

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) АКС (автоматизації і комп'ютерних систем)

Кафедра інформаційних технологій

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма комп'ютерний еколого-економічний моніторинг

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри Чумаченко С.М.

“ ” _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Карпенко Микола Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України

керівник роботи с.н.с, д-р тех. наук Чумаченко Сергій Миколайович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 11 ” листопада 2021 року № 8 8 4 - к с

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи 1) фізико-хімічні параметри потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО); 2) особливості функціонального зонування зони впливу ПНО; 3) тактико-технічні вимоги забезпечення оперативності, об'єктивності, достовірності забезпечення екологічного моніторингу параметрів довкілля; 4) вектор екологічного стану ПНО

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

1. Аналіз предметної галузі екологічного моніторингу ПНО на сході України;

2. Постановка наукового завдання на розробку інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу ПНО;

3. Інтеграція програмно-апаратного комплексу в створювану інформаційну систему;

4. Розробка інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація роботи, розроблена в MS Powerpoint, структурно-функціональна модель інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів, принципові схеми апаратної частини та структурна схема програмно-апаратного комплексу, ілюстрації інтерфесів системи та її реалізації на різних платформах, ілюстрації моделей AS-IS та TO-BE

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Чумаченко С.М, зав. каф. ІС		
Розділ 2	Чумаченко С.М, зав. каф. ІС		
Розділ 3	Чумаченко С.М, зав. каф. ІС		
Розділ 4	Чумаченко С.М, зав. каф. ІС		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	1. Аналіз предметної галузі екологічного моніторингу ПНО на сході України		
2	2. Постановка наукового завдання на розробку інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу ПНО		
3	3. Інтеграція програмно-апаратного комплексу в створювану інформаційну систему		
4	4. Розробка інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України		

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Карпенко М.І.
(прізвище та ініціали)

Чумаченко С.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА СХОДІ УКРАЇНИ	11
1.1. Постановка проблеми	11
1.2. Методи та засоби вирішення проблеми	19
РОЗДІЛ 2. ІНТЕГРАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ДЖЕРЕЛ В СТВОРЮВАНУ ІНФОРМАЦІЙНУ СИСТЕМУ	30
2.1. Аналіз використання дистанційного зондування з супутника для моніторингу пожежної безпеки	30
2.2. Аналіз використання дистанційного зондування з БПЛА для моніторингу пожежної безпеки	43
2.3. Аналіз використання методу свердловин для моніторингу пожежної безпеки	50
2.4. Аналіз використання методів виявлення газів та гідроаналізу	52
РОЗДІЛ 3. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ КРИЗОВОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ НА ПРОЕКТУВАННЯ	56
3.1. Загальна характеристика стану кризового моніторингу	56
3.2. Організаційна структура центру кризового моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів, роль і взаємодія підрозділу кризового моніторингу	58
3.2.1. Загальна схема організаційної структури центру кризового моніторингу	58
3.2.2. Взаємодія з іншими відділами	61
3.3. Аналіз стану автоматизації	62
3.4. Системний аналіз	63
3.4.1. Опис нотації IDEF0	63
3.4.2. Середовище аналізу	64
3.4.3. Розробка функціональної моделі процесів «AS-IS»	65
3.4.4. Виявлені проблеми	68
3.4.5. Виявлені задачі, які потребують автоматизації	69
3.5. Аналіз подібних систем	69
3.5.1. Порівняння протоколів зв'язку	73
3.5.2. Порівняння мережевих протоколів	78

3.5.3. Вибір топології мережі	90
3.5.4. Вибір апаратної складової	94
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В ЗОНІ ВПЛИВУ ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА СХОДІ УКРАЇНИ.....	101
4.1. Розробка структурної схеми	101
4.2. Склад системи	102
4.3. Обґрунтування вибору компонентів та реалізація системи	104
4.3.1. Реалізація на UI-View та APRSDroid	104
4.3.2. Реалізація на LoRa та ESP8266	120
ВИСНОВКИ	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	127
ДОДАТОК А	134
ДОДАТОК Б	137
ДОДАТОК В	139
ДОДАТОК Г	146

ВСТУП

Актуальність теми. Україна займає перше місце в Європі за геологічними запасами вугілля. Видобуток вугілля проводиться в трьох регіонах: Донецькому і Львівсько-Волинському кам'яновугільних басейнах і Дніпровському буровугільному басейні. Загальна площа басейнів становить 18000 км² – це 3% площі нашої Батьківщини. Вугільна промисловість – базова галузь економіки України, яка зосереджена в Донецькій області (95% українських родовищ кам'яного вугілля); 55% всіх промислових відходів складає саме вугільна промисловість.

На території України існує 1220 відвалів вугільних шахт. В Донбасі зосереджено 1185 териконів, з яких 397 горять. Загальна площа, яку вони складають, досягає 80,0 км², в т.ч. в Донбасі – 72,- км². Під час самонагрівання одна тонна вугільних відходів може утворювати 0,84 кг SO₂, 0,61 кг H₂S, 0,03 кг NO_x, 99,7 кг CO та 0,45 кг диму. Щороку один породний відвал викидає в атмосферу 15000 т CO₂ та 5000 т CO [1]. Виділений пил пошкоджує центральну нервову та кровоносну системи, нирки, печінку та сприяє розвитку раку. Крім цього постійного впливу, під час експлуатації сміттєзвалищ можуть статися великі катастрофи на кшталт вибуху породного відвалу у місті Дмитрів (нині Мирноград) у 1966 році в районі Донбасу.

Іншими екологічними проблемами, пов'язаними з видобутком вугілля в Донецькому вугільному басейні, є порушення водопостачання, підвищена солоність підземних вод і величезні скупчення твердих відходів, що призводять до деградації земель, забруднення повітря, а також зсувів.

З моменту ведення Росією гібридної війни проти України на території Донецької області на підконтрольних сепаратистам шахтах відбувається затоплення підземними водами. Припинення водовідведення на окупованій території призводить до затоплення шахт на контрольованій урядом території.

Просідання ґрунтів та потрапляння радіоактивних елементів у питну воду – наслідок кинутих напризволяще шахт та териконів.

Приблизно 50 % газу, що викидається з териконів, становить метан; вуглекислий газ становить близько 45 %, а решта складається з азоту, кисню, водню та інших газів, зокрема радону, який призводить до онкологічних хвороб. Потенціал глобального потепління метану становить 21 за 100-річний період [2]. Це означає, що в перерахунку на кілограм за 100-річний період метан в 21 раз сильніше, ніж вуглекислий газ, спричиняє зміни клімату.

Дані факти вказують на необхідність досліджень даної області, особливо з огляду на те, що досі в Україні немає спеціалізованої літератури по моніторингу вугільних териконів та породних відвалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукова робота безпосередньо пов'язана з місцем навчання (Національний університет харчових технологій) та місцем проходження практики (Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України). Старший науковий співробітник, доктор технічних наук Чумаченко Сергій Миколайович як науковий керівник поставив завдання дослідити тему палаючих териконів та розробити інформаційну систему моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України. Головний науковий співробітник, доктор технічних наук Яковлєв Євгеній Олександрович, керівник з місця практики, який займається екологічними проблемами Донбасу внаслідок затоплення шахт, виділив достатньо матеріалів для досліджень. Доцент, кандидат технічних наук Мошенський Андрій Олександрович як спеціаліст з напрямку телекомунікаційні мережі та передача даних прийняв участь як консультант у постановці завдання на розробку програмно-апаратного комплексу інформаційної системи.

Мета й завдання дослідження. Підвищення ефективності екологічного моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів вугільної промисловості за рахунок створення інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні їх впливу на Сході України.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз предметної галузі екологічного моніторингу ПНО на сході України;
2. Зробити постановку наукового завдання на розробку інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу ПНО;
3. Провести інтеграцію програмно-апаратного комплексу в створювану інформаційну систему;
4. Розробити інформаційну систему моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України

Методи дослідження:

1. Методи системного аналізу;
2. Експертні оцінки аналогів програмно-апаратних комплексів для моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів вугільної промисловості;
3. Геоінформаційні технології для побудови сценаріїв моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів;
4. Технології інтернету речей для розробки програмно-апаратних комплексів моніторингу параметрів довкілля.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

вперше:

розроблено програмно-апаратний комплекс моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України з використанням технологій Інтернету речей, що відповідає

вимогам автономності, надійності та мобільності із застосуванням безпроводних сенсорних мереж і безпілотних літальних апаратів; розроблено алгоритм моніторингу небезпечних речовин терикону, та оточуючих шахтних територій: встановлено критерії оцінки геофізичних якостей породних відвалів та перелік необхідних засобів і етапів моніторингу;

удосконалено:

інформаційну технологію передачі масиву вимірної інформації через радіоканал ультракоротких хвиль;

дістала подальший розвиток:

ГІС технологія відображення даних про стан параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість магістерської роботи обумовлена використанням сучасного науково-методичного забезпечення під час проведення теоретичних і практичних досліджень на Сході України.

Наукове значення роботи. Розроблено науково-методичні рекомендації з екологічного моніторингу параметрів породних відвалів вугільних шахт на Сході України.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено програмно-апаратний комплекс з екологічного моніторингу параметрів породних відвалів вугільних шахт на Сході України.

Особистий внесок здобувача.

Апробація результатів магістерської роботи. Матеріали магістерської роботи пройшли апробацію на міжнародній науково-практичній конференції:

Карпенко М. І. Використання протоколу APRS для передачі даних про надзвичайні ситуації / Карпенко М. І., Мошенський А. О., Чумаченко С. М. // Наукові праці Четвертої міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції

розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 1–2 лютого 2022 р. (Київ, Україна). – К. : НУХТ, 2022. – (у друці).

Публікації.

VIII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 26 листопада 2021. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2021 – с.308. — Режим доступу: Режим доступу: <https://nuft.edu.ua/naukova-diyalnist/naukovi-konferencii/> Карпенко М. І. , Мошенський А. О. , Чумаченко С. М. Методологія оцінки стану пожежної безпеки породних відвалів 87ст.

Карпенко М. І. Використання протоколу APRS для передачі даних про надзвичайні ситуації / Карпенко М. І., Мошенський А. О., Чумаченко С. М. // Наукові праці Четвертої міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 1–2 лютого 2022 р. (Київ, Україна). – К. : НУХТ, 2022. – (у друці).

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА СХОДІ УКРАЇНИ

1.1. Постановка проблеми

На території України існує 1185 відвалів вугільних шахт, які розташовані в трьох регіонах: Донецькому і Львівсько-Волинському кам'яновугільних басейнах і Дніпровському буровугільному басейні.

Площа території цих трьох басейнів становить біля 18000,0 км² (3% площі України), в т.ч. Донбас 15000 км². Глибини ведення видобувних робіт коливаються в межах від 10-30 м до 1400 м, тобто останніми повністю охоплюється зона активного водообміну, що і обумовлює інтенсивне дренавання запасів підземних вод.

Загальна площа гірничих виробок (а точніше – площа проекції їх на горизонтальну площину) становить майже 13000 км², в т.ч. в Донбасі – біля 12000 км²; площа кар'єрів – 70,0 км².



Рис.1. Мапа вугільних басейнів України.

