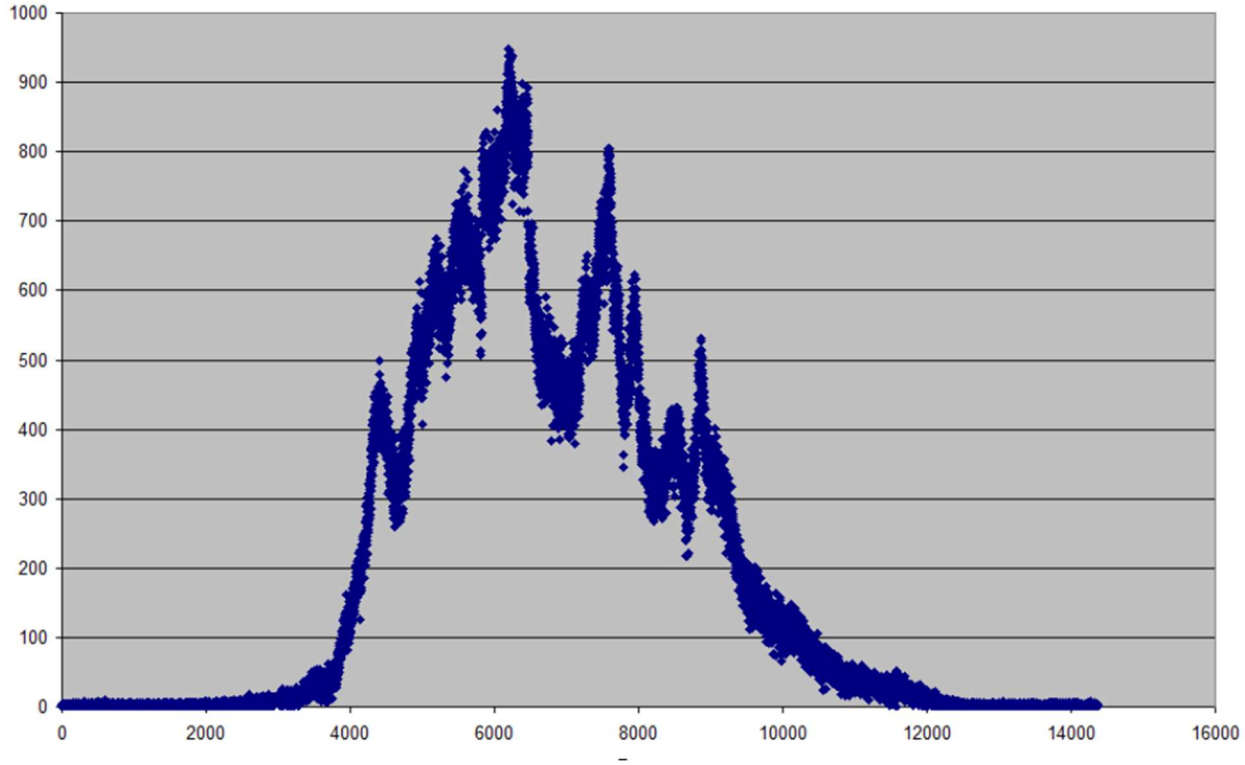


Рис.4.5.2. Графік сплеску сонячної радіації 7 травня 2023р

На рисунку 4.5.1 зображено графік із сплеском сонячної радіації 5 травня 2023 року, дані отримані із модуля фонового моніторингу. На графіку

спостерігаються два піки. На рисунку 4.5.2 зображено графік сплеску сонячної радіації 7 травня 2023 року. На графіку спостерігається один пік.

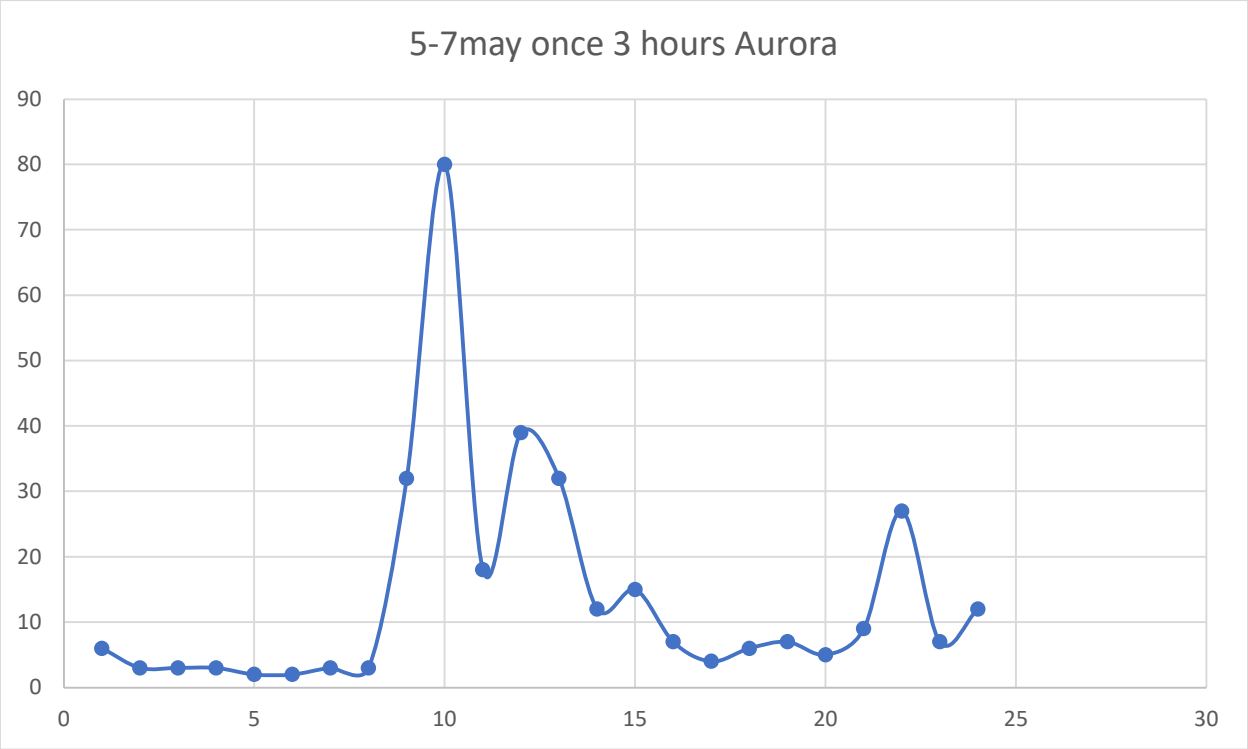


Рис.4.5.3. Графік сплеску сонячної радіації 5-7 травня 2023р NASA Aurora

Провівши порівняльний аналіз з іншими джерелами моніторингу сонячної радіації, а саме NASA архів. Фрагмент лог файлу с датою що нас цікавить було завантажено з ресурсу kp.gfz-potsdam.de. На рисунку 4.5.3 зображено графік з двома сплесками 5-7 травня, що отримав назву NASA Aurora. Як бачим, отримані дані з модуля фонового моніторингу аналогічні тим, що були зафіксовані агенцією NASA. Таким чином можемо зробити висновок, що робота модуля фонового моніторингу є продуктивною і має достатньо високий рівень довіри. Також треба підкреслити, що склад сенсорів модуля, а особливо лічильник Гейгера з трубкою J305, є практично вдалим для такого типу вимірювань.

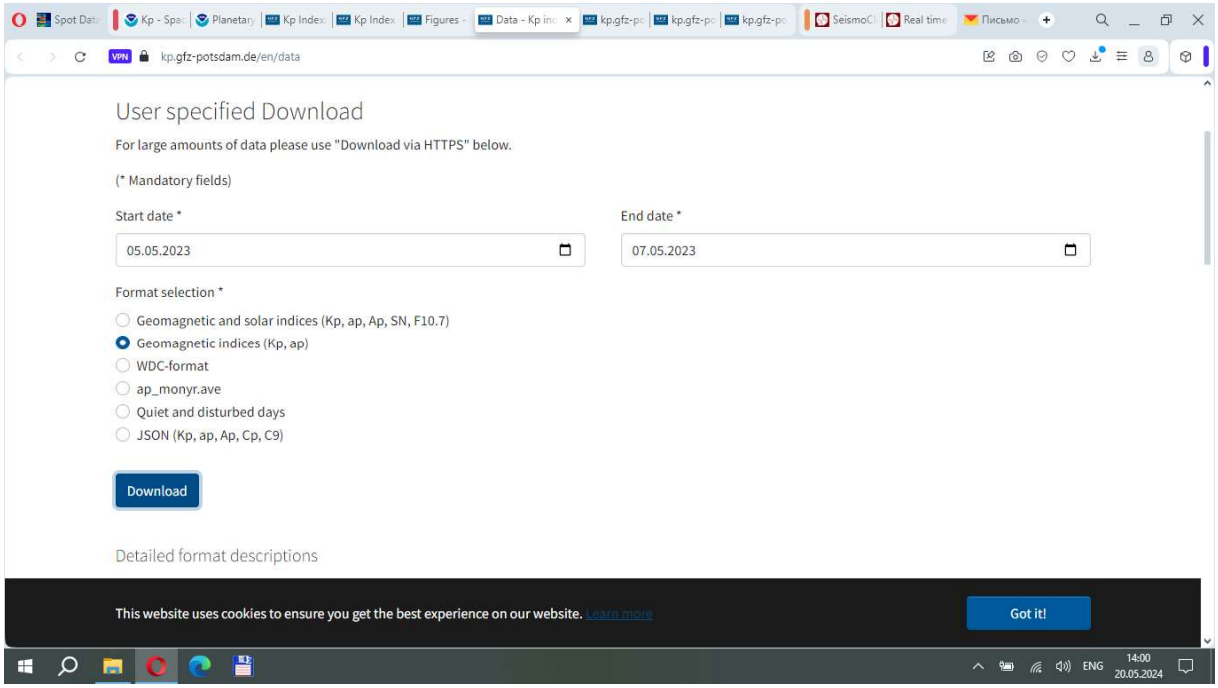


Рис.4.5.4. Джерело завантаження сонячної радіації 5-7 травня 2023р NASA Aurora

Висновки

Підтверджено роботу сенсорів з оптимальним електроспоживанням та побудовано гіпотезу стосовно достатніх параметрів існуючого освітлення для киснегенеруючих водоростей.

Автоматизований роботизований комплекс керування сенсорами випробувано в Україні в Києві, Луганській області, Волинській області і отримані нові уточнені карти забруднення за бета від 15KEV.

Звірено покази системи автоматизованого керування збором метеоданих та радіометричних з NASA під час Сонячних збурень в травні 2023 року.

За 4 роки експерименту авторської метеостанції з удосконаленою системою керування та експорту у ХС задокументовані дані стосовно змін клімату у місті Києві.

Отримані нові дані із наземних станцій супутникового зв'язу із застосуванням LoRa та особливими антенами у середині приміщення.

Удосконалено комірчасту (MESH) комп'ютерну мережу мобільних станцій передачі даних в ISM діапазоні 868Мгц із застосуванням LoRa.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи розв’язане важливе наукове завдання розробки інформаційної технології для автоматизованого адаптивного моніторингу за станом обмеженої екосистеми із використанням хмарних та IoT технологій. Це дозволило підвищити достовірність оцінювання техногенного впливу на екологічний стан обмежених екосистем за рахунок раціонального розподілу сил і засобів автоматизованого адаптивного екологічного моніторингу обмеженої екосистеми із використанням хмарних та IoT технологій.

У процесі виконання досліджень було отримано наступні супутні науково-прикладні результати:

1. Запропоновано нову формалізовану модель управління автоматизованими системами збору даних та прийняття рішень в умовах невизначеності на основі розподіленої мережі статичних та динамічних сенсорів, що дає змогу збільшити достовірність даних та розширити спектр застосування системи в цілому.