Об'єм гірничих виробок досягає біля 15,5 км³, в т.ч. кар'єрів—біля 3,5 км³.

Об'єм обрушеного гірського масиву над гірничими виробками з порушенням його суцільності становить біля 650,0 км³, в т.ч. в Донбасі — біля 600 км³.

Загальний об'єм водних припливів в виробки вугільних шахт і кар'єрів складає коло 28,5 м³/сек. (898,0 млн м³/рік), в т.ч. в шахти Донбасу — 25,0 м³/сек. З зазначеної кількості на потреби народного господарства використовується дещо більше 3,5 м³/сек. (12,0%), а останні 25,0 м³/сек. шахтної води скидаються в річкову мережу або в накопичувачі. Мінералізація шахтної води коливається в межах від 0,8 г/дм³ до 80,0 г/дм³ (переважають значення 3,0-6,0 г/дм³), а в середньому становить 3,3 г/дм³, в т.ч. в Донбасі 3,6 г/дм³, в Львівсько-Волинському басейні —2,2 г/дм³, в Дніпробасі — 0,9 г/дм³. Загальний солевиніс шахтними водами становить 84,0 кг/сек. (7,25 тис.т/добу, або 2,65 млн.т/рік).

Значна частина шахтних вод, що видобувається, в основному з найбільш високою мінералізацією, скидається в накопичувачі.

На шахті «Золоте» та інших шахтах є очисні споруди. Вони складаються з механічної чистки з подальшим знезараженням. Але вони не забезпечують нормативної очистки високомінералізованих шахтних вод. Вони вичищають від зважених речовин, потім — у відстійники, де все знаходиться протягом багатьох десятиріч. Головна екологічна проблема — це засолення підземних питних вод шахтними водами. Науковці стверджують, що шахтні води потрапляють в питні води і кількість останніх зменшується. Відповідно, засолена вода йде на Донеччину, і там ці проблеми проявляються.[14]



Рис.2. Річка “Комишуваха”, смт. Золоте, Луганська область. Фото Truth Hounds 7 квітня 2021 р



Рис.3. Наслідки затоплення шахт в ОРДЛО 2020 рік.

На території трьох вугільних басейнів нагромаджено 1220 териконів та відвалів (в т.ч. в Донбасі 1185), з яких 397 горять (в т.ч. Донбасі–397). Загальна площа, яку вони складають, досягає 80,0 км², в т.ч. в Донбасі – 72,- км². Об'єм гірських порід в териконах та відвалах становить більш 1,1 км³ в т.ч. в Донбасі –1,05 км³.

Під час самонагрівання одна тонна вугільних відходів може утворювати 0,84 кг SO₂, 0,61 кг H₂S, 0,03 кг NO_x, 99,7 кг CO та 0,45 кг диму. Ці екологічно небезпечні речовини можуть вражати поверхню площею більше ніж 7 тис. га. [3]В Україні звалища вугільних відходів часто оточені поселеннями. Вони використовуються як місця зустрічей, туристичних оглядових майданчиків, місць для культурних виставок та спортивних заходів, включаючи скелелазіння, їзду на велосипеді та екстремальні види спорту. Газові викиди териконів негативно впливають на життя людей та тварин. Виділений пил пошкоджує центральну нервову та кровоносну системи, нирки, печінку та сприяє розвитку раку. Крім цього постійного впливу, під час експлуатації сміттєзвалищ можуть статися великі катастрофи, такі як вибухи, наприклад, у разі відходів вугілля у місті Дмитрів (нині Мирноград) у 1966 році в районі Донбасу.



Рис.4. Шахтний пил.

Більшість (95%) українських родовищ кам'яного вугілля розташовані в Донецькому вугільному басейні, що поширюється на Донецьк, Луганськ та Дніпропетровськ. Вугілля, як правило, має ранг антрациту (2,5% –3,5% випадкового відбиття вітриніту Rr) та мета-антрациту ([3,5% Rr) у центральній частині басейну. Бітумне вугілля (0,6% –2,5% Rr) зосереджено на західному та північному берегах басейну.

У вугільному басейні знаходиться близько 300 шарів вугілля (зазвичай тонких з широким бічним розподілом), де 130 пластів досягають товщини (0,45 м), але лише 12 мають товщину (1,0 м). Шви (2,0 м) товщини зустрічаються рідко. Видобувні ресурси вугілля поширюються на глибину до 1,5 км.[4]

Вугільні відходи, що утворюються під час експлуатації та збагачення, зберігаються приблизно у 1200 запасах, що містять 1,5 млрд м³ вугільних відходів та \ 120 млн тон щорічно відходи виробляються вугільними фабриками.

Відходи складаються з аргілітів, алевролітів, вапнякових порід, пісковика, вугілля та мінерального піриту в сукупності, що демонструють різні ступені метаморфізму

Вважається, що вугільні терикони Донбасу можуть містити 10% -46% органічних речовин, \ 20% кремнезему та оксидів заліза. Як вугільні родовища мають високий (1,5%–5,5%) вміст сульфідів, так і відвали багаті сульфідами.

В Донбасі 200 років інтенсивно видобували вугілля на відносно невеликій території в 15 тис. км². За цей час із надр було вийнято 20 млрд т порід, у тому числі 15 млрд т вугілля. На площі 8 тис. км² поверхня землі просіла в середньому на 1,5–2 м, деформації зазнали 600 км³ породного масиву [16].

Вугільні відходи в Україні не були належним чином ущільнені, що підкреслює водну ерозію, особливо на конічні відвали. Значні річні амплітуди

температури сприяють фрагментації частинок вугільних відходів. Матеріал зазвичай пухкий: гравій і переважаючі кам'янисті дробини. Навіть на найдавніших звалищах, фракції ≤ 1 мм рідко перевищують 30%.

Збільшення фракції призведе до збільшення доступності кисню який у поєднанні з великою кількістю органічних матеріалів, сприятиме самонагріванню.

Ці звалища, що розташовані в Донецькому вугільному басейні, щорічно викидають 500 000 тон шкідливих газів в атмосферу.

Щороку з поверхні одного звалища, вивітрюється 400 т пилу і промивається 8 т солі. За оцінками, 15000 т CO_2 та 5000 викидів CO щорічно.

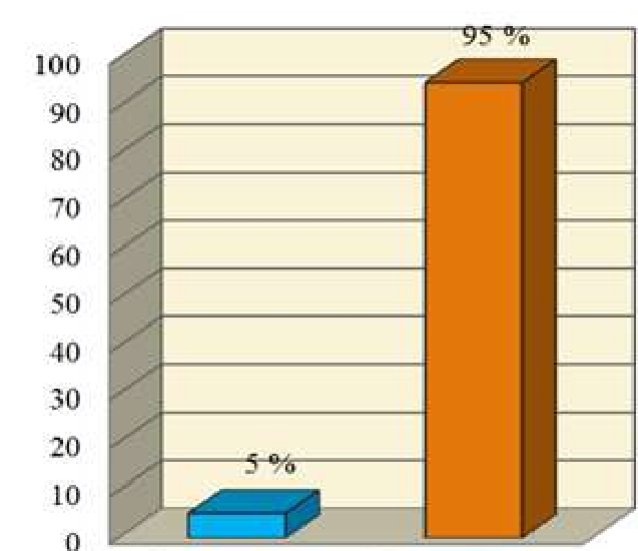


Рис. 5. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу [17]:

◆ твердих; ◇ газоподібних

Інші екологічні є проблеми, пов'язані з видобутком вугілля в Донецькому вугільному басейні, зумовлені перебоями з водопостачанням і, як наслідок, підвищеною солоністю ґрунтових вод та величезним скупченням твердих відходів, в результаті чого настає деградація земель, забруднюється повітря пилом, а також відбуваються паводки і зсуви.

Для повноти картини приведена таблиця основних факторів негативного впливу на довкілля вугільних шахт України, до якої приклали участь Є.О. Яковлев та С.М. Чумаченко:

Табл.1. Основні фактори негативного впливу вугільних шахт Донбасу.

Виробниче об'єднання	Вугільна шахта	Фактори екологічної небезпеки
«Лисичанськвугілля»	«Новодружська»	Горіння териконів, шахтні води, санітарні стоки
	«Капустіна»	Горіння териконів, шахтні води, санітарні стоки
	«Привільнянська»	Горіння териконів, шахтні води, санітарні стоки
«Селидіввугілля»	№ 1-3 «Новгородівська»	Горіння териконів, шахтні води, санітарні стоки, земельна документація
	«Курахівська»	
	«Україна», «Росія»	
Незалежна вугільна шахта	«Південнодонбаська № 1»	Горіння териконів, шахтні води, утилізація метану, земельна документація
«Дзержинськвугілля»	«Дзержинського»	Горіння териконів, просідання ґрунту
	«Північна», «Торецька»	
	«Південна»	
«Красноармійськвугілля»	«Димитрова»	Горіння відвалів, шахтні води, просідання ґрунту, санітарні стоки, утилізація метану, земельна документація
	«Родинська»	
	«Центральна»	
	«Стаханова»	
«Добропіллявугілля»	«Алмазна», «Білицька»	Горіння відвалів, шахтні води, утилізація метану, земельна документація
	«Добропільська», «Піонер»	
	«Новодонецька»	
«Укршахтгідрозахист»		Відкачування води, утилізація води

Беручи до уваги перелічені вище проблеми, постає необхідність пошуку засобів їх вирішення.

1.2. Методи та засоби вирішення проблеми

За результатами проведеного аналізу, було виявлено, що єдиними державними документами, які регламентують правила експлуатації породних відвалів є: Правила безпеки у вугільних шахтах (наказ 22.03.2010 N 62 державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду) та Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом (наказ 18.03.2010 № 61 державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду).

Згідно з п 8.5.6 Правил безпеки у вугільних шахтах, для запобігання, контролю і гасіння пожеж на вугільних породних відвалах, встановлено перелік необхідних для виконання дій; прописані формули розрахунку механічної захисної зони відвалу; визначено в часових рамках терміни перевірки териконів та визначено їх класифікацію відповідно до температури.

Проте жодних відомостей про засоби для обстеження геофізичних параметрів терикону не вказано. Також має місце занадто стисле формулювання моніторингу породного відвалу. На державному рівні не існує методичних рекомендацій по моніторингу териконів. Не існує також чіткого регламенту для приладів, якими проводиться моніторинг. Тепловізійним обстеженням породних відвалів займаються приватні підприємства. Згідно п 8.5.6 Правил безпеки у вугільних шахтах, на діючих відвалах, що горять, виміри температур проводяться тричі на рік (травень, липень, вересень); На діючих відвалах, що горять, виміри температури проводяться двічі на рік (травень, вересень); . На недіючих відвалах, що горять, виміри температури проводяться один раз на рік (серпень, жовтень). Тобто незброєним оком видно що у пожежі можуть статися у проміжках між перевітками, так, як часовий проміжок для них досить великий. Пожежами ж займається ДСНС

України і в них, на відміну від спостерігачів за станом породного відвалу, є чітка регламентація дій, спорядження та засобів гасіння пожеж.

Таким чином ми розуміємо що нам потрібно шукати нові методи і підходи для усунення проблеми. Використовуючи метод системного аналізу, було вирішено почати пошуки готового рішення за кордонами України. Сілезія — багатий на ресурси і багатолюдний край з великими поклади бітуму і бурого вугілля та потужною промисловістю, який має аналогічні проблеми з пожежами на териконах.

У Польщі самонагрівання породних відвалів відбувається у двох видобувних районах, тобто у Верхньому та нижньому сілезьких вугільних басейнах. Верхній сілезький басейн сягає 7400 км² і є найбільшим вугільним басейном у Польщі та одним із найбільших у Європі. Вугільні пласти складаються з кам'яного вугілля різного рангу від суббітумінозного до високолеткого бітумінозного вугілля, переважно гумінового, рідше сапропелевого. Вугільні відходи, що відкладаються у Верхньосілезькому вугільному басейні, включають аргіліти, аргіліти, пісковики та меншу кількість конгломератів і карбонатів. Вміст органічної речовини зазвичай становить 7–15%, але може перевищувати 30%. Вміст сульфідів у вугіллі коливається від 0,32% до 2,82%. Це, а також пірит (вміст 8%), змішаний з вугільною породою, створили сприятливі умови для довготривалого вогню вугільних відходів, який залишається важко контролювати.

Для контролю та оцінки впливу на навколишнє середовище породних відвалів, під час їхньої експлуатації та після її завершення необхідно здійснювати постійний моніторинг.

Загальний моніторинг вугільного терикону в Польщі включає:

- перевірку п'езометрів, завдяки чому вимірюється глибина залягання ґрунтових вод (зокрема для підземних вод), і фізико-

хімічні випробування цих вод відповідно до виду відходів, що зберігаються на відвалі;

- моніторинг дренажних вод, що полягає у фізико-хімічних дослідженнях стічних вод та вимірюванні їх об'єму під час відбору проб для фізико-хімічних досліджень;
- контроль якості поверхневих вод під впливом відвалу, що складається з фізико-хімічних випробувань води та вимірювання їх об'єму під час відбору проб для фізико-хімічних досліджень;
- вимірювання кількості опадів – за допомогою дощоміра;
- моніторинг газоподібного середовища (CO, CO₂, O₂) та теплового стану поверхні та внутрішньої частини відвалу;
- моніторинг просідання поверхні відвалу геодезичними методами, геодезичними, які виконуються уповноваженими особами, на основі встановлених орієнтирів;
- моніторинг стійкості схилу відвалу – геотехнічними методами.

Часові рамки проведення моніторингу за стандартами поляків в цілому схожі з нашими вітчизняними, однак в даному випадку за кордоном має місце більше виділення уваги на моніторинг повітряного та водного середовищ, а також рівня опадів:

Табл.2. Часові інтервали проведення моніторингу териконів в Польщі.

№	Назва вимірювань	Частота вимірювань
1	Рівень поверхневих вод	Кожні 6 місяців
2	Склад поверхневих вод	Кожні 6 місяців
3	Рівень дренажних вод	Кожні 6 місяців
4	Склад дренажних вод	Кожні 6 місяців
5	Рівень ґрунтових вод	Кожні 6 місяців
6	Склад ґрунтових вод	Кожні 6 місяців
7	Рівень газових викидів	Кожні 6 місяців

8	Склад газових викидів	Кожні 6 місяців
9	Вивчення рівня опадів	Кожного дня
10	Моніторинг просідання поверхні звалища	Раз на рік
11	Моніторинг стабільності схилів	Раз на рік

Моніторинг у межах вищезгаданого діапазону частот слід продовжувати щонайменше 5 років. Якщо після закінчення цього періоду отримані результати випробувань показують, що відвал не впливає на навколишнє середовище, то орган, що контролює звалище, може подати заяву про зменшення частоти випробувань за різними орієнтовними параметрами, але не рідше ніж раз на два років, а в разі електролітичної провідності не рідше одного разу на рік.

Згідно методології Сілезького гірничого інституту, оцінка пожежної небезпеки породного звалища заснована на зміні температури поверхні відвалу, та вмісту окису вуглецю всередині відвалу. Передбачається чотири основні термічні умови:

❖ *Відсутність самовільного нагрівання відвалу:*

- $t < 3 \text{ } ^\circ \text{C}$
- CO 0,002% од.

t - різниця температур між поверхневою температурою звалища

і температура навколишнього середовища,

CO - концентрація оксиду кисню у зразку газу, взятому зсередини відвалу.

❖ *Мимовільне нагрівання:*

- $3 \text{ } ^\circ \text{C} < t < 10 \text{ } ^\circ \text{C}$
- 0,002% об. < CO 0,015% од.

❖ *Невелика інтенсивна пожежа:*

- $10 \text{ } ^\circ \text{C} < t < 20 \text{ } ^\circ \text{C}$

- 0,015% об. <CO 0,05 % од.
- ❖ *Інтенсивна пожежа:*
- $t > 20^{\circ} \text{C}$
- $\text{CO} > 0,05\% \text{ од.}$

Для попередження (мінімізації) виникнення негативних явищ і процесів пов'язаних з териконами, необхідно проведення постійного їх геоекологічного контролю, активізації в їх межах та прилеглих територіях рекультиваційних робіт. Ефективність вирішення проблем територій вуглевидобувної галузі, зокрема процесів горіння териконів і відвалів, ефективно може здійснюватися на основі даних сучасних супутникових зйомок.

Методика контролю теплового стану відвалів порід кам'яновугільних шахт, дозволяє оперативно (при необхідності в моніторинговому режимі) отримувати кількісну інформацію про температурний стан поверхні будь якого відвалу. Таким чином, визначаються, не тільки стадії «горить – не горить», а ще «коли і де горить», а також прогнозувати найбільш ймовірні ділянки самозаймання за відсутності явних (видимих) осередків горіння. Дистанційні дослідження, дозволяють ціленаправлено спрямовувати заходи з пожежегасіння, ефективніше використовувати фінансові, матеріальні і людські ресурси.[5]

І дійсно, застосування супутникової зйомки та безпілотників - один з найпопулярніших методів збору термічних даних. Інфрачервона аерофотограметрія низької висоти дозволяє збирати дані з дуже хорошою роздільною здатністю; їх точність вже вимірюється в сантиметрах - набагато краще ніж датчики МДП супутникових знімків (серія Landsat, АСТРА).

На жаль, існує ряд обмежень. Перш за все, погодні вимоги суворо передбачають відсутність дощу або туману, чисте повітря, без вітру, стабільна температура повітря і повна хмарність. Пропускання будь-якої вимоги істотно вплине на точність та надійність теплових даних.

Використання супутникових знімків для виявлення самонагрівання породних відвалів вимагає розрахунків часток рослинності, теплових коефіцієнтів випромінювання, температури поверхні землі та інших обчислень.

Використовуючи теплові інфрачервоні датчики супутникових знімків, тобто серії Landsat, ASTER є економічно ефективною та економною технікою для моніторингу вугільних відходів та виявлення їх теплових аномалій.

Весь процес дистанційного зондування з супутника можна описати так:

- джерело енергії - висвітлює або подає електромагнітну енергію до цілі, що нас цікавить;
- випромінювання - енергія рухається від свого джерела до цілі;
- взаємодія з ціллю - залежно від властивостей як цілі, так і випромінювання;
- взаємодія з атмосферою - відбита та випромінювана енергія від цілі взаємодіє з атмосферою і передається через атмосферу;
- запис енергії на датчику - датчик збирає та записує передану інформацію електромагнітним випромінюванням;
- передача, прийом та обробка - енергія, зареєстрована датчиком, передається на приймально-обробну станцію, де дані перетворюються на зображення;
- інтерпретація та аналіз - оброблене зображення інтерпретується візуально та/або цифровим способом щоб витягти інформацію про ціль, яка була освітлена;
- застосування - кінцевий елемент процесу дистанційного зондування досягається, коли він надає нову інформацію або допомагає у вирішенні певної проблеми. [6]

Розроблена Сілезьким гірничим інститутом методика спостереження за пожежною небезпекою на відвалах вугільних відходів включає тепловий та газовий моніторинг. На такому великих териконах необхідно досліджувати значну площу, тому було прийнято рішення про використання тепловізійного методу для дослідження сміттєзвалища шляхом сканування території під час повітряного вильоту БПЛА.

Термічно-газовий метод моніторингу, прийнятий у проекті, включає:

- термічне сканування поверхні відвалу під час використання високоточної тепловізійної камери з метою дослідження та визначення місця розташування місць з підвищеною температурою;
- теплогазовий моніторинг за допомогою свердловинного методу шляхом буріння свердловин у масиві відвалу та введення труб на глибину близько 5 м разом із встановленням вимірювальних зондів у трубах та ініціюванням безперервного моніторингу з бездротовими даними система збору даних з фіксованим циклом вимірювань.

Постійний тепловий газовий моніторинг здійснювався свердловинним методом. Свердловини були пробурені в масиві відвалу, в який були введені труби на глибину близько 5 м з вбудованими головками з вимірювальними зондами. Безперервний моніторинг всередині свердловин, циклічний раз на годину, реєстрував температуру та концентрацію кисню, чадного газу та вуглекислого газу через бездротову систему збору даних.

Крім того, аналіз погодних умов проводився на постійній основі з використанням даних, записаних найближчою метеостанцією, розташованою в аеропорту Катовіце Муховець, з використанням так званої троянди вітрів.

Прикладом вітчизняного способу моніторингу терикону є планова температурна зйомка породного відвалу шахти «Родинська», надана

проводилися за допомогою цифрового термометра ТМ-902С з термопарою К-типу ТР-01. Термографічна зйомка проводилася за допомогою тепловізора Fluke Ti-32.

У підсумку, зібравши до купи усі методи моніторингу пожежної безпеки териконів, ми приходимо до висновку, що *контроль теплового стану відвалів може виконуватися наступними засобами:*

1. *Фотозйомка.* В даний час використовується інфрачервона аерофотограметрія низької висоти - один з найпопулярніших методів збору термічних даних. Супутникова зйомка та зондування безпілотниками дозволяє ефективно вирішити проблеми вугледобувної галузі з приводу процесів горіння териконів і відвалів.

2. *Тепловізійне обстеження пірометром.* Термографічна зйомка проводиться за допомогою тепловізорів. Температурна зйомка породних відвалів проводиться у відповідності вимогам пунктів 7.2. та 7.3. «Інструкції із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів»

3. *Свердловинний моніторинг.* У даному способі в масив відвалу за допомогою буріння на глибину встановлюють вимірювальні прилади для безперервного моніторингу теплових параметрів.

4. *Радіоактивний метод.* Осадкові породи містять радіоактивні елементи, такі як уран ($^{92}\text{U}235$, $^{92}\text{U}238$), торій ($^{90}\text{Th}232$). Ці радіоактивні елементи виділяють α -частинки під час розпаду. Під час цього процесу вони перетворюються на радон ($^{86}\text{Rn}222$, $^{86}\text{Rn}220$, $^{86}\text{Rn}219$) з періодом напіввиведення від 3,96 сек до 3,825 днів. Вимірювана концентрація α -частинок залежить від температури, тобто якщо температура вища, транспортування α -частинок вище.