2. Удосконалено систему збору даних на основі дублювання каналів передачі та комірчастої (MESH) комп’ютерної мережі мобільних станцій в ISM діапазоні 868Мгц із застосуванням малопотужних модулів LoRa, які інтегровані в супутникові і наземні мережі, що значно збільшило живучість та забезпечило надійність автоматизованих систем керування комплексів збору даних.

3. Знайшли подальшого розвитку автоматизовані роботизовані комплекси керування сенсорами в Україні в Києві, Луганській області, Волинській області, які базуються на визначенні нових станів обмеженої екосистеми та ідентифікацію, що дозволило отримати нові уточнені карти забруднення за бета та гама від 15KEV.

4. Удосконалено алгоритм ідентифікації стану екосистеми на базі аналізу обмежених скалярних полів, елементів образного та дискримінантного (статистичного, кореляційного, регресійного) аналізу, що дозволило розширити зону покриття моніторингу системи.

5. Розроблено інтегровану систему автоматизованого адаптивного моніторингу обмежених екосистем з використанням хмарних технологій та Інтернету речей, яка включає інформаційно-телекомунікаційні ланки та розподілені системи збору і оброблення даних, керування енергоспоживанням сенсорних блоків, що призводить до збільшення об'єму та точності даних, зниження часу оперативного розгортання та зниження вимог до систем електроживлення на більш ніж 50%.

Результати роботи доцільно використати для підрозділів екологічного моніторингу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Державної служби України з надзвичайних ситуацій, що планують та здійснюють заходи з екологічного моніторингу та екологічну експертизу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скопецький В. В. Інформаційні технології в екології (Розвиток та порівняльна характеристика) / В.В. Скопецький // 50 років Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України: пр. Міжнар. конф., Україна, Київ, 24 – 26 груд. 2008 р. – К., 2008. С. 122–125.
2. Чумаченко С. М., Парталян А. С., Мошенський А. О., Сукало М. Л., Філатова Л. Д. Автоматизована система передачі даних про стан об’єктів критичної інфраструктури із застосуванням сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій [Електронний ресурс] // Інженерія природокористування. 2021. № 3 (21). С. 127–135. Режим доступу: http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/37081/1/3-51.pdf.
3. SaveEcoBot [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.saveecobot.com (доступ 21 січня 2023 р.).
4. Iqair – company [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.iqair.com (доступ 21 січня 2023 р.).
5. Narodmon monitoring [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.eu.narodmon.com (доступ 21 січня 2023 р.).
6. Sensor community [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.sensor.community (доступ 21 січня 2023 р.).
7. Purpleair monitoring [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.purpleair.com (доступ 21 січня 2023 р.).
8. Варламов Є. М. Автоматизовані системи екологічного контролю і моніторингу об’єктів підвищеної екологічної небезпеки / Є. М. Варламов // Экология и промышленность. 2008. № 3. С. 83-87. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom_2008_3_18 (доступ 21 січня 2023 р.).
9. Сергієнко І. В. Методи оптимізації та системного аналізу для задач трансобчислювальної складності. К.: Академперіодика, 2010. 293 с.

10. Сергієнко І. В., Задірака В. К., Литвин О. М. Елементи загальної теорії оптимальних алгоритмів та суміжні питання. К.: Наук. думка, 2012. 400с.

11. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. Київ: Видавнича група BHV, 2007. 544 с.

12. Dovgiy S., Kopiika O., Kozlov O., & Lytvynenko A. (2023). Інформаційні технології IT-сервісів архітектури додатків. Екологічна безпека та природокористування, 47(3), 75–93. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.3.75-93.

13. Довгий С., Копійка О., & Козлов О. (2023). Передача інформації в автоматизованих системах спеціального призначення. Екологічна безпека та природокористування, 45(1), 76–90. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.76-90.

14. Trofymchuk O. M., Bidyuk P. I., Prosyankina-Zharova T. I., Terentiev O. M. Forecasting nonstationary processes in demography, ecology, economy and finances. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: колективна монографія / ред. С. О. Довгий. Київ: Юстон, 2018. С. 113–123.

15. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Д.: Континент L., 2002. Ч.1. Основы мониторинга. 208 с.

16. Mahamad K., Masuriwong P., Petlamul W. Application of Smart Farm System to Enhance Phoenix Oyster Mushroom Production // ASEAN Journal of Science and Technology for Development. 2021. Vol. 24, No. 3. P. 47-57.

17. Брайон Ф. В., Гордецкий А. В., Брайон А. П. Словарь-справочник по экологии. К.: Наук. думка, 1994. 666 с.

18. Watjanatepin N., Srisongkram W., Wongsuriya W., Sukthang K., Boonmee C., Kiatsookkanatorn P. (2023). Automated Agricultural Greenhouse with PV Energy Using IoT-Based Monitoring System // International Journal of

Renewable Energy Research. Vol. 13. P. 1581-1591. https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i4.14228.g8836.

19. Khoa N. M., Dai L. V., Toan N. A., Tung D. D. A New Design of IoT-Based Network Architecture for Monitoring and Controlling Power Consumption in Distribution Grids // International Journal of Renewable Energy Research. 2021. Vol. 11, No. 3. P. 1460-1468. https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i3.12337.g8293.

20. Qiang L., Wang J. Research on Garden Ecosystem Based on Monitoring Sensing Technology // Journal of Sensors. 2022. P. 1-10. https://doi.org/10.1155/2022/8294416.

21. Texus Instruments Company. Datasheet on LM35 precision centigrade temperature sensors [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf.

22. Janne S., Pia B., Jani H. Toward more integrated ecosystem research in aquatic and terrestrial environments // Bioscience. 2015. Vol. 65, No. 2. P. 174–182.

23. Стан природно-техногенної безпеки України та основні напрями підвищення її рівня // Надзвичайна ситуація. Додаток. 2001. № 2. 96 с.

24. Hoque E. M. J., Ahmed M., Hannan S. An Automated Greenhouse Monitoring and Controlling System using Sensors and Solar Power // European Journal of Engineering Research and Science. 2022. Vol. 5, No. 4. DOI: http://dx.doi.org/10.24018/ejers.2020.5.4.1887.

25. Sacaleanu D. I. et al. Integrated Platform for Ecosystems Monitoring Based on Remote and in Situ Measurements // IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Waikoloa, HI, USA, 2020. P. 4271-4274. DOI: 10.1109/IGARSS39084.2020.9323113.

26. Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. Класифікатор надзвичайних ситуацій в Україні. – К.: 1998. – 179 с.

27. Tejan P. K., Kain S. Smart community maintenance ecosystem with self-reporting and self-diagnostic IoT sensors // 2018 International Conference on

Smart City and Emerging Technology (ICSCET), Mumbai, India, 2018. pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICSCET.2018.8537331.

28. Abdulkarem M., Samsudin K., Rokhani F.Z. et al. Wireless sensor network for structural health monitoring: a contemporary review of technologies, challenges, and future direction // Struct Health Monit. 2020. Vol. 19. pp. 693–735.

29. Огірко О. І., Галайко Н. В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. – Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с.

30. Крайнюков О. М. Особливості системи нормування антропогенного забруднення поверхневих вод в Україні та країнах ЄС // Молодий вчений. 2016. №3 (30). С. 300–303.

31. Destania Y., Jaharuddin, Sianturi P. Stability Analysis of Plankton Ecosystem Model: Affected by Oxygen Deficit // Applied Mathematical Sciences. 2015. Vol. 9, Issue 81. pp. 4043–4052.

32. Данілов Володимир Якович. Статистична обробка даних: навчальний посібник. 2019. – 156 с.

33. Novák M. et al. Multisensor UAV System for the Forest Monitoring // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020. pp. 293-296. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208993.

34. Nowshin N., Hasan M. S. Microcontroller Based Environmental Pollution Monitoring System though IoT Implementation // 2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), DHAKA, Bangladesh, 2021. pp. 493-498. DOI: 10.1109/ICREST51555.2021.9331020.

35. Kornaros G., Bakoyiannis D., Tomoutzoglou O. Smart Manufacturing Maintenance through LoRaWAN-based Ecosystem // 2023 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom), Dubrovnik, Croatia, 2023. pp. 193-198. DOI: 10.1109/MeditCom58224.2023.10266400.

36. Сергієнко І.В. Математичні моделі і методи вирішення задач дискретної оптимізації. – К.: Наук. думка, 1985. – 384 с.

37. Коничів О.О. Управління процесами очищення та іонізації повітря. – Київ: Наук. думка, 1986. – 104 с.

38. Кудінов В. О. Заповідна справа: навчальний посібник. – Одеса: Наука і техніка, 2012. – 163 с.

39. Національна доповідь про стан формування національної екологічної мережі України за 2006–2014 роки. – Херсон: Грінь Д. С., 2014. – 200 с.

40. Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки: Закон України від 21.09.2000 р. № 1989-III // Відомості Верховної Ради України. 2000. № 47. С. 405.

41. Стейн Ж. Всеєвропейська екологічна мережа. Збереження та моніторинг біологічного та ландшафтного різноманіття в Україні: матеріали міжн. конф. (м. Київ, 19–20 червня 2000 р.). Київ: Національний екологічний центр України, с. 22–25.

42. Корогода Н. П. Використання ГІС при проектуванні екомереж // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Географія. 2005. Вип. 51. С. 47–48.

43. Richards F. A., Thompson T. G. The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. II Spectrophotometric method for estimation of plankton pigments // Journal of Marine Research. 1952. Vol. 11, № 2. P. 156–172.

44. Мікроконтролер ATmega328P. Technical Datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf (дата звернення: 15.11.2023).

45. Датчик BME680. Technical Datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme680-ds001.pdf (дата звернення: 12.10.2023).

46. Датчик BME280. Technical Datasheet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf (дата звернення: 12.10.2023).

47. LILYGO® T-Beam V1.1. ESP32 LoRa Wireless Module [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.lilygo.cc/products/t-beam-v1-1-esp32-lora-module (дата звернення: 12.10.2023).

48. LoRaWAN Mesh Networks: A Review and Classification of Multihop Communication / Jeferson Rodrigues Cotrim, João Henrique Kleinschmidt [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7435450/pdf/sensors-20-04273.pdf (дата звернення: 23.12.2023).

49. Контролер DW01 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://arduino.ua/docs/DW01plus.pdf (дата звернення: 21.01.2023).

50. Регулятор MCP1700T [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1700-Low-Quiescent-Current-LDO-20001826E.pdf (дата звернення: 21.01.2023).

51. Чумаченко С. М., Валуйський С. В., Тесленко О. М., Лисенко О. І. Концепція автоматизованої краудсорсингової системи моніторингу надзвичайних ситуацій на об’єктах критичної інфраструктури міста // Науковий вісник Академії муніципального управління. Серія: Техніка. - 2014.

52. LoRa Alliance. LoRaWANTM 1.0 Specification. 2015 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://lora-alliance.org/resourcehub/lorawanr-specification-v10 (дата звернення: 30.12.2023).

53. LoRa Alliance. LoRaWANTM 1.0.3 Specification. 2018 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://lora-alliance.org/resourcehub/lorawanr-specification-v103 (дата звернення: 30.12.2023).

54. LoRa Alliance. LoRaWANTM 1.1 Specification. 2017 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://lora-alliance.org/resourcehub/lorawanr-specification-v11 (дата звернення: 30.12.2023).

55. LoRaWAN – based on radar technology [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.rohde-schwarz.com (дата звернення: 21.01.2024).

56. Romaniuk A., Romaniuk V., Sparavalo M., Lysenko O., Zhuk O. Synthesis of data collection methods by telecommunication air platforms in wireless sensors networks // Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, No. 2. P. 63–73. https://doi.org/10.20535/2411-2976.22020.63-73.

57. Alekseeva I. V., Lysenko O. I., Tachinina O. M. Necessary optimality conditions of control of stochastic compound dynamic system in case of full information about state vector // Математичні машини і системи. 2020. № 4. P. 136–147. DOI: 10.34121/1028-9763-2020-4-136-147. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2020/2020_4/Alekseeva_04_20.pdf.