5. *Вимір опору.* Опір породи обчислюється за допомогою кількох електричних полюсів шляхом вимірювання опору в Омах (Ом) на метр та порівняння їх із стандартним значенням. За нормальних умов опір осадової

породи становить 600-800 Ом/м, але у випаленій породі вона зростає до 1200-3000 Ом/м, через високу пористість, тріщини та низький вміст води.

Усі вони мають місце бути і можуть застосовуватися як окремо одне від одного, так і комбіновано. Однак, готової методології комплексного моніторингу пожежної безпеки териконів немає, тому постає необхідність проведення наукової роботи і винайдення найкращого рішення.

Варто додати що певні методи як-то *свердловинний моніторинг* (погружна система датчиків), *використання БПЛА* і наземних датчиків, можуть бути пристосованими не тільки для моніторингу пожежної безпеки, адже стандартні засоби вимірювання пилового - газового рівня та рівня забруднення землі та вод є зазвичай досить громіздкими та тривалими в часі. Більше того, для аналізу ґрунту та водного середовища необхідні пункти спостереження та лабораторії з обладнанням та реактивами. І хоча на ринку відсутні датчики-аналізатори ґрунтів та води (мається на увазі що технології такого рівня або недоступні для цивільних громадян, або є надто дорогими), однак деякі функції на кшталт системи попередження затоплення шахти ми в змозі реалізувати.

Член колегії Держкомгеології, начальник Головного управління гідрогеологічних робіт та геоекології, д-р техн. наук Є.О. Яковлев ще в середині дев'яностих років наголошував на тому, що подальший розвиток надрокористування в Україні повинен супроводжуватись формуванням еколого-геологічного базису і відповідного комплексу досліджень, перш за все, еколого-геологічного моніторингу ГС, з широким використанням GIS - технологій розробки баз даних, кадастрів, оцінки стану, моделей екологічного ризику ГС та ін.

Впровадження геолокації дало б ширші можливості для контролю за тепловим режимом терикону і вчасного попередження ризиків його самозаймання. Утім складність створення ІС полягає не тільки в програмному,

а й в апаратному забезпеченні. Для реалізації доступної ІС з підтримкою мультиплатформності та геолокації з постійним занесенням інформації про терикон в БД, необхідно наступне:

- пошук готових аналогів та їх вивчення для подальшого застосування можливих знайдених рішень у написанні власного програмного коду;
- застосування набутих під час навчання знань для створення програмного комплексу;
- пошук наявних аналогів апаратного забезпечення не лише в області протипожежних систем, а в різних областях застосування для використання можливих знайдених рішень у створенні власного апаратного забезпечення;
- застосування набутих під час виконання бакалаврської роботи навичок створення програмно-апаратного комплексу у проектуванні апаратних блоків для ІС.

Для реалізації методики моніторингу пожежної, газової та в цілому екологічної безпеки на вугільних породних відвалах потрібно провести аналіз останніх досліджень в таких областях як пожежогашіння, геологія корисних копалин; проаналізувати діяльність ДСНС України у сфері застосувань БПЛА та гашіння пожеж на териконах; дослідити закордонні практики та на основі знайдених і акумульованих в процесі наукової роботи матеріалів, створити методику, яка поєднає науковий досвід вирішення проблем з реаліями сьогодення і яка стане надійним рішенням для моніторингу породних відвалів на роки вперед.

Висновки: В даному розділі був проведений детальний опис проблеми та приведені методи для її виконання, які необхідно дослідити.

РОЗДІЛ 2. ІНТЕГРАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ДЖЕРЕЛ В СТВОРЮВАНУ ІНФОРМАЦІЙНУ СИСТЕМУ

2.1. Аналіз використання дистанційного зондування з супутника для моніторингу пожежної безпеки

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — спостереження поверхні Землі авіаційними (літаки, гвинтокрили, БПЛА) і космічними засобами (супутники), спорядженими різноманітними видами знімальної апаратури.

Дистанційне зондування поділяється на наступні види:

- I. **Активне**(вимушене випромінювання об'єктів, ініційоване штучним джерелом направленої дії), до якого належать:
 - i. *Радарна зйомка* – ґрунтується на випромінненні сигналу та вловлювання його відбиття. Одні з напрямків застосувань - це управління повітряним рухом та *виявлення погоди*.
 - ii. *Лідарна зйомка* - активне відеосканування поверхні шляхом неперервної фіксації відбиття від поверхні, яка опромінюється монохроматичним лазерним випромінюванням із фіксованою довжиною хвилі.
 - iii. *Теплова зйомка* – інфрачервоний діапазон знятих матеріалів, який досягається внаслідок фіксації теплового випромінювання поверхні та об'єктів, зумовленого сонячним випромінюванням або ендогенними процесами, та виявленні аномалій.
 - iv. *Спектрометрична зйомка* - вимірювання відбивної здатності поверхні чи шарів речовини. Його проводять у мікрохвильовому, інфрачервоному, а також у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Основне застосування – використання для вивчення гірських порід.
 - v. *Фотозйомка* – фотографування поверхні у всьому видимих діапазонах спектру. Застосовуються у картографії.

- vi. *Сканерна зйомка* - знімання поверхні за допомогою оптичних або багатоспектральних пристроїв – сканерів. Відмінність таких пристроїв від звичайних фотокамер полягає в тому, що сканер рухаючись уздовж чи вздовж і впоперек маршруту знімання поступово фіксує відбиття проміння від поверхні й спрямовує його в об'єktiv. При зніманні поверхні за допомогою сканера формується зображення з окремих елементів (пікселів), кожному з яких відповідає яскравість, випромінювання ділянки поверхні.
- ii. **Пасивне**(власне, природне відбите або вторинне теплове випромінювання об'єktiv на поверхні Землі, обумовлене сонячною активністю), до якого аналогічно з активним належать такі види зйомки як:
 - i. Фотографічна
 - ii. Телевізійна
 - iii. Спектрометрична
 - iv. Сканерна

Дані, отримані за допомогою ДЗЗ успішно використовуються у наступних сферах:

метеорологія: прогноз погоди та природних лих як-то повені, лісові пожежі та оцінка завданого ними збитку;

геологія: картографія, класифікація типів гірських порід, відстеження змін земної поверхні внаслідок стихійних лих;

сільське господарство: вивчення рослинності, виявлення змін в землекористуванні, точному землеробстві;

Застосування ДЗЗ для моніторингу пожежної безпеки вугільних породних відвалів може стати доцільною альтернативою діючим засобам через низку факторів.

По-перше, звичайні пожежні сповіщувачі (зазвичай це автоматизовані системи протипожежної сигналізації) не зовсім годяться за рядом причин: велика площа необхідного покриття, необхідність технічної підтримки, спеціалізованість і покрити ними велику площу лісу чи терикону неможливо та недоцільно. Однак завдяки інтернету речей стало можливе створення системи, що буде шляхом збирання даних від сенсорів сповіщати відповідні служби про надзвичайну ситуацію навколо потенційно-небезпечного об'єкту.

По-друге, у таких місцевостях найпоширенішим методом виявлення пожеж є контактний метод (коли особи, що перебувають безпосередньо біля місця пожежі інформують ДСНС про горіння). Процес займає дорогоцінний час і не факт що інформатор перебуватиме саме на початку займання, а не в момент, коли пожежа почне ширитись.

Інша, принципово відмінна, група методів збирання інформації ґрунтується на даних дистанційного зондування Землі, яке здійснюється за допомогою дронів, літаків або штучних супутників Землі. Супутники дистанційного зондування Землі можуть розміщуватися як на геліостаціонарній орбіті (сканують Землю двічі на день), так і на геостаціонарній орбіті, на якій період сканування може становити 2,5 хв [7].

Супутники діляться на групи в залежності від їх призначення:

- астрономічні - призначені для дослідження галактик, планет та інших об'єктів;
- біологічні – призначені для вивчення і проведення наукових експериментів над живими організмами в космічних умовах;
- метеорологічні – призначені для передбачення погоди та кліматичних змін;
- малі – штучні супутники невеликої маси, що застосовуються для вирішення широкого спектру задач;

- прикладні – призначені для вирішення технічних та господарських завдань;
- військові – призначені для використання у розвідувальній діяльності;
- навігаційні – призначені для навігації користувачів у просторі;
- космічні станції і кораблі - призначені для виходу людини у відкритий космічний простір.

Окремим анклавом ідуть супутники дистанційного зондування Землі. До їхнього складу входять як групи малих, так і повноцінні супутники різної відстані від землі та різного періоду обертання на орбіті. Для задачі моніторингу пожежної безпеки на вугільних звалищах важливу роль грає знімальне обладнання, а якої групи супутник не грає великої ролі, адже отримати сигнал законно можна з будь-яких, окрім військових.

На даний момент на орбіті землі є декілька супутників зі знімальною апаратурою, яка охоплює повністю або частково територію нашої держави, а саме:

- NOAA20 - Національне управління океанічних і атмосферних досліджень оператор метеорологічних супутників серії POES, відомими з яких є NOAA-16,18,19 і 20. Вони обладнані набором приладів для передбачення погоди і клімату; в них вмонтовані камери з розширенням у 4км/піксель та 1км/піксель.
- Suomi NPP – названий на честь метеоролога Verner E. Suomi, цей сконструйований США супутник несе на собі 5 інструментів для отримання зображення, а саме: мікрохвильовий радіометр, інтерформер Майкельсона, набір спектрометрів та 22-х смужних радіометр, який має змогу працювати як в ультрафіолетовому, так і в інфрачервоному діапазонах (0.45-12 мкм).
- Terra – він же EOS AM-1, супутник, що несе на борту 5 дистанційних зондів. Найпотрібніші з них у нашій справі – це

MISR з 9-тма цифровими фотоапаратами та MODIS, що фотографує в 36 діапазонах спектру, з довжиною хвилі від 0,4 мкм до 14,4 мкм і дозволом від 250 м до 1 км.