58. Romaniuk V., Lysenko O., Romaniuk A., Zhuk O. Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV // Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 102–107. https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.102-107.

59. Uryvsky L., Lysenko O., Novikov V., Osypchuk S. Control Methods Research of Indicators for Intelligent Adaptive Flying Information Telecommunication Platforms in Mobile Wireless Sensor Networks // Future Intent-Based Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering: monograph / Editors by M. Klymash, M. Beshley, A. Luntovskyy. Springer, Cham, 2022. Vol. 831. Pp. 444–467. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5_25.

60. Uryvsky L., Moshynska A., Solianikova V., Shmigel B. Application of the Classical Noise Immunity Theory for Prediction of the Parameters of Perspective Multiservice Telecommunications in Accordance with Modern Digital Standards // Current Trends in Communication and Information Technologies: monograph. Springer, Cham, 2021. Pp. 38–59. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_3.

61. Uryvsky L., Osypchuk S., Moshynska A. Improving the Structural Reliability of Mobile Radio Networks Based on the Ad-Hoc Algorithms // Data-

Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies: monograph / Editors by D. Ageyev, T. Radivilova, N. Kryvinska. Springer, Cham, 2021. Vol. 69. Pp. 21–42. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_2.

62. Tachinina O., Lysenko A. Algorithms of controlling an information robot created on the basis of unmanned aerial vehicles // Advances in aerospace technology. 2020. Vol. 83, No. 2. P. 13–19. https://doi.org/10.18372/2306-1472.83.14629.

63. "Чисте повітря для України"- програма [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://cleanair.org.ua (доступ 21.01.2023).

64. Eco City – карта моніторингу якості повітря [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.eco-city.org.ua (доступ 21.01.2023).

65. LoRA [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.semtech.com (доступ 21.01.2023).

66. TTN Mapper [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ttnmapper.org (доступ 21.01.2023).

67. АСЕМ ПАРУС [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ua-systems.com.ua (доступ 21.01.2023).

68. Luftdaten.info [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://luftdaten.info (доступ 22.01.2023).

69. OpenSenseMap [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://opensensemap.org (доступ 22.01.2023).

70. Arduino.ua [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.arduino.ua (доступ 21.01.2023).

71. iot-devices [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://iot-devices.com.ua (доступ 21.01.2023).

72. mini-tech [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.mini-tech.com.ua (доступ 21.01.2023).

73. Маначинський О. Екологічна зброя: за матеріалами Під тексту // Народна армія. – 1997. – 4 грудня. – С. 3.

74. APRS [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.aprs.fi (доступ 21.01.2023).

75. HABHUB [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.habhub.org (доступ 15.03.2023).

76. MMANA-GAL Basic [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://gal-ana.de/basicmm/en/ (доступ 15.03.2023).

77. Агаркова Н. В., Качинський А. Б. та ін. Екологічна безпека. Регіональний вимір екологічної безпеки України з урахуванням загроз виникнення техногенних і природних катастроф. Київ: НІСД, 1996. 82 с. (Сер. Екологічна безпека, вип. 2).

78. О. Медведєва, В. Кропівний, Т. Мірзак, Я. Немировський. Системний аналіз якості навколишнього середовища. Навчальний посібник для студентів спеціальності 101 Екологія. – Кропивницький: 2021. – 80 с.

79. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень в екології: Зб. наук. пр. Київ: АН УРСР, 1991. 77 с.

80. Люкшин В. С., Камзист Ж. С., Коваленко А. В. Методика геолого-екологічних досліджень. Київ: КГРТ, 1996. 416 с.

81. Скуріхін В.І., Квачов В.Г., Валькман Ю.Р., Яковенко Л.П. Інформаційні технології в випробуваннях складних об'єктів: Метод і засоби. - Київ: Наукова думка, 1990. - 318 с.

82. Экология и экономика: Справочник / О.Ф. Балацкий и др. Под общ. ред. К.М. Сытник. – К.: Политиздат Украины, 1986. – 308 с.

83. Первєєв О.В. Автоматизований моніторинг об’єктів навколишнього середовища: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.07 / Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – Київ, 1998. – 18 с.

84. Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища: Підручник. – К.: Либідь, 1996. – 304 с.

85. Набиванец Б.И., Мазуренко Е.А. Хроматографический анализ. – Киев: Вища школа, 1979. – 264 с.

86. TinyGS [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.tinygs.com (доступ 15.03.2023).

87. Химические катастрофы и екологія / Губский Ю.И., Долго-Сабуров В.Б., Храпак В.В.– К.: Здоров'я, 1993. – 224 с.

88. Преждо В.В., Ткач Г.А., Кратенко І.С., Ківвa Ф.В., Шило В.В. Екологічний словник: Навч. посібник. – Х.: Харківський державний академічний машинобудівний університет, 1999. – 416 с.

89. Преждо В.В., Ткач Г.А., Кратенко І.С., Ківвa Ф.В., Шило В.В. Екологічний словник: Навч. посібник. – Х.: Харківський державний академічний машинобудівний університет, 1999. – 416 с. – Рос. мовою.

90. Derman V. A., Sukalo M. L. Method of justification of the necessary number of environmental monitoring tools and optimization of their location places. Технології та інжиніринг, № 4(15), 2023 // https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.2

91. Balanis C.A. Antenna Theory Analysis And Design 2nd Ed 1997 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://pws.npru.ac.th/sartthong/data/files/%5BENG_C.A.Balanis%5D_Antenna.Theory.Analysis.and.Design_2ed_(Wiley_1997).pdf

92. Heltec WiFi LoRa 32 V2. ESP32 with LoRa and OLED screen. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://nettigo.eu/products/heltec-wifi-lora-32-v2-esp32-lora-oled-0-96 (дата звернення: 12.10.2023).

93. Сенсор MQ-135. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf (дата звернення: 12.10.2023).

94. Сенсор MQ-2. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ-2%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf (дата звернення: 12.10.2023).

95. Сенсор MQ-9. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.winsen-sensor.com/sensors/co-sensor/mq-9b.html (дата звернення: 12.10.2023).

96. Сенсор MQ-7. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.winsen-sensor.com/sensors/co-sensor/mq-7b.html (дата звернення: 12.10.2023).

97. Сенсор MQ-5. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.winsen-sensor.com/d/files/MQ-5.pdf (дата звернення: 12.10.2023).

98. Акселерометр ADXL345 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl345.pdf. (Дата звернення: 12.10.2023).

99. Мікроконтролер ESP8266 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf. (Дата звернення: 12.10.2023).

100. Контролер TP4056 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf. (Дата звернення: 12.10.2023).

101. Конвертер MT3608 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf. - Дата звернення: 12.10.2023.

102. Kawakami, H., Sato, G., & Masters, R. (1984). Characteristics of TV transmitting batwing antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 32(12), 1318–1326.

103. Sato, G., & Kawakami, H. (1989). Research on transmitting antennas. IEEE Antennas and Propagation Society Newsletter, 31(3), 5–12.

104. Batwing antennas radiate high power television signals. (1956). Electrical Engineering, 57(3), 304–305.

105. Ben-dov, O. (1976). New Turnstile antennas for horizontal and circular polarization. IEEE Transactions on Broadcasting, BC-22(1), 1–5.

106. Clark, R. N. (1978). The fan vee circularly polarized TV antenna. IEEE Transactions on Broadcasting, BC-24(1), 20–22.

107. Hymas, D. (1979). A new high power circularly polarized FM antenna. IEEE Transactions on Broadcasting, BC-25(1), 20–22.

108. Kawakami, H. (2010). A review of and new results for broadband antennas for digital terrestrial broadcasting: The modified batwing antenna. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 52(5), 78–88.

109. Radnovic, I., Nesic, A., & Milovanovic, B. (2010). A new type of turnstile antenna. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 52(5), 168–171.

110. Pan, G., Li, Y., Zhang, Z., & Feng, Z. (2012). Isotropic radiation from a compact planar antenna using two crossed dipoles. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 11, 1338–1341.

111. Yoon, I.-J., & Ling, H. (2014). Design of an electrically small circularly polarised turnstile antenna and its application to near-field wireless power transfer. IET Microwave Antennas and Propagation, 8(5), 308–314.

112. Darwish, S. G. M., Hussein, K. F. A., & Mansour, H. A. (2004). Circularly polarized crossed-dipole turnstile antenna for satellites. In Proc. 21st Radio Science Conf., Mar. 16–18, 2004, pp. B17-1–15.

113. Baracco, J.-M., Salghettu-Drioli, L., & Maagt, P. (2008). AMC low profile wideband reference antenna for GPS and GALILEO systems. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 56(8), 2540–2547.

114. Wakabayashi, R., Shimada, K., Kawakami, H., & Sato, G. (1999). Circularly polarized log-periodic dipole antenna for EMI measurements. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 41(2), 93–99.

115. Liu, G., Xu, L., & Wu, Z. (2013). Miniaturised wideband circularly-polarised log-periodic Koch fractal antenna. Electronics Letters, 49(21), 1315–1316.

116. Xu, L., Wang, Y., & Gu, C. (2011). Tri-band circularly-polarised antenna for CERTO application. Electronics Letters, 47(2), 86–87.

117. Fisk, R. E., & Donovan, J. A. (1979). A new CP antenna for television broadcast service. IEEE Transactions on Broadcasting, BC-25(1), 20–22.

118. Zimmerman, R. K. (1998). Crossed dipoles fed with a turnstile network. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 46(12), 2151–2156.

119. Scire-Scappuzzo, F., & Makarov, S. N. (2009). A low-multipath wideband GPS antenna with cutoff or non-cutoff corrugated ground plane. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 57(1), 33–46.

120. Mak, K. M., & Luk, K. M. (2009). A circularly polarized antenna with wide axial ratio beamwidth. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 57(10), 3309–3312.

121. Qu, S.-W., Chan, C. H., & Xue, Q. (2010). Wideband and high-gain composite cavity-backed crossed triangular bowtie dipoles for circular polarized radiation. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 58(10), 3157–3164.

122. Wang, L., Yang, H.-C., & Li, Y. (2011). Design of a new printed dipole antenna using in high latitudes for Inmarsat. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 10, 358–360.

123. Liu, J. J., Reich, J., & Zhao, F. (2003). Collaborative InNetwork Processing for Target Tracking. Journal of Applied Signal Processing, April.

124. NASA Aurora [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://science.nasa.gov/citizen-science/aurorasaurus/. - Дата звернення: 12.10.2023.

125. Zhao, F., Liu, J., Liu, J., Guibas, L., & Reich, J. (2003). Collaborative signal and information processing: and information-directed approach. Proceedings of IEEE.

126. Сенсор DHT22 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf. - Дата звернення: 12.10.2023.

127. Мікроконтролер RTL8710 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.iot-tech.dev/full.php?ar=64. - Дата звернення: 12.10.2023.

128. Мікроконтролер RP2040 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://datasheets.raspberrypi.com/rp2040/rp2040-datasheet.pdf. - Дата звернення: 12.10.2023.

129. АЦП ADS1115 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ads1115.pdf. - Дата звернення: 09.11.2023.

130. Сенсор KE-50 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.figaro.co.jp/en/product/docs/ke_product%20infomation(en)_rev03.pdf. - Дата звернення: 09.11.2023.

131. Мікроконтролер STM8S103F3P6 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm8s103f2.pdf. - Дата звернення: 09.11.2023.

132. Таймер TPL5010 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpl5010.pdf?ts=1717280853788&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. - Дата звернення: 09.11.2023.

133. Сенсор HTU21D [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1899_HTU21D.pdf. - Дата звернення: 09.11.2023.

134. Сенсор MIX8410 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://farnell.com/datasheets/3759009.pdf. - Дата звернення: 09.11.2023.

135. Benmohamed, L., Chimento, P., Doshi, B., Henrick, B., & Wang, I.-J. (2006). Sensor Network Design for Underwater Surveillance. In Proc. of IEEE Milcom, Washington, DC.

136. Lee, YK. (2001). Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential. Journal of Applied Phycology, 13, 307–315. https://doi.org/10.1023/A:1017560006941.

137. Adesanya, V. O., Davey, M. P., Scott, S. A., & Smith, A. G. (2014). Kinetic modelling of growth and storage molecule production in microalgae under mixotrophic and autotrophic conditions. Bioresource Technology, 57. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.032.

Додаток 1

Лог вимірювань Chlorella vulgaris фрагмент
Початок

№	Темп	Волог	Тиск	Кисень
1	15,4	40,21	99862,7	17,8
2	14,71	39,65	99855,2	17,781
3	13,86	41,31	99860,7	17,919
4	13,52	43,44	99862,8	17,994
5	13,36	43,61	99869,2	18,031
6	13,36	43,27	99861	18,038
7	13,4	44,02	99866,2	18,034
8	13,28	43,37	99867	18,041
9	13,14	43,9	99860	18,053
10	13,08	44,08	99856,1	18,053
11	13,1	44,89	99857,4	18,028
12	13,03	43,27	99850,4	18,028
13	12,92	43	99853,4	18,025
14	12,88	42,09	99852,1	18,022
15	12,82	42,91	99846,9	18,022
16	12,74	43,57	99850,7	18,019
17	12,7	43,08	99852	18,019
18	12,68	43,3	99846,8	18,016
19	12,63	42,29	99847,2	18,025
20	12,59	42,92	99846,3	18,063
21	12,57	43,01	99840,2	18,041
22	12,54	44,14	99836,8	18,034
23	12,52	42,68	99838	18,038
24	12,51	43,31	99838	18,022
25	12,51	42,24	99837,2	18,05
26	12,48	42,76	99838	18,028
27	12,46	42,5	99842,8	18,028
28	12,46	43,12	99835,8	18,041
29	12,45	42,18	99837,1	18,044
30	12,42	42,52	99836,7	18,031
31	12,42	42,61	99844	18,038
32	12,41	41,93	99843,6	18,056
33	12,41	41,88	99843,1	18,041
34	12,39	41,96	99842,7	18,028
35	12,4	42,08	99844,9	18,034
36	12,36	42,96	99841,4	18,025
37	12,34	42,01	99845,2	18,038
38	12,37	42,02	99845,3	18,034
39	12,34	42,31	99846,1	18,034
40	12,31	42,53	99847,8	18,041
41	12,3	41,91	99847,4	18,041
42	12,31	41,5	99847	18,034
43	12,29	41,94	99847	18,034

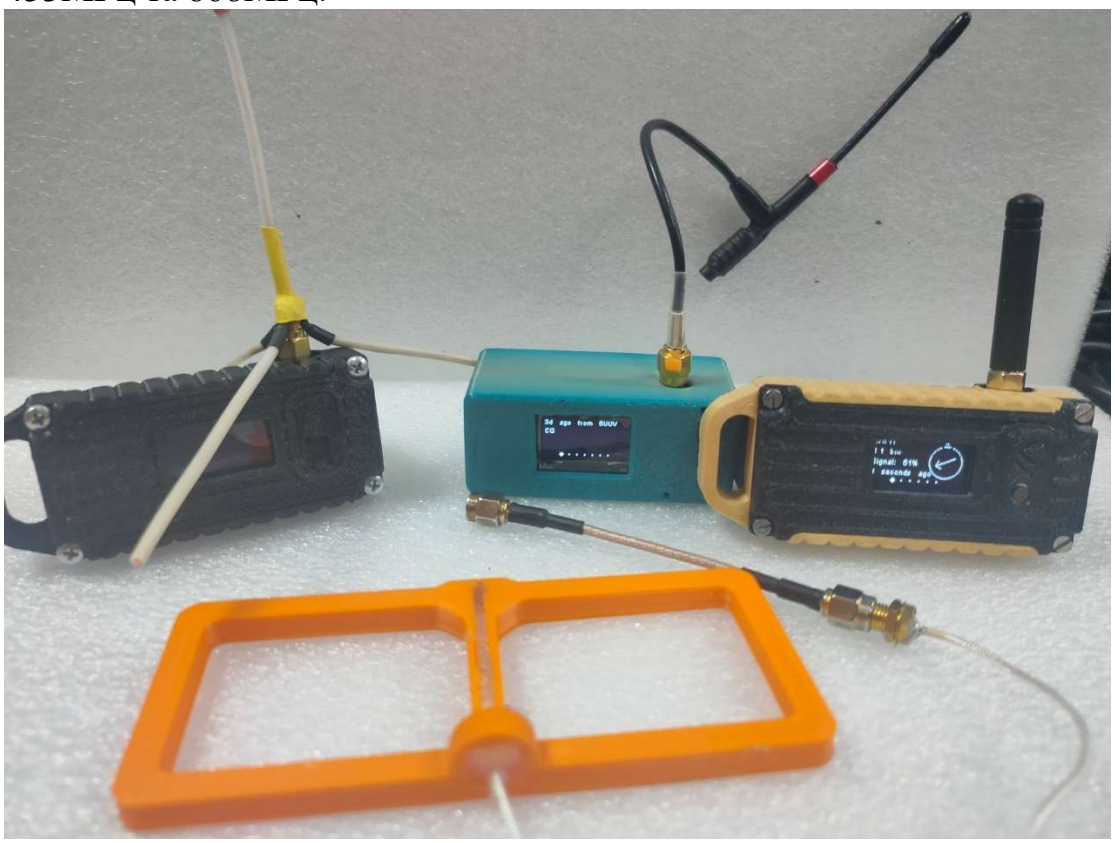
44	12,31	41,46	99844,8	18,031
5612	14,71	35,53	98425,3	16,569
5613	14,71	35,55	98425,3	16,578
5614	14,68	35,58	98425,4	16,569
5615	14,69	35,58	98425,8	16,584
5616	14,68	35,58	98428	16,584
5617	14,69	35,57	98428,4	16,613
5618	14,67	35,58	98427,5	16,563
5619	14,68	35,59	98424,5	16,609
5620	14,67	35,58	98422,4	16,594
5621	14,67	35,6	98419,3	16,563
5622	14,68	35,57	98428,8	16,531
5623	14,7	35,54	98421,4	16,559
5624	14,69	35,57	98424,9	16,559
5625	14,66	35,61	98425,8	16,603
5626	14,66	35,59	98419,3	16,566
5627	14,67	35,59	98423,6	16,544
5628	14,68	35,58	98424,1	16,684
5629	14,68	35,55	98424,5	16,547
5630	14,67	35,57	98421	16,506
5631	14,66	35,59	98420,2	16,547
5632	14,66	35,57	98414,1	16,609
5633	14,67	35,55	98419,8	16,631
5634	14,67	35,57	98414,5	16,581
5635	14,67	35,55	98404,6	16,559
5636	14,67	35,55	98405,5	16,572
5637	14,66	35,57	98399	16,587
5638	14,67	35,54	98399	16,553
5639	14,67	35,57	98403,7	16,587
5640	14,65	35,58	98395,5	16,575
5641	14,66	35,57	98399,8	16,666
5642	14,65	35,58	98391,6	16,625
5643	14,63	35,61	98392,1	16,534
5644	14,64	35,6	98390,4	16,516
5645	14,65	35,56	98389,9	16,6
5646	14,64	35,59	98390,4	16,578
5647	14,65	35,58	98393	16,594
5648	14,65	35,55	98397,3	16,563
5649	14,65	35,54	98402	16,591
5650	14,64	35,58	98402,9	16,538
5651	14,65	35,54	98403,3	16,603
5652	14,65	35,53	98406,8	16,594
5653	14,63	35,59	98405,6	16,581
5654	14,62	35,6	98402,5	16,581
5655	14,64	35,55	98406,8	16,566
5656	14,64	35,53	98405,1	16,738
5657	14,62	35,57	98402,1	16,572
5658	14,64	35,53	98406,8	16,666

5659	14,64	35,54	98408,6	16,519
5660	14,64	35,54	98411,2	16,563
5661	14,63	35,55	98410,8	16,541
5662	14,61	35,56	98407,3	16,544
5663	14,6	35,6	98403,9	16,563
5664	14,61	35,6	98399,5	16,622
5665	14,6	35,58	98398,7	16,55
5666	14,61	35,58	98394,3	16,553
5667	14,6	35,6	98393,5	16,55
5668	14,6	35,59	98388,3	16,609
5669	14,6	35,59	98381,8	16,484
5670	14,6	35,57	98387,9	16,528
5671	14,6	35,56	98389,6	16,569
5672	14,62	35,54	98386,5	16,494
5673	14,6	35,58	98383,1	16,528
5674	14,6	35,7	98387	16,513
5675	14,62	35,9	98381,3	16,566
5676	13,44	39,35	98389,1	16,609

Кінець (Лог вимірювань Chlorella vulgaris фрагмент)

Додаток 2

Мобільні станції зв’язку LILYGO® T3_V1.6.1 із змодельованими антенами 433МГц та 868МГц.



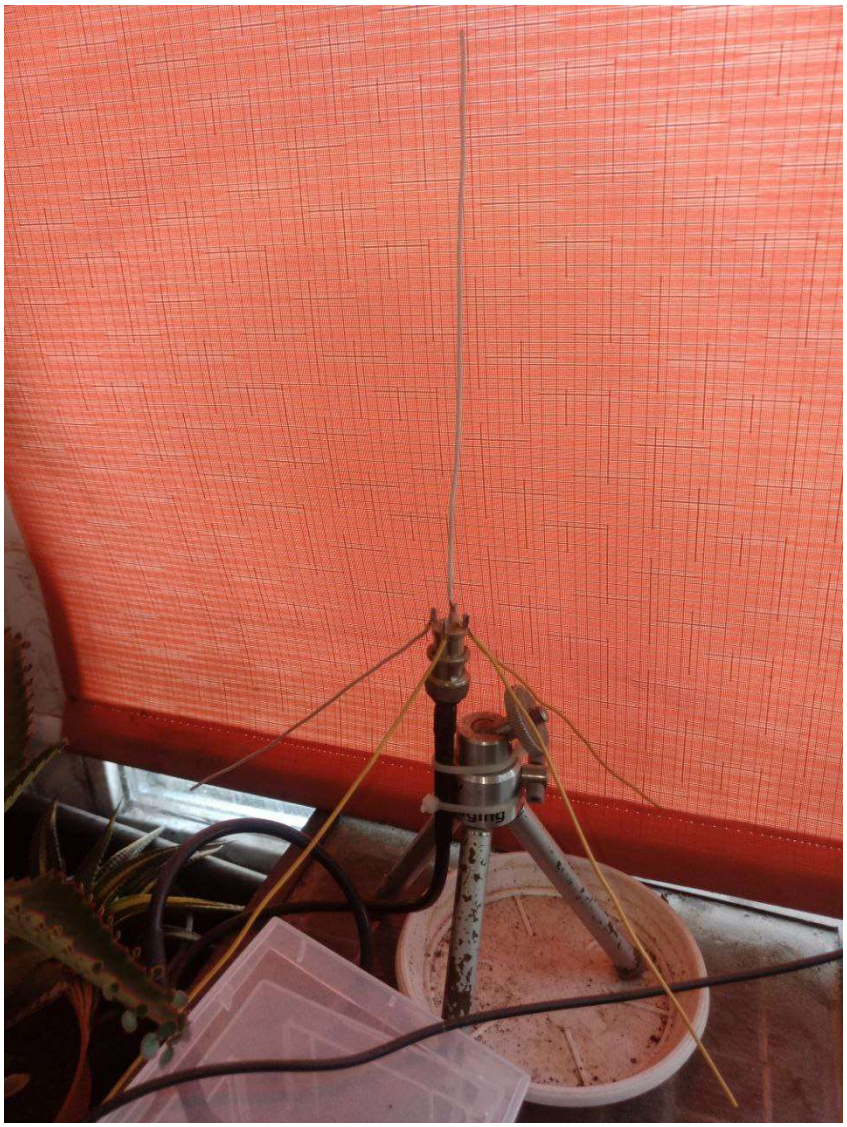


Додаток 3

Спроектована та виготовлена наземна станція супутникового зв’язку UT4UCR (TinyGS 433МГц) + широполосна антена з впевненим прийомом на цокольному поверсі забудови.