- Aqua – супутник, який володіє апаратурою MODIS, аналогічною до тієї, яка наявна на Terra. Його завдання полягає у моніторингу водних середовищ, а також складу атмосфери; кругообігу вуглецю, водних просторів, енергії; дослідження кліматичних змін

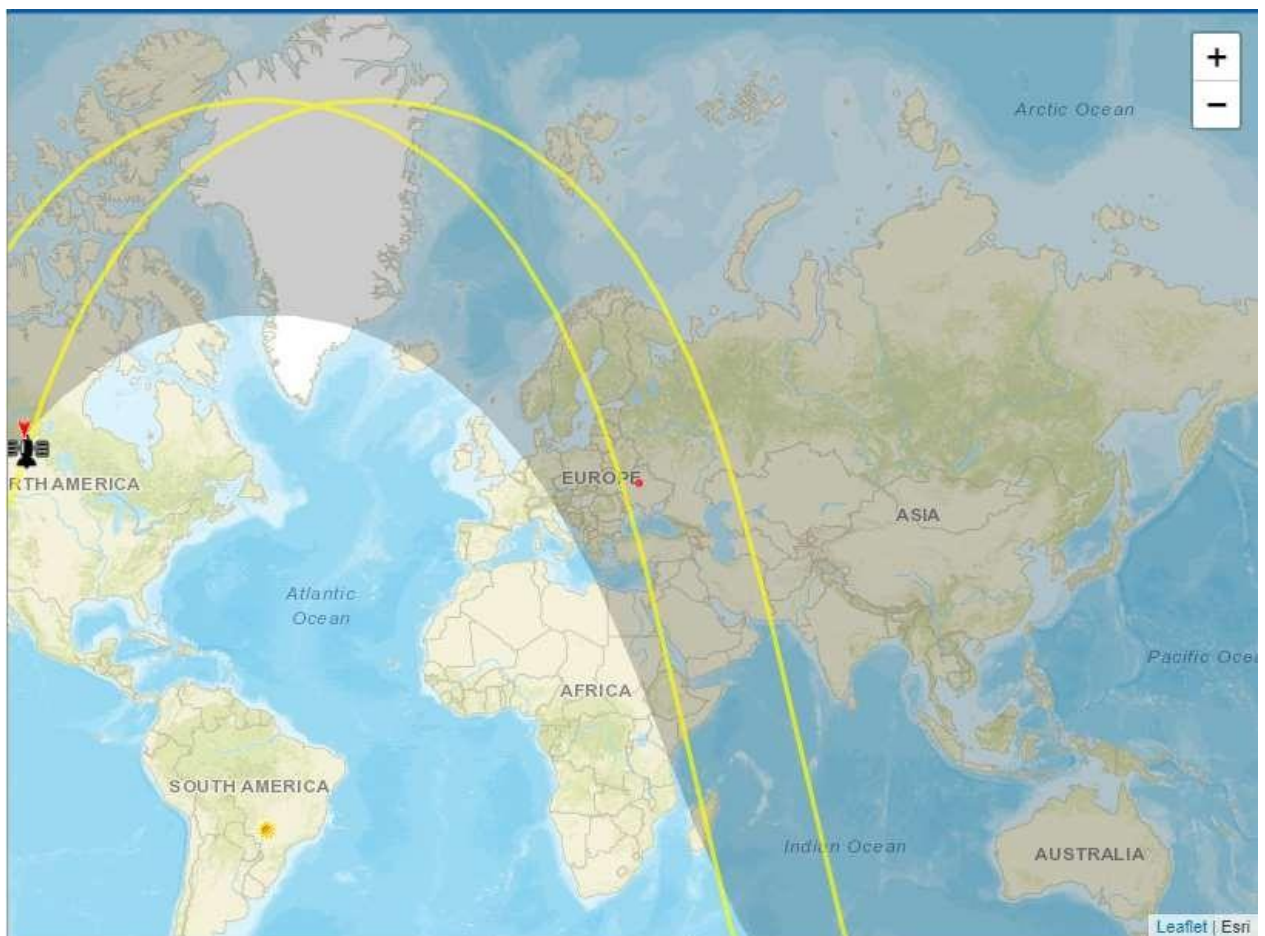


Рис.6. Відстеження шляху супутника NOAA за допомогою інтернет-ресурсу.

Ці супутники обертаються на геліосинхронній орбіті і двічі на добу сканують майже всю земну поверхню, за винятком невеликої зони непокриття поблизу екватора. На борту супутників встановлено термосканери високої роздільної здатності (1 піксель = 400 м), що дозволяє виявляти температурні

аномалії на поверхні Землі, які найчастіше пов'язані з ландшафтними пожежами, а також викидами тепла на промислових підприємствах.

Не всі супутники підходять для моніторингу пожеж, адже якісні знімки вимагають якісних приладів для фіксації зображення. Наприклад, одразу складно зафіксувати пожежу на супутниковому знімку острова Евбея 13 серпня 2019 року. Одна з характеристик космічних знімків – просторова розрізненість – коли вказаний розмір об'єкта земної поверхні дорівнює розміру пікселя. Знімок пожежі зроблений супутником Meteor-M2 з багатоканального знімального пристрою малого розширення МСУ-МР, просторове розширення якого дорівнює 1км. Іншими словами 1 піксель = 1 кілометр, що класифікується як низька розрізненість.

Класифікація космічних знімків за просторовою розрізненістю:

- дуже низька – 10 000–1 000 м;
- низька – 30–1 000 м;
- середня – 10–30 м;
- висока – 1–10 м;
- дуже висока – 0,3–1 м



Рис.3. пожежа в Греції 13 серпня 2019 року.

Велике значення має не тільки якість знімальної апаратури, а й радіоприладів для вловлювання радіосигналу. Мінімальними вимогами для отримання сигналу з супутників є V-образна антена з двох мотків мідного провoda довжиною 53 см, з'єднаних під кутом 120° . Утім, при подальшому декодуванні сигналу, картина буде менш контрастною. Для отримання якісного зображення, антена має бути якомога кращою.

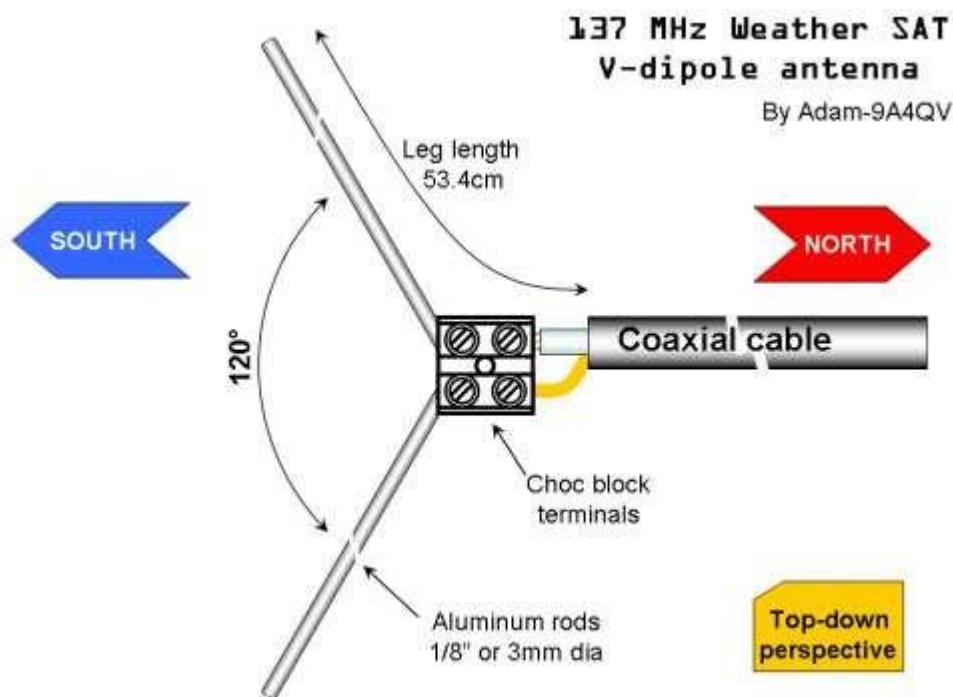


Рис.4. Конструкція необхідної для вловлювання сигналу антени.

Обробка даних дистанційного зондування включає в себе велику кількість різних методів, але суть їх зводиться до отримання карти на основі космічного знімка. Створена карта має відобразити інформацію про певні важливі для дослідника об'єкти і явища. Цей процес називається дешифруванням знімка. Залежно від завдання і доступних даних застосовують автоматичне, напівавтоматичне та ручне дешифрування зображень. Для обробки сигналу необхідне відповідне програмне забезпечення.

SDRSharp - Software Defined Radio Package безкоштовне програмне забезпечення для RTL-SDR пристроїв, які є USB перехідним радіосканером

(по факту ТВ-тюнер), що дозволяє через зв'язку з програмою **Orbitron**(ПЗ супутникої системи відстеження що використовується радіоаматорами) ловити сигнал від відслідкованого супутника та декодувати його у зручний для перегляду формат зображення «.bmp».

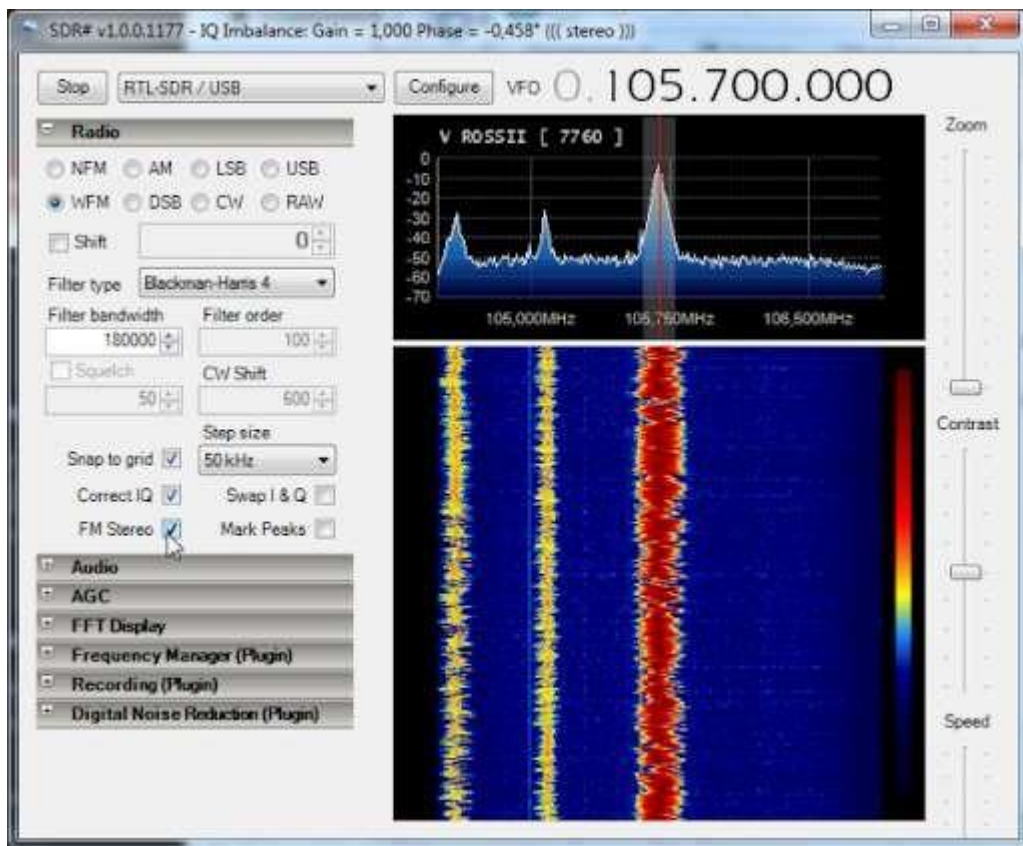


Рис.7. Вікно SDRSharp.

Наступним етапом має стати виявлення осередків вогню. Оскільки приведені вище докази складності методу пошуку осередків вогню вручну були впевненими, ми не будемо зосереджувати свою увагу на ручних на напівавтоматичних методах та розглянемо такий метод обробки зображення як *автоматично-тематичну класифікацію*.

Класифікація якраз і полягає в тому, щоб, проаналізувавши положення пікселя в просторі спектральних ознак, зіставити його з певним класом наземних об'єктів, тому іноді її називають розпізнаванням спектральних образів.

З цієї точки зору важливо розрізняти:

- спектральні класи – групи пікселів, що демонструють подібність за своїм положенням у просторі спектральних ознак, характеризуючись близькими значеннями спектрального відбиття;

- тематичні класи – стосуються типів наземних об'єктів, які потрібно розпізнати на знімку (наприклад, хвойна та широколистяна рослинність, вода, відкритий ґрунт тощо).

Отже, основне завдання класифікації полягає у встановленні зв'язку спектральних класів з тематичними.

Автоматична класифікація належить до автоматизованих способів дешифрування. У разі їх застосування користувачу не потрібно вручну обводити межі об'єктів, за нього це робить комп'ютерна програма. За ступенем участі користувача в процесі автоматизованого дешифрування алгоритми класифікації поділяють на дві групи: класифікація без навчання (автономна класифікація, неконтрольована чи некерована класифікація, кластеризація) та класифікація з навчанням (контрольована чи керована класифікація).

Некерована класифікація – (англ. *unsupervised classification*) також відома як класифікація без навчання, яка полягає у розподілі всіх пікселів зображення у відносно однорідні класи, ґрунтуючись лише на близькості їх спектральних характеристик. Некеровану класифікацію застосовують за відсутності еталонних даних про наземні об'єкти, тобто коли їх спектральні властивості апріорно невідомі через нестачу наземної інформації або відсутність добре виражених ознак ландшафту на самому знімку. У такому разі основним завданням аналітика є обґрунтування оптимальної кількості класів, а також визначення їх відповідності класам наземних об'єктів.

Керована класифікація (англ. *supervised classification*) також відома як класифікація з навчанням, яка передбачає віднесення кожного пікселя на знімку до відомого класу земних об'єктів, якому відповідає попередньо

визначений спектральний образ. Для отримання цього спектрального образу застосовуються сигнатури – еталонні області знімка, які добре репрезентують визначені тематичні класи. Значення пікселів сигнатур застосовуються як навчальні вибірки для налаштування (навчання) алгоритму розпізнавання. У процесі розпізнавання кожен піксель знімка послідовно порівнюється з еталонами та відноситься до того чи іншого класу[8].

Для некерованої класифікації використовують наступні програми:

ArcGIS - сімейство клієнтського програмного забезпечення , серверного програмного забезпечення та сервісів онлайн- географічної інформаційної системи (ГІС), розроблених та підтримуваних Esri. ArcGIS дозволяє користувачам розгорнути функціональність ГІС в тому місці де вона потрібна в настільному варіанті, серверному або у вигляді спеціально створеного додатки; для Web або для роботи в польових умовах.

QGIS - вільна крос-платформена геоінформаційна система. QGIS дозволяє користувачам створювати карти з безліччю шарів, використовуючи різні картографічні проекції.

Для керованої класифікації використовують наступні програми:

ENVI — програмний продукт для візуалізації та обробки даних дистанційного зондування Землі. Він являє собою набір інструментів для проведення повного циклу обробки даних: від ортотрансформування і просторової прив'язки зображення до отримання необхідної інформації та її інтеграції з даними геоінформаційних систем.

ERDAS Imagine - растровий графічний редактор та програмний продукт, спочатку розроблений компанією ERDAS Inc., та призначений для обробки даних дистанційного зондування (в основному даних ДЗЗ). Нині продукт випускає корпорація Intergraph. Продукт призначений до роботи з растровими даними. Він дозволяє обробляти, виводити на екран монітора та

готувати для подальшої обробки у програмних додатках ГІС та САПР різні картографічні зображення.

Залишилось розглянути переваги та недоліки методу дистанційного зондування з супутника для моніторингу пожежної безпеки.

Серед позитивних факторів наявні наступні:

Економічна вигідність.

На відміну від інших способів спостережень (використання БПЛА, тепловізійне обстеження пірометром), у даному випадку відсутня необхідність постійно перебувати поблизу місця пожежі. Для початку моніторингу можна обрати будь-яке місце, встановити обладнання та вести спостереження з однієї позиції скільки завгодно часу.

Масштабність.

Можливості фото-апаратури супутників, зокрема зондів NASA, дозволяють охопити всю країну, або її вагому частину, на відміну від інших методів, де потрібне постійне спостереження за потенційно-небезпечним об'єктом.

Серед негативних факторів наявні наступні:

Складність розробки програмного забезпечення

Виявляти пожежі на знімках вручну – марне рішення. Для програмного забезпечення необхідно проведення розрахунків: варто взяти до уваги низку факторів та досліджень. Для прикладу можна взяти обчислення для виявлення пожеж на супутникових знімках серії Landsat, ASTER.

Спочатку проводиться розрахунок випромінення, а потім температура променів переводиться з формату Кельвіна в Цельсій відповідно до $T_{\text{Celsius}} = T_{\text{Kelvin}} - 273,15$ (T_S : температура на супутнику). Щоб отримати температуру поверхні землі (LST), спочатку потрібно створити карту

тепловипромінювання на основі спектральних властивостей поглинання матеріалів поверхні, оскільки температури поверхні безпосередньо пов'язані з її фізичними властивостями.

По-перше, пропорція рослинності обраховується за формулою: $(P_v) = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2$,

де $NDVI_{min}$ і $NDVI_{max}$ = мінімальні та максимальні значення зображення NDVI (Нормований індекс різниці рослинності).

По -друге, тепловий коефіцієнт випромінювання (e) розраховували таким чином:

$$\text{Випромінювання } (e) = 0.004P_v + 0.986,$$

де P_v = Частка рослинності.

Температуру поверхні суші (LST) розраховували таким чином:

$$LST = TS / [1 + (DN_{TIR} * TS / P) * \ln(e)]$$

з використанням теплових (e) та (TS) значень, TS = температура на супутнику, DN_{TIR} = значення DN вихідної теплової смуги використовуваного зображення Landsat, і $P = 1.438 * 10^{-2} \text{ м К} = 14\,388 \text{ }\mu\text{м К}$;

P розраховується за: $P = h * C / S$, де h = постійна Планка ($6.626 * 10^{-34} \text{ Дж с}$), $C = 2.998 * 10^8 \text{ м/с}$, тобто швидкість світла, $S = 1,38\,9 * 10^{-23} \text{ Дж/К}$, тобто постійна Больцмана.

Інтенсивність самонагрівання розраховується на основі найвищих ($pixel_{max}$) та найменших ($pixel_{min}$) значень відповідно до: Індексу інтенсивності самонагрівання $SHI = (pixel_{max} - pixel_{min}) / 2$.

Для індексу необхідні значення пікселів взяті із зони вугільного відвалу, з максимально можливим уникненням будь-яких штучних споруд, озер або ставків під час розмежування. Ці коефіцієнти слід використовувати лише для нічних знімків із холодною погодою ($\sim < 10 - 15^\circ\text{C}$) та денного снігу.

Класифікація пожеж на звалищах вугільних відходів на основі ландсатських, астрових теплових смуг та зображень із тепловим покриттям. Значення співвідношення збільшуються, коли висока теплова активність.

Відмінності в альbedo та таких особливостях, як нахил і аспект, можуть значно вплинути на теплові аномалії. Гарячі точки з низькою тепловою активністю зазвичай видно на тепловій карті Landsat з різницею 2–3 С між пікселем max (гаряча точка) — піксель min (холодна снігова поверхня з нетермічною активністю).

Також гарячі поверхні на палаючих звалищах з невеликими розширеннями (площа гарячої точки менша, ніж супутниковий датчик TIR) важко виявити та відрізнити від оточуючих значень пікселів. Крім того, ці значення пікселів також порушуються під впливом сонця (те ж саме для зображень теплової камери). Однак зображення теплової камери більш чутливі до впливу сонця. Тому будь-яке ігнорування способу впливу сонячної радіації на поверхню може призвести до значного спотворення теплової інформації з поверхні. Навіть часткове сонячне світло значно порушує отримані значення температури[9].

Неточності алгоритму виявлення пожеж

По-перше, мінімальна потужність викиду тепла для його фіксації термосканером супутника становить 0,2 МВт (200 кВт). Тобто багаття, розведене на полі, система не зафіксує.

По-друге, фіксуються лише інфрачервоні хвилі, виділені в напрямку до супутника. Тому тління сміттєзвалищ, торфовищ, териконів, горіння підстилки лісу сенсори супутника будуть фіксувати далеко не завжди.

По-третє, фіксуються викиди тепла лише в момент прольоту супутника над територією. Так, супутник NOAA 20 робить повний оберт навколо Землі раз на 101.44 хвилини і гарний сигнал можна отримати в той час, коли супутник високо над горизонтом. Цей час для України настає о 03:47 і 13:22 і

тримається на протязі 10 хвилин, тому існує необхідність заздалегідь готуватися до сеансу зв'язку.

2.2. Аналіз використання дистанційного зондування з БПЛА для моніторингу пожежної безпеки

Як показує практика, БПЛА або дрон є доволі універсальним засобом для вирішення різноманітних задач. Війна на Сході України черговий раз доводить що залучення сучасних апаратів даної категорії при використанні відповідного програмного забезпечення суттєво збільшує ефективність багатьох видів моніторингу.

Області застосування дронів досить широкі: існує дрон-офіціант, дрон-поштар, поліцейський дрон і їм подібні. Однак, основними сферами є:

- аерофотозйомка місцевості і геодезія;
- моніторинг лісових ресурсів;
- військові цілі: безпілотна охорона, прикордонні безпілотники.

Для виконання спеціальних завдань, зокрема для аерофотозйомки, БПЛА повинен розглядатися в сукупності з його оснащенням і корисним навантаженням, для чого введений термін «безпілотна авіаційна система» (БАС). До корисного навантаження для задач аерофотозйомки належить цифрова фотокамера, як доповнення можуть використовуватися відеокамера, тепловізор, інфрачервона камера.

БПЛА класифікують за засштабом вирішуваних завдань, практичною стелею польоту, базуванням, типом паливної системи та ін. Однак, такий детальний опис буде недоречним в контексті даної роботи, тому було прийнято рішення виділити основні і найвагоміші в рішенні задач моніторингу ознаки поділу:

- 1) *по глибині застосування:*
 - великої дальності – понад 500 км;

- середньої дальності – до 500 км;
- малої дальності – з радіусом дії до 250 км;
- ближньої дії – з радіусом дії до 100 км;

2) *по злітній масі:*

- важкий – понад 500 кг;
- середній клас – до 500 кг;
- легкий клас – до 200 кг;
- малий клас – до 30 кг;
- міні-клас – до 1 кг;

3) *за аеродинамічною схемою компоновки:*

- літакового типу;
- гвинтокрильного (мультикомп'ютерного) типу;
- комбінованого типу;

4) *за видами управління:*

- автоматичне;
- самонаведення;
- телеконтроль;
- комбіноване.

Навігація здійснюється за допомогою бортового радіо-електронного оснащення, до якого відноситься автопілот, сервоприводи, канал зв'язку, навігаційна система та електроніка керування корисним навантаженням. Навігаційна система частіше всього представлена в

- приймачі глобальної навігаційної супутникової системи;
- видової і телеметричної інформації командно-навігаційної радіолінії з антенно-фідерним пристроєм;
- обміну командною інформацією бортової цифрової обчислювальної машини.

На дрон покладається завдання моніторингу пожежного стану терикону. Оскільки площа вугільного відвалу займає порівняно-невелику площу (розмір терикону у Ридултовах складає 0.37 км²), то найбільш економічно-вигідним та ефективним буде використання БПЛА середнього радіусу дії.