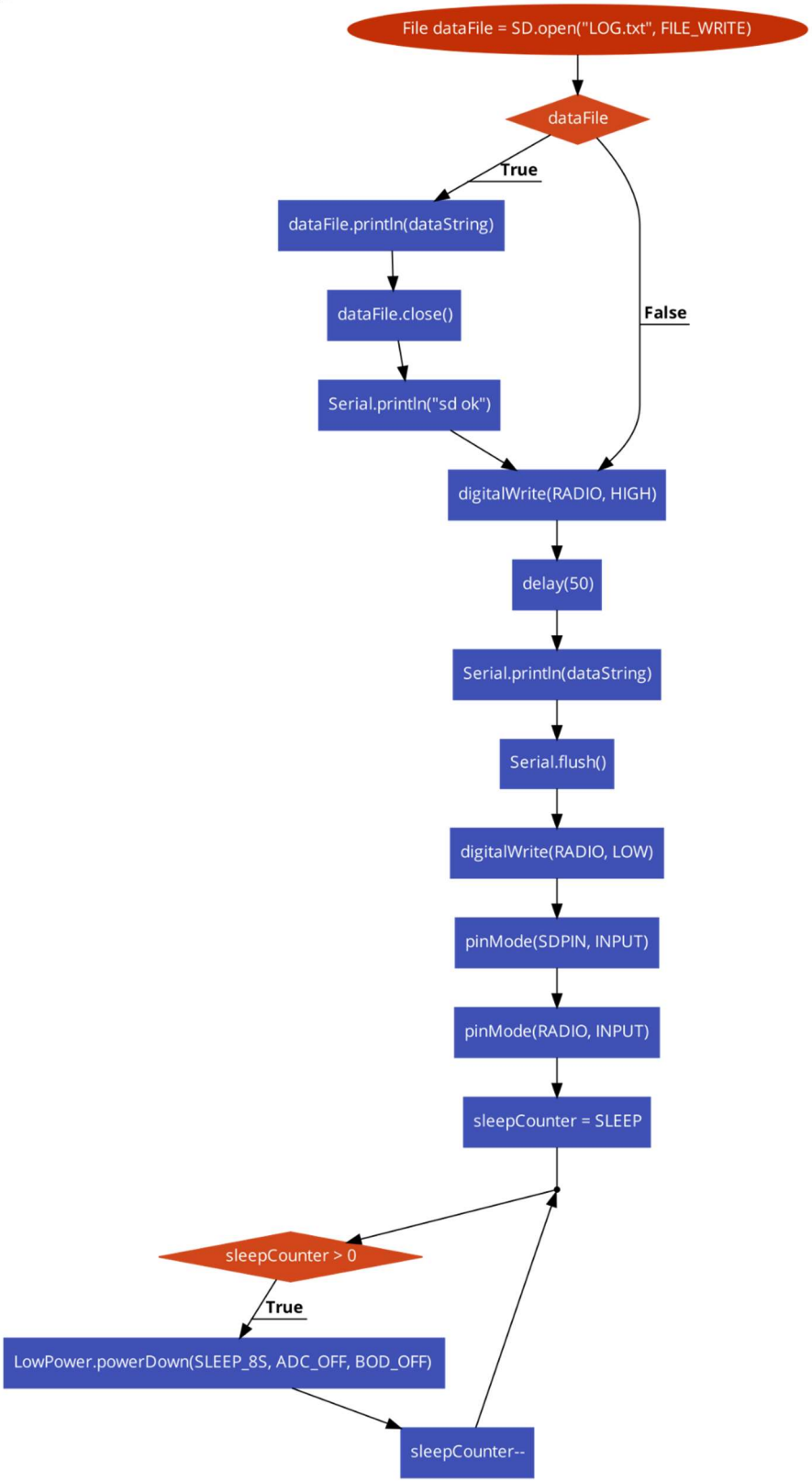


Спроектована та виготовлена наземна станція супутникового зв’язку UT4UYF (TinyGS 433МГц) + антена Ground plane на 4 противаги.

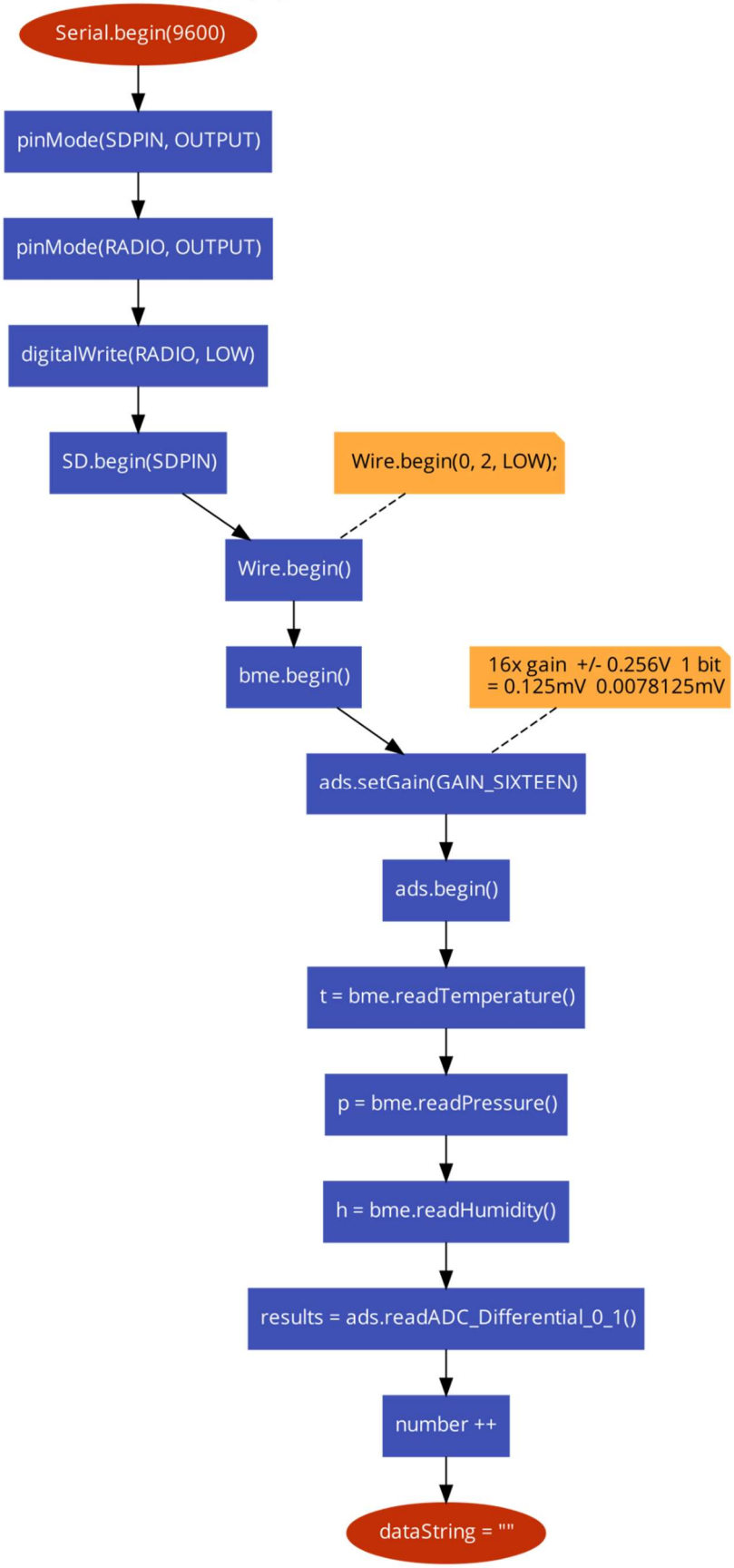


Додаток 4

Модуль загального моніторингу довгих вимірювань з режимами сну, алгоритм роботи

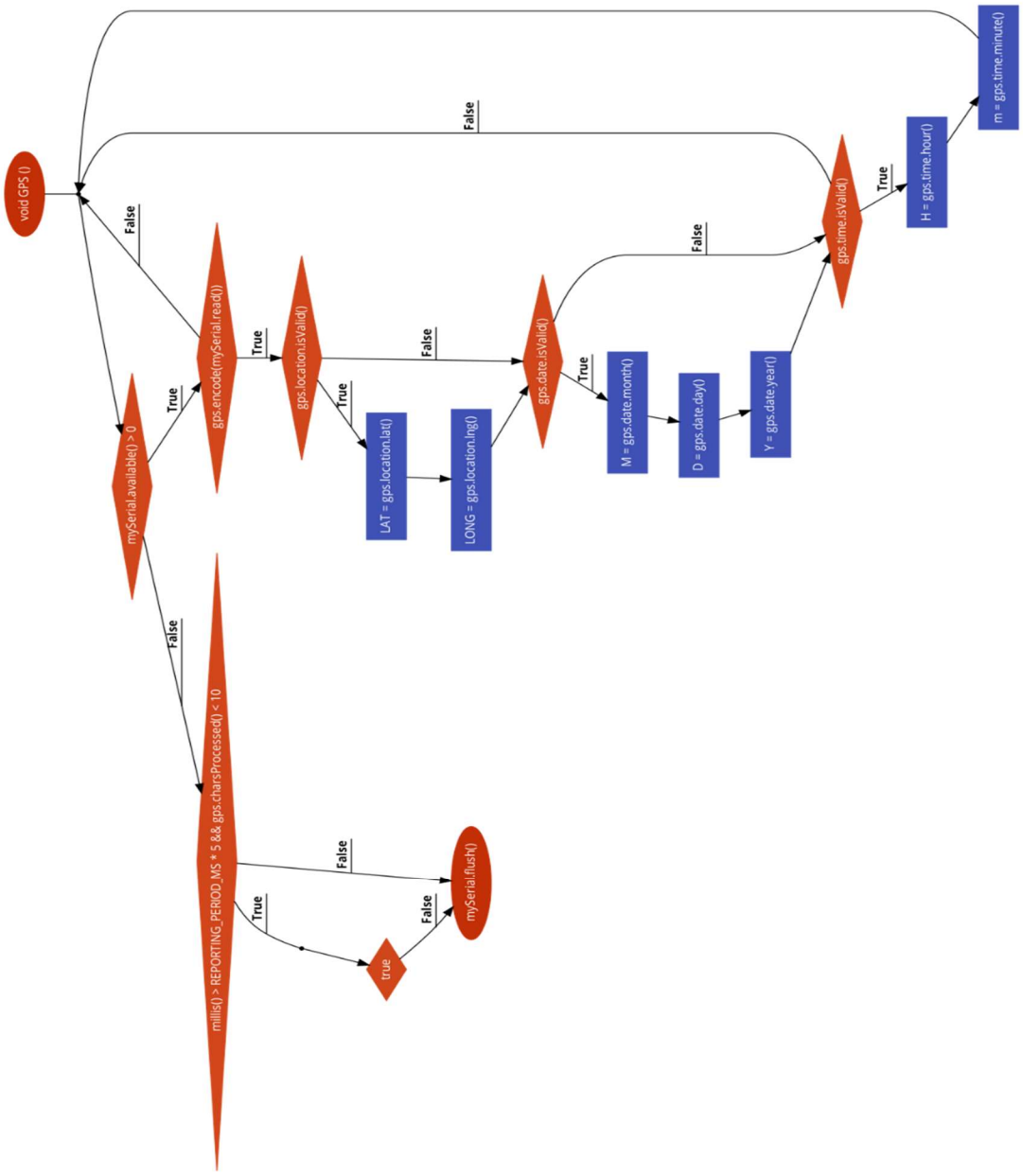


Додаток 4 (продовження)
Модуль загального моніторингу довгих вимірювань з режимами сну, ініціалізація периферії

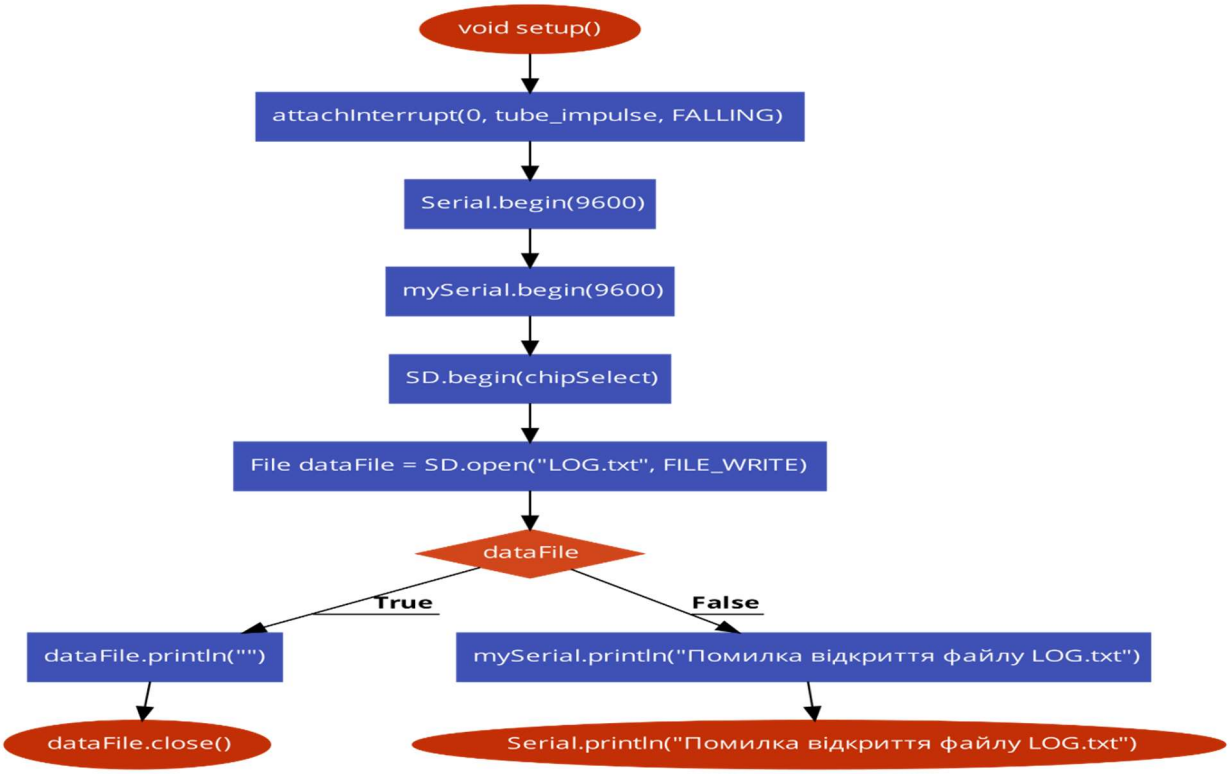


Додаток 5

Модуль оперативного моніторингу, алгоритми роботи

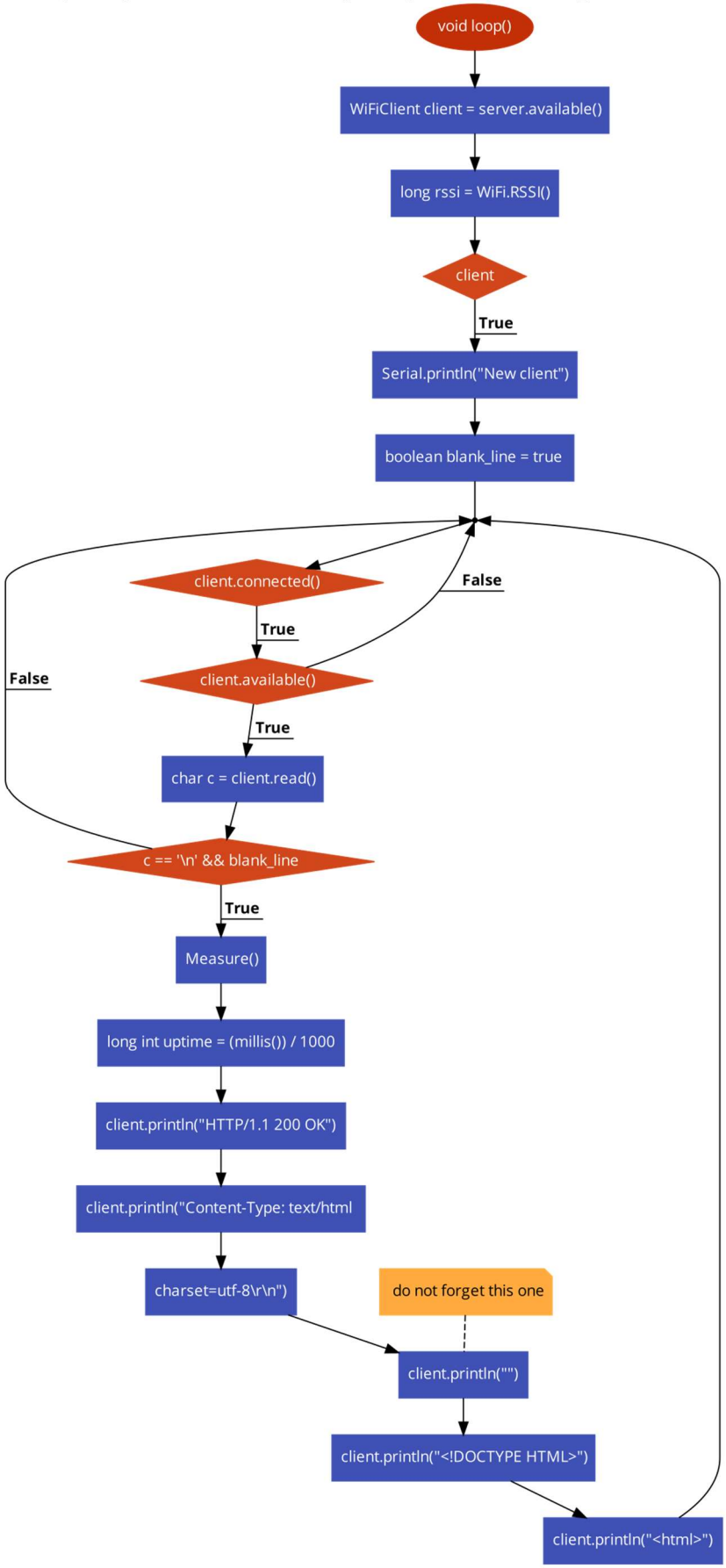


Додаток 5 (продовження)
Модуль оперативного моніторингу, алгоритми роботи

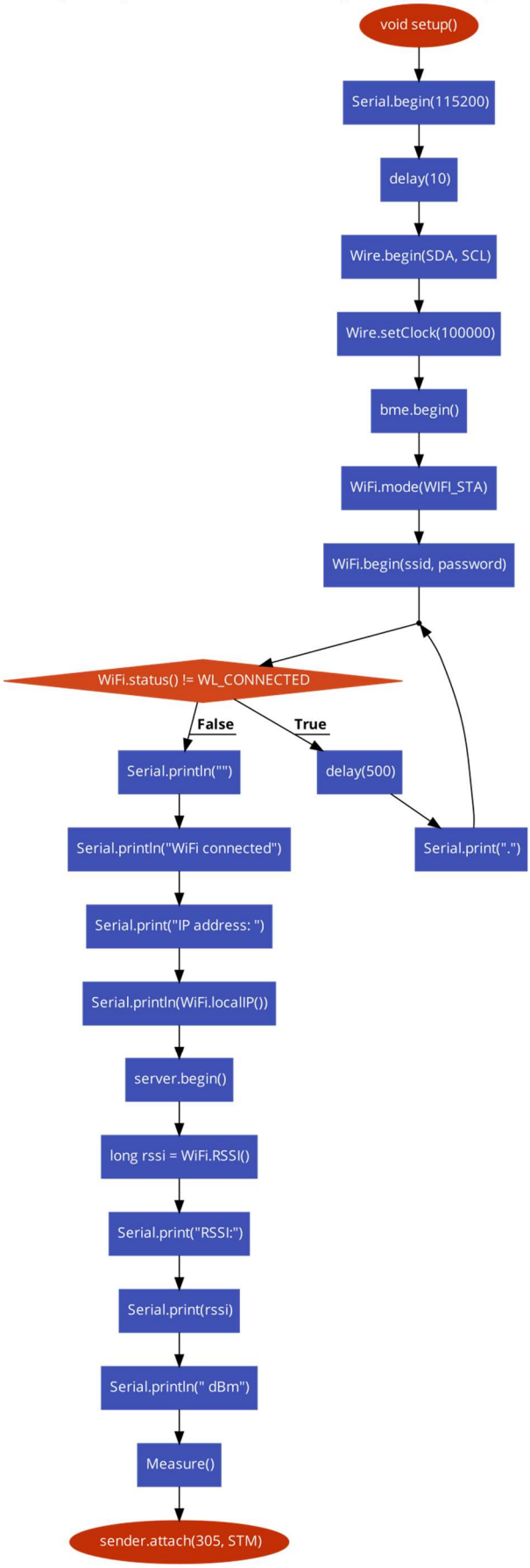


Додаток 6

Модуль фонового моніторингу алгоритми роботи

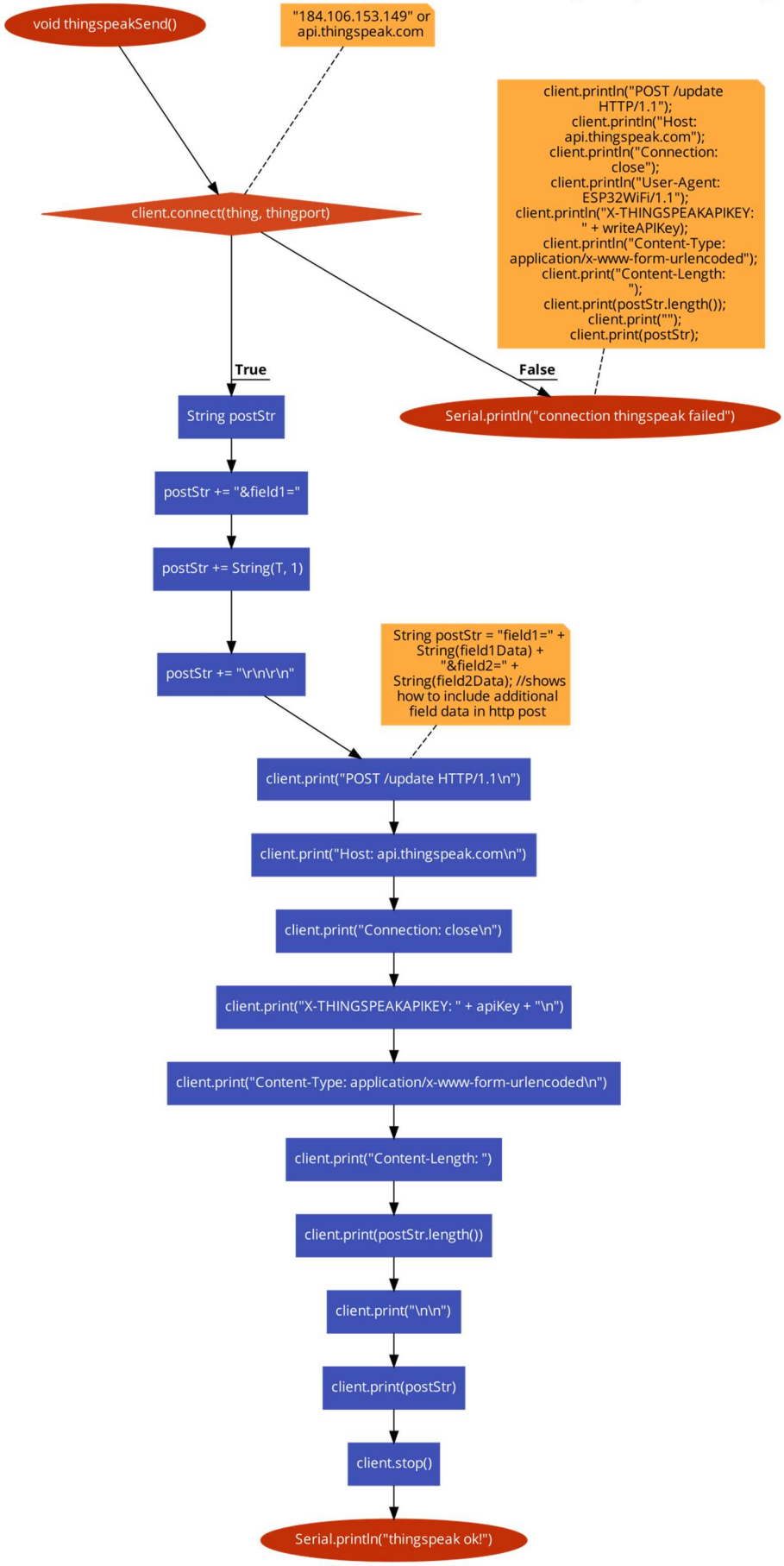


Додаток 6 (продовження)
Модуль фонового моніторингу алгоритми роботи