До найбільш популярних середніх БПЛА відносяться:

- 1) Syma X5SW 95 Технічні характеристики: управління через радіоканал, дальність управління до 150 м. Акумулятор ємністю 500 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 5,5 хв. Вага – 1216 г. Камера зовнішня в комплекті, розширення матриці – 2 Мп, роздільна здатність відеозйомки – 720р.
- 2) DJI Phantom 3 Standard Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 16 м / с, вбудований датчик GPS, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління до 1 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 4480 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 25 хв. Вага– 1216 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 12 мп, кут огляду 94 °, роздільна здатність відеозйомки – 1080р, роздільна здатність фотозйомки 4000x3000.
- 3) DJI Phantom 3 Professional Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 16 м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління до 2 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 4480 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 23 хв. Вага – 1280 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці – 12,4 мп, кут огляду 94°, роздільна здатність відеозйомки – 4К (2160р), роздільна здатність фотозйомки – 4000x3000.

- 4) DJI Phantom 4 Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 20 м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, 96 повернення в точку зльоту, система ухилення від перешкод, дальність управління – до 3,5 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 5350 мА·год дає можливість здійснювати польоти тривалістю до 28 хв. Розміри: 289,5x289,5x196 мм, вага – 1380 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 12,4 Мп, кут огляду – 94°, роздільна здатність відеозйомки – 4К (2160р), роздільна здатність фотозйомки – 4000x3000.
- 5) DJI Phantom 4 Pro Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 20м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління – до 3,5 км, Wi- Fi. Акумулятор ємністю 5870 мА дає можливість здійснювати польоти тривалістю до 30 хв. Вага – 1388 г. Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 20 мп, кут огляду 84°, роздільна здатність відеозйомки – 4К (2160р), роздільна здатність фотозйомки – 5472x3648.

Варто додати що цінова складова дронів змушує детальніше розглянути рішення про створення саморобного безпілотного літального пристрою. Наступним варіантом є розширення можливостей неспеціалізованих БПЛА шляхом встановлення додаткової апаратури або програмного забезпечення.

У ході польоту оператор отримує зображення, що передається з борту в режимі реального часу, опрацьовує інформацію про осередки займання і передає дані у відповідні служби. Однак більшість звичайних дронів не мають на борту додаткового обладнання, на кшталт тепловізорів, тому постає необхідність використання для обробки відеопотоку нейронних мереж та

іншого ПЗ щоб у результаті позбутися шумів і спотворень зображення та нечітких кадрів.

Для отримання якісної інформації про осередки запалювання, необхідне приглушення одних кольорів та насичення інших оскільки кольори шуканого об'єкта та фону можуть збігатися. Опрацюванням зображення та його перетворення покладене на програмне забезпечення та алгоритми, серед яких варто виділити наступні: просторові, арифметико-логічні операції та фільтрація.

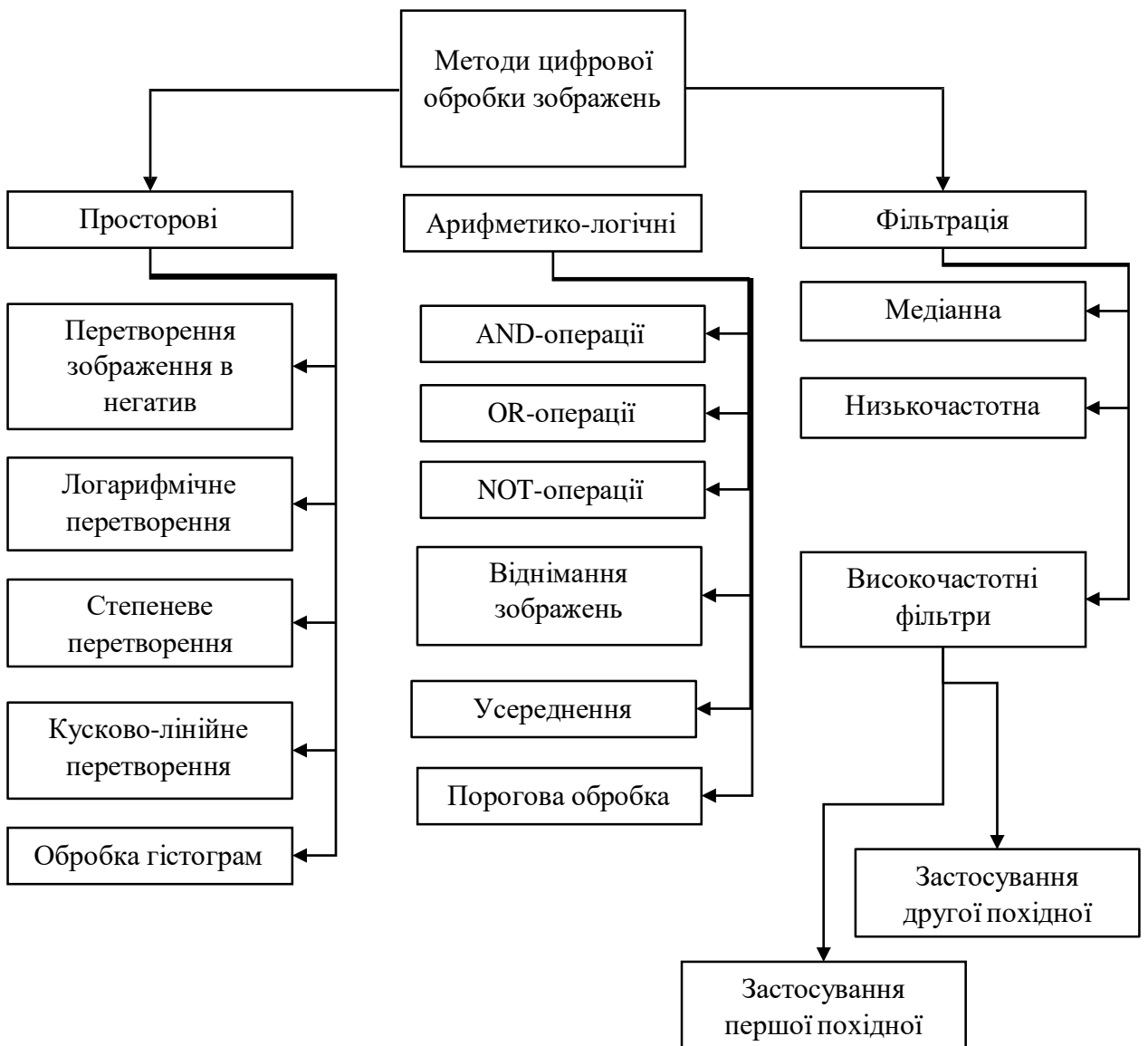


Рис.8. Елементарні методи цифрової обробки зображень.

За результатами досліджень методів опрацювання цифрових зображень, найбільш прийнятними для людського ока з ціллю задач розпізнавання є

I. *підвищення контрастності:*

- i. лінійне контрастування - використовують для узгодження динамічного діапазону вхідного сигналу зображення та динамічного діапазону яскравості пристрою відображення;
- ii. нелінійне контрастування (соляризація зображення) - отримав свою назву від слова «солярій» (лат. solarium, від sol – сонце). Результат здійснення даного перетворення призводить до освітлення певної частини зображення, що має рівні яскравості, що відносяться до середини динамічного діапазону;
- iii. зональне контрастування – препарування зображення, тобто здійснення такого перетворення яскравостей певної частини динамічного діапазону, що дозволяє дослідити або підкреслити певні властивості зображення.

Препарування – це клас поелементних перетворень зображень, більшість із яких має власну назву. Амплітудні характеристики процедур препарування, що найчастіше застосовують на практиці :

- a) бінаризація;
- b) зріз за яскравістю;
- c) інверсне контрастування;
- d) зональне лінійне контрастування[10];

II. *фільтрація:*

- i. просторова – один з простіших для програмної реалізації методів фільтрації, де перетворення виконується безпосередньо над значеннями відліків зображення;

- ii. лінійна просторова - застосовується для придушення шумів в зображенні, для компенсації нерівномірності чутливості, створення ефектів розмиття зображень. Вона також широко застосовується в задачах виділення контурів на зображенні, підкреслення верхніх просторових частот;
- iii. нелінійна просторова - сигма-фільтр призначений для придушення шумів на зображенні зі збереженням контурів (різких меж областей);
- iv. медіанний фільтр – відноситься до рангових методів фільтрації і являє собою евристично побудований фільтр, що має високу ефективність при придушенні імпульсних перешкод;
- v. дискретне перетворення Фур'є – популярний інструмент для частотної фільтрації дискретних обмежених за часом сигналів. Пряме двовимірне дискретне перетворення Фур'є перетворює зображення, задане в просторовій координатній системі (x, y) , в двовимірне дискретне перетворене зображення, задане в частотній координатній системі (u, v) ;

III. відновлення втрачених ділянок та їх ідентифікація.

на деякому фоні Лінійне контрастування - використовують для узгодження динамічного діапазону вхідного сигналу зображення та динамічного діапазону яскравості пристрою відображення.

Перетворення зображення в негатив – найпростіший метод просторового перетворення знімків, який застосовується в медицині для полегшення аналізів.

Серед позитивних факторів використання БПЛА виділяють наступні:

- невелику висоту зйомкою – від 10 до 200 метрів для отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десяті долі сантиметра) на місцевості;
- точковість – можливість детальної зйомки невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови;
- мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БПЛА легко транспортуються легковими автомобілями (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів;
- високу оперативність – весь цикл, від виїзду на зйомку до одержання результатів, займає декілька годин;
- екологічну чистоту польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище.[11]

До негативних факторів використання БПЛА відносяться:

- локальний масштаб застосування – у порівнянні з дистанційним зондуванням за допомогою супутника, знімальна апаратура якого охоплює всю країну або її частину, дрон може охопити лише одну ділянку за той же проміжок часу.
- економічний фактор - з іншого боку виділяти на кожен терикон БПЛА є зовсім програшною ідеєю в економічному плані, якщо додати в категорію витрат оплату праці оператора дрону.

2.3. Аналіз використання методу свердловин для моніторингу пожежної безпеки

Метод свердловин є по суті модифікованим за допомогою інтернету речей методом стандартного вимірювання температури на глибині 0,1; 0,5; 1,5

та 2,5 м за схемою, наведеною в мал.1. (див. рис. 1. до п. 7.2. «Інструкції...»). Модифікація полягає у збільшенні глибини взяття ґрунтових проб для термічного аналізу та встановлення додаткових модулів збирання та передачі даних. Взаємодія між пристроями відбувається засобами радіозв'язку різного діапазону частот. Найбільш ефективним в плані коефіцієнту корисної дії (ККД) за витратами енергії\передачею пакетів є радіоканал на ультра коротких хвилях – УКХ, який застосовують в інтернеті речей.

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – концепція, що описує мережу об'єктів – «речей», в яку включені пристрої, програмне забезпечення, датчики та інші технології з метою підключення та обміну даними з іншими пристроями та системами за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку мережі Інтернет. Основною відмінністю від «людського інтернету» є мала потужність, адже пристроям не потрібні відео чи зображення, натомість для виконання команд їм необхідні двійкові коди та сигнали, які з легкістю передаються короткими хвилями каналу радіо зв'язку. Одним із можливих варіантів рішення проблеми палаючих териконів є використання системи датчиків, поєднаних на базі IQRF.

IQRF – це платформа для низькошвидкісного, малопотужного, надійного та легкого у використанні бездротового підключення (RF - радіоканал), наприклад. для телеметрії, промислового контролю та автоматизації будівель. Його можна використовувати з будь-яким електронним обладнанням. Ми маємо можливість застосовувати його, коли необхідна бездротова передача інформації, напр. дистанційне керування, монітор, сигналізація, відображення віддалено отриманих даних або підключення більшої кількості пристроїв до бездротової мережі. IQRF — це повна екосистема одного бренду, що включає апаратне забезпечення, програмне забезпечення, підтримку розробки та послуги. Мережу IQRF можна легко підключити до Інтернету через хмарний сервер. IQRF ідеально підходить для впровадження Інтернету речей.

Параметри IQRf:

- РЧ діапазони: у всьому світі ISM 433 МГц, 868 МГц і 916 МГц
- На основі модулів приймачів із вбудованою операційною системою (ОС)
- Повністю відкрита функціональність залежить виключно від конкретного користувача програми, написаної мовою С
- Пакетно-орієнтований зв'язок, макс. 64 В за пакет
- Діапазон до кількох сотень метрів на стрибок, до 240 стрибків на пакет
- Дуже низьке енергоспоживання: 380 нА в режимі очікування, 25 мкА на прийомі
- Низька швидкість передачі даних: 19,2 кб/с. Попередньо: 1,2 кб/с, 57,6 кб/с і 86,2 кб/с

Не можна не бачити позитивних аспектів використання технології інтернету речей, адже IoT дозволяє користувачам отримувати дані пристроїв і використовувати їх для виконання того чи іншого завдання, наприклад для діагностики обладнання у важкодоступних місцях. В даному випадку такий підхід дозволяє скоротити кількість виїздів людей, заощадити гроші і одночасно знизити ризик отримання травми.

Водночас найбільшою негативною стороною використанні IoT є проблема конфіденційності. Існує вірогідність, що ваші дані можуть бути використані не за призначенням.

Іншою не менш негативною стороною є різні стандарти IoT. Наприклад IEEE & ISO/IEC. Якщо пристрої різних виробників використовують різні стандарти, взаємодія буде складнішою, вимагаючи додаткових шлюзів для переведення з однієї норми до іншої.

2.4. Аналіз використання методів виявлення газів та гідроаналізу

Контроль рівня викидів у повітря небезпечних речовин доцільніше використовувати методом буріння свердловин із введення труб начинених катарометрами на глибину близько 5 м таким чином щоб відстань між ними дозволяла мережевому покриттю передавати інформацію між датчиками. На даному етапі вже слід побудувати бездротову мережу для безперервного моніторингу та організувати інформаційну систему для обробки зібраних даних.

За інших умов оператор має бути забезпечений відповідним умовам захисним спорядженням та повинен проводити моніторинг за наступними методами:

- 1) за допомогою газоаналізатора;
- 2) аспіраційним методом;
- 3) методом обміну;
- 4) вакуумним методом;
- 5) методом виливання.

Порядок дослідження в місцях викидів забруднень за допомогою газоаналізатора напряму залежить від типу та серії приладу що використовується.

Аспіраційний метод ґрунтується на протягуванні досліджуваного повітря за допомогою аспірації через поглинач з поглинальним середовищем, у якому досліджувана речовина затримується завдяки хімічній або фізико-хімічній взаємодії, що дає змогу сконцентрувати у поглиначі потрібну для визначення кількість речовини.

Відбір проб повітря методом обміну. Досліджуване повітря багаторазово продувають через газову піпетку або калібрувальний бутель. Піпетку заповнюють досліджуваним повітрям за допомогою гумової груші або насоса при відкритих обох кранах або затискачах. Після відбору крани або затискачі закривають. При застосуванні калібрувальних бутлів їх обладнують

корками з двома скляними трубками, до зовнішніх кінців яких приєднані гумові трубки з затискачами. Перед відбором проби затискачі знімають, до однієї з трубок приєднують гумову грушу або насос і багаторазово продувають бутель досліджуваним повітрям. Після відбору проби обидві трубки перетискають затискачами.

Досліджуване повітря продувають через суху газову піпетку або калібрувальний бутель в десятикратній кількості по відношенню до об'єму посудини.

Вакуумний метод відбору проб повітря. У товстостінному калібрувальному бутлі створюють розрідження за допомогою насоса Комовського. Повітря відкачують із бутля до залишкового тиску 10-15 мм рт. ст., загвинчують затискач на гумовій трубці, від'єднують бутель від насоса і в кінець гумової трубки вставляють скляну паличку. В місці відбору проби бутель відкривають, і він швидко заповнюється повітрям через різницю тиску. Після відбору проби загвинчують затискач і в отвір гумової трубки вставляють скляну паличку.

Відбір проб повітря методом виливання. Газову піпетку або калібрувальний бутель наповнюють рідиною, яка не реагує з досліджуваною речовиною і не розчиняє її. З цією метою можна використати воду, якщо досліджувана речовина розчиняється в ній, то посудину заповнюють насиченими (гіпертонічними) розчинами натрію хлориду або кальцію хлориду.

В місці відбору проб рідину виливають, і в посудину надходить досліджуване повітря. Після цього перетискають гумові трубки затискачами і у кінці трубок встановлюють скляні палички або закривають обидва крани газової піпетки.

Визначення хімічної речовини в повітрі

Вміст хімічної речовини в повітрі розраховують по формулі:

$$X = (a \times V1) / (V \times V0) \text{ мг/м}^3,$$

де а – кількість речовини, знайденої в аналізованому об'ємі проби, мкг; V1 – загальний об'єм проби, см³; V – об'єм проби, взятий для аналізу, см³; V0 – об'єм аспірованого повітря, приведений до нормальних умов, дм³.

Об'єм повітря, який аспірований при відборі проб (Vt), приводять до стандартних умов: температурі повітря 20 °С (0 °С) і барометричному тиску 760 мм рт.ст. за формулою:

$$V20 = Vt (273 + 20) B / (273 + t) 760;$$

$$V0 = Vt 273 B / (273 + t) 760.$$

Якщо при відборі проб використовують вакуумний спосіб, то приведення об'єму повітря до нормальних умов (V0) проводять за формулою:

$$V0 = Vc 273 (B - P) / (273 + t) 760,$$

де Vt – об'єм повітря, який відібраний в виробничих умовах, дм³; B – атмосферний тиск, мм рт. ст.; t – температура повітря при відборі повітря, 0С; Vc – об'єм посуду, дм³; P – залишковий тиск, мм рт.ст. [15]

Висновки: Проаналізувавши всі наявні в нас дані, ми можемо прийти до висновку що не існує ідеальних готових варіантів. Кожен метод моніторингу має переваги в своїй конкретній області застосування та недоліки в інших. Даний факт спонукає нас до створення власної методології, яка б увібрала в себе всі позитивні риси попередніх методів для виконання поставлених нами цілей.

РОЗДІЛ 3.СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ КРИЗОВОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ НА ПРОЕКТУВАННЯ

3.1. Загальна характеристика стану кризового моніторингу

Вугледобувні підприємства несуть витрати на утримання вугільних териконів: насип протипожежних бар'єрів, проведення температурних вимірів, побудова межі механічної захисної зони і їм подібні засоби. У разі зміни власника на підприємстві, потенційні інвестори можуть виявити неприбутковим нести витрати на екологічний догляд подібних об'єктів. Як наслідок, суспільство стикається з низкою соціально-екологічних проблем, пов'язаних з негативним впливом териконів на стан навколишнього природного середовища.

Для уникнення таких випадків Міністерство вугільної промисловості України наказом на 22.05.2006 №290 «Про заходи щодо підвищення рівня екологічної безпеки у вугільнодобувних регіонах» постановили низку заходів для покращення контролю за процесом формування та експлуатації породних відвалів вугільних шахт та збагачувальних фабрик з боку керівників підприємств. Одним із них стало доручення НДІГС "Респіратор" розробки системи збору інформації про стан породних відвалів та рівень викидів забруднюючих речовин породними відвалами, що горять, у місячний термін; програму робіт, спрямованих на зниження екологічного ризику, існуючого внаслідок експлуатації породних відвалів, в напрямках у термін до 15.12.06.

Наказом на 25.07.2007 №276 «Про затвердження Програми створення сучасної системи комплексної безпеки» програму було затверджено та було передбачено три етапи її реалізації: Перший етап (II-III квартал 2007 р.); Другий етап (III-IV квартал 2007 р.);Третій етап (2008-2010 роки).

Автоматизована система комплексної безпеки шахт була врешті розроблена та запатентована 25.11.2008 року за номером патенту 37488. Її

назва - апаратно-програмний комплекс "КАТГ". Вона складалася з сервера, приєднаного до наземної комп'ютерної мережі з термінальними пристроями і центральним ПК, яка приймала спеціальні сигнали з датчиків, розташованих всередині шахти. Автоматизована система комплексної безпеки шахт, що містить автоматизовану систему протиаварійного захисту була спроектована для безпеки гірників, а не для моніторингу териконів. До того ж, 31 липня 2011 року нині зрадник українського народу Азаров запевнив, що уряд прикладе максимум зусиль для організації безпечної роботи у вугільній галузі. У вересні того ж року тодішній прем'єр-міністр заявив, що протягом 2012 року на всіх українських шахтах будуть встановлені автоматизовані системи контролю безпеки, хоча цього не сталося. 6 січня 2013 року «Прийнято рішення про утворення Центру комплексної безпеки підприємств вугільної промисловості», що опубліковане 06 січня 2014 року. Чергова малозрозуміла установа за датою реєстрації 17.01.2014 року мала підвищувати безпеку шахт.

Після Революції гідності, анексії Кримського півострову Російською Федерацією та її веденням гібридної війни на Донбасі, в Україні стало занадто багато справ щоб займатися безпекою шахт та териконів. Ми можемо прийти до логічного висновку: ніякої системи моніторингу впроваджено не було. Так, безумовно є декілька документів, які регулюють правила моніторингу териконів, але в них немає жодних деталей. На сьогоднішній день тепловим моніторингом териконів займаються приватні компанії із використанням тих засобів, які вони вважають потрібними. Не існує єдиного методу.

Утім, згідно з затвердженим наказом Мінвуглепрому України №582 посібником, на кожний породний відвал належить мати паспорт, у якому відображаються відомості про всі дії з ним, а також спеціальний журнал для записів результатів проведеного моніторингу. Саме на його основі буде проведений системний аналіз, а саме Послуги і планованої температурної зйомки породних відвалів шахти «Родинська» державним підприємством «Укрвуглереструктуризація» 2020 року.

Нас мало цікавлять тендери, запити цінових пропозицій вищевказаної послуги, тому для дослідження було обрано процес обміну даних між групою моніторингу безпосередньо на місці його проведення (тобто під час дослідження відвалу). Однак не буде зайвим коротко описати структуру «Центру енергоефективних рішень та тепловізійного