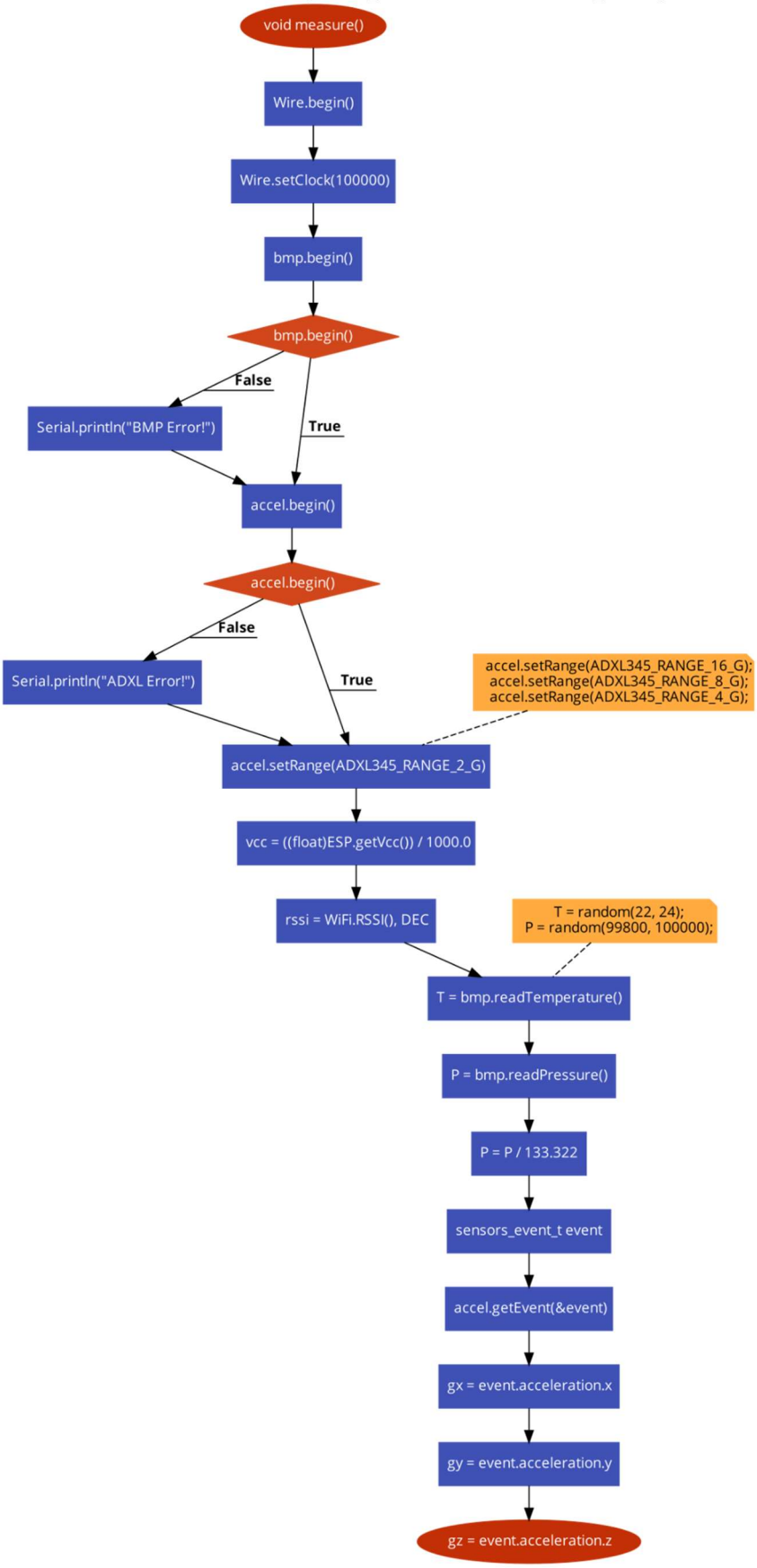


Додаток 7

Автоматизований модуль фонового моніторингу з акселерометром.

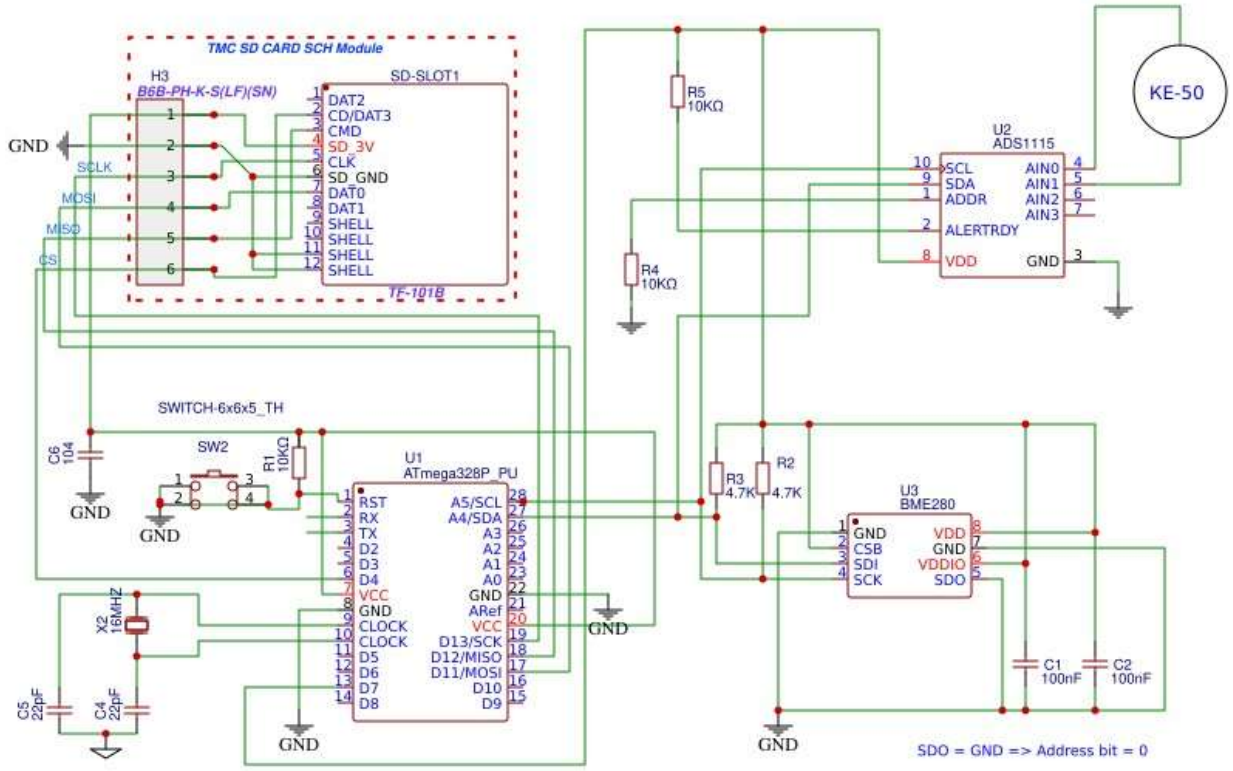


Додаток 7 (продовження)
Автоматизований модуль фонового моніторингу з акселерометром.



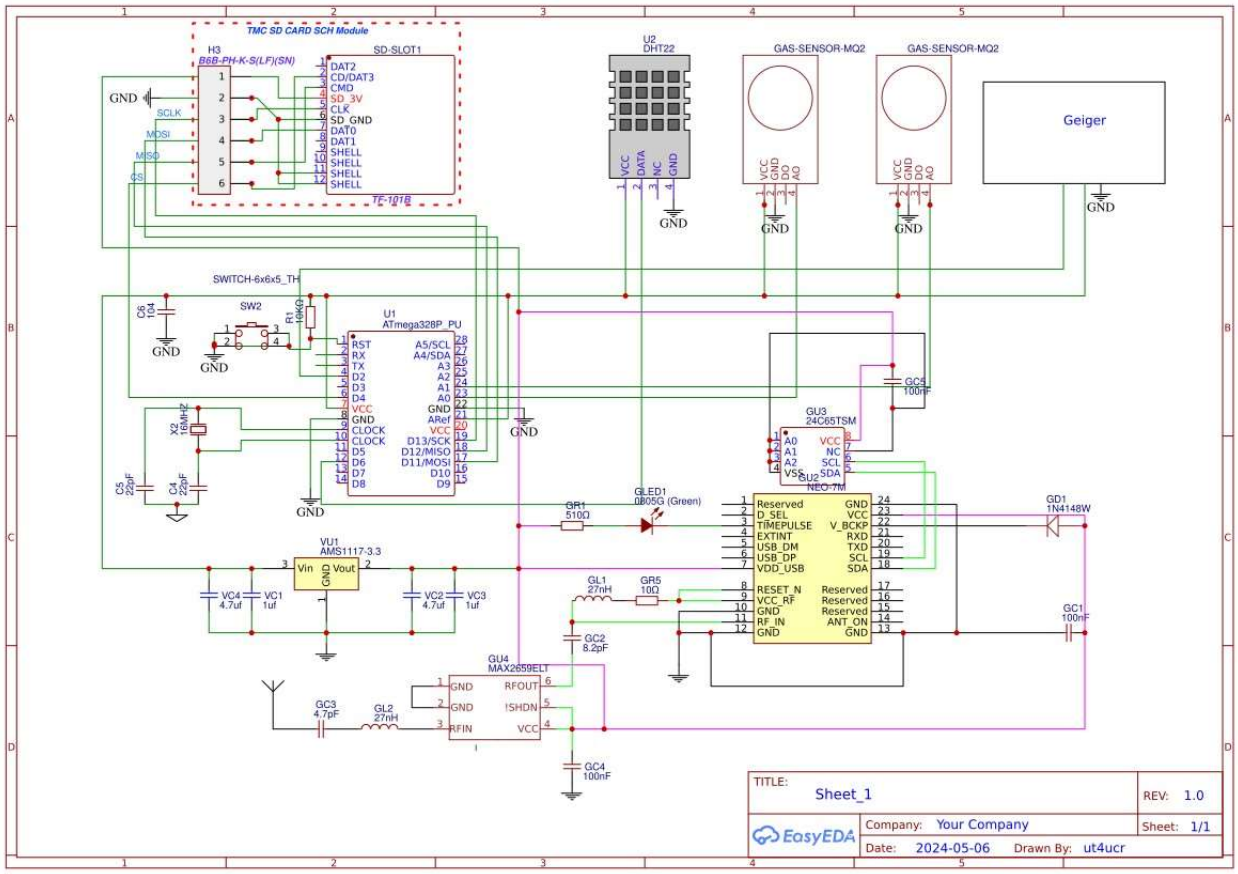
Додаток 8

Схема електрична принципова автоматизованого модуля загального моніторингу довгих вимірювань з режимами сну



Додаток 9

Повна схема електрична принципова автоматизованого модуля оперативного моніторингу



Додаток 11

Радіоаматорська ліцензія



УКРАЇНА
UKRAINE

УДЦР

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЦЕНТР РАДІОЧАСТОТ

UKRAINIAN STATE CENTRE OF RADIO FREQUENCIES

Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку
National Commission for the State Regulation of Electronic Communications, Radio Frequency Spectrum and the Provision of Postal Services

Проспект Перемоги, 151, м. Київ, 03179 / 151, pr. Peremogy, 03179 Kyiv, Ukraine
Тлф/phone +38 (044) 422-81-03 / E-mail: centre@ucrf.gov.ua

ГАРМОНІЗОВАНИЙ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ ДОКУМЕНТ АМАТОРСЬКОЇ РАДІОСТАНЦІЇ
HARMONIZED OPERATING DOCUMENT OF AMATEUR RADIO STATION
DOCUMENT D'EXPLOITATION HARMONISE DE LA STATION DE RADIO AMATEUR
HARMONISIERTE BETRIEBSBEREITE DOKUMENT AMATEURSFUNKSTATION

№ AC-80-0493576

дата видачі/ Date of issue: **02.10.2023**
термін дії/Valid till: **05.09.2033**

Особа, якій надано даний гармонізований експлуатаційний документ, має кваліфікацію радіоаматора A та право на експлуатацію індивідуальної аматорської радіостанції.
A person, to whom this Harmonized Operating Document is issued, has the qualification of a radio amateur of **A** class and has the right to operate an individual amateur radio station.
La personne à qui ce Document d'exploitation harmonisé a été délivré a la qualification de radioamateur **A** et le droit d'exploiter une station de radio amateur individuelle.
Die Person, an die das harmonisierte betriebsbereite dokument ausgestellt wird, hat eine Funkamateurqualifikation **A** und das Recht, eine eigene Amateurfunkstelle zu betreiben.

Даний гармонізований експлуатаційний документ відповідає CEPT RADIO AMATEUR LICENCE
This harmonized operating document complies with the CEPT RADIO AMATEUR LICENCE
Ce document d'exploitation harmonisé est conforme à la LICENCE CEPT DES RADIO AMATEURS
Dieses harmonisierte betriebsbereite Funkamateursdokument bereinstimmen mit CEPT R. A. L.

Прізвище/Surname/Nom/Vorname	**СУКАЛО**	**SUKALO**
Власне ім'я/Name/Prénom/Zuname	**МАКСИМ**	**MAKSYM**
По батькові (за наявності)	**ЛЕОНІДОВИЧ**	
Адреса встановлення станції/ Radiostation location/Emplacement date de station radioamateur/Die Localisierung Adresse	**Україна, м. Київ, пр-т Правди, 8А, кв.37**	**Ukraine**
Позивний сигнал/Call sign/in dicatif/ Das Rufzeichen	**UT4UCR**	

Власнику гармонізованого експлуатаційного документа надається право на тимчасове використання аматорської радіостанції в країнах, які визнають (використовують) Рекомендацію CEPT T/R 61–01

A holder of this Harmonized Operating Document is authorized to temporarily use an amateur radio station in the countries that recognize/apply the CEPT Recommendation T/R61-01

Un titulaire de ce Document d'exploitation harmonisé est autorisé à utiliser temporairement une station de radio amateur dans les pays qui reconnaissent/ appliquent la recommandation CEPT T/R61-01

Dem Inhaber des Dokuments wird das Recht eingeräumt, die Amateurfunkstation vorübergehend in Ländern zu nutzen, die die CEPT

Смуги радіочастот та види зв'язку, які визначені для використання аматорської радіостанції в Україні
The frequency bands and types of communication determined for use of amateur radio statoin in Ukraine
Les bandes de fréquences et types de la communications qui sont determinés pour l'utilization de la stasion damateur a l'Ukraine
Das Frequenzband und die Bindungsformen bestimmt für die Amateurfunkstelle betrieben in Ukraine

Тип РО/Type of RE/Type d'équipement radio/Der RE Typ	**Трансивер саморобний**	**Заводський номер**/Serial number/Numéro de fabrication/ Die Fabriknumme	**б/н**

1.81-1.84 (100) CW; 1.838-1.842 (100) DIGI; 1.84-1.85 (100) CW,SSB; 1.85-1.9 (10) CW,SSB; 1.9-2 (10) CW,SSB,AM; 3.5-3.6 (200) CW; 3.573-3.62 (200) DIGI; 3.6-3.65 (200) CW,SSB; 3.65-3.7 (200) CW,SSB; 3.7-3.8 (200) CW,SSB; 3.73-3.74 (200) SSTV; 7-7.1 (200) CW; 7.04-7.08 (200) SSTV,DIGI; 7.05-7.1 (200) SSB; 7.1-7.2 (200) CW,SSB; 10.1-10.15 (200) CW; 10.136-10.15 (200) DIGI; 14-14.25 (200) CW; 14.07-14.112 (200) DIGI; 14.1-14.15 (200) SSB; 14.15-14.25 (200) SSB; 14.225-14.235 (200) SSTV; 14.25-14.35 (200) CW,SSB; 18.068-18.168 (200) CW; 18.1-18.11 (200) DIGI; 18.11-18.168 (200) SSB; 21-21.45 (200) CW; 21.074-21.12 (200) DIGI; 21.15-21.25 (200) SSB; 21.25-21.45 (200) SSB; 21.335-21.345 (200) SSTV; 24.89-24.99 (200) CW; 24.915-24.93 (200) DIGI; 24.93-24.99 (200) SSB; 28-28.2 (200) CW; 28.07-28.15 (200) DIGI; 28.2-28.8 (200) CW,SSB; 28.3-28.32 (200) DIGI; 28.675-28.685 (200) SSTV; 28.8-29.3 (200) CW,SSB,AM; 29.2-29.3 (200) DIGI; 29.3-29.51 (200) SAT; 29.52-29.7 (200) CW,SSB,FM; 144-144.035 (5) EME; 144-144.49 (5) IBP; 144.035-144.11 (5) CW; 144.11-144.15 (5) CW,MGM; 144.18-144.36 (5) CW,SSB; 144.36-144.399 (5) CW,SSB,MGM,IBP; 144.5-144.794 (5) CW,SSB,FM,SSTV,DIGI,RTTY; 144.794-144.994 (5) DIGI; 144.8-144.8 (5) APRS; 144.994-145.806 (5) FM,DIGI; 145.2-145.2 (5) SAT; 145.8-145.8 (0) SAT; 145.806-146 (5) SAT; 430-432 (5) FM,DIGI; 432-432.025 (5) EME; 432.025-432.1 (5) CW; 432.1-432.5 (5) CW,SSB,MGM,IBP; 432.5-432.5 (5) SSTV; 432.5-433.394 (5) CW,SSB,AM,FM,DIGI; 432.994-433.394 (5) FM,DIGI; 433.2-434.3 (5) CW,FM,DIGI; 433.394-434.581 (5) FM; 433.4-433.4 (5) SSTV; 433.581-435 (5) CW,SSB,AM,FM,DIGI; 435-438 (5) SAT; 438-440 (5) FM,DIGI;

000403

Директор з питань радіочастотних присвоєнь
Ukrainian State Centre of Radio Frequencies

(**підпис**/signature/signatures/die signatur)

Євген МИРЗАКОВ
(**прізвище**/surname/nom/vorname)

M.P./Officisal stamp/ Cachet official/ der Stempel

Додаток 12

Акти впровадження

Громадська організація
« Асоціація фахівців цивільного захисту »
(ГО «АЦЗ»)

Код ЄДРПОУ 41695173
Україна, 03035, м. Київ, вулиця Георгія Кірпи, 2-А, офіс 513
Тел. / факс: +38-044-502-12-29;
e-mail: info@cipma.org.ua

Public Organisation
«Civil Protection (profi) Manager's Association»
(CPpMAs)

Ukraine, 03035, Kyiv, Georgy Kirpa Street, 2-A, office 513
Phone / fax: +38-044-502-12-29;
e-mail: info@cipma.org.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Голова спостережної ради Асоціації фахівців
цивільного захисту
Сергій ХОПЕРСЬКИЙ
2023 р.
М.П.

АКТ
впровадження результатів наукових досліджень, які викладено у дисертації СУКАЛО Максима Леонідовича на тему « ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ОБМЕЖЕНОЇ ЕКОСИСТЕМИ»

Комісія у складі к.т.н. доцента Пономаренка С.О, д.т.н., с.н.с. Яковлєва Є.О. склали цей акт, в тому, що результати дисертаційної роботи Сукало М.Л., а саме методика оцінки стану обмежених екологічних систем, методика проведення вимірювань забруднення навколишнього середовища з використанням хмарних та IoT технологій, алгоритм вибору сенсорів IoT та схему розташування і взаємодії їх на території обмеженої екосистеми з використанням хмарних технологій мають наступну науково-практичну значимість:

- є актуальними для оперативного моніторингу обмеженої екосистеми з метою оцінювання рівня її забруднення та можливих наслідків з точки зору виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження;
- можуть бути використані в діяльності підрозділів екологічного моніторингу Міндовкілля та ДСНС як технологічна основа її інформаційного забезпечення;
- використані в діяльності Асоціації фахівців цивільного захисту для визначення процесів оптимізації процедур автоматизованого екологічного моніторингу;
- підвищити оперативність, економічність, ефективність автоматизованого моніторингу обмежених екосистем та попередження надзвичайних ситуацій.

Члени комісії:
Д.т.н., с.н.с. Євген ЯКОВЛЕВ

К.т.н., доцент Сергій ПОНОМАРЕНКО

Додаток 13

Свідоцтво про підвищення кваліфікації

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

Чоколівський бульвар, 13, м. Київ, 03186, тел/факс (044) 245-88-38, тел. 245-87-97
E-mail: itgis@nas.gov.ua

Свідоцтво

Про підвищення кваліфікації

Видано: Сукало Максиму Леонідовичу

Про те що з «10» квітня 2023

По «13» жовтня 2023

Він підвищував кваліфікацію у відділах фізичного і математичного моделювання і дослідження навколишнього середовища

за наступною програмою

Всього за курсом підвищення кваліфікації в обсязі 180 годин (6 кредитів ЕКТС)

№ з/п	Зміст програми	Годин	кредити ЕКТС
1.	Математичні методи оцінки інформації ДДЗ	30	1
2.	Системний аналіз екологічного моніторингу	30	1
3.	Нейронні мережі у системі екологічного моніторингу	30	1
4.	Створення баз даних екологічного моніторингу	30	1
5.	Безпроводові сенсорні мережі в екологічному моніторингу	30	1
6.	Геоінформаційні системи та ДЗЗ	30	1

Виконав випускну роботу на тему: «Інформаційно телекомунікаційні системи для збору даних та керування нестійкими екосистемами із використанням дронів»

Роботу захищено на *відмінно*

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
ідентифікаційний код 26022051

Учений секретар ІТГІП Клименко В.І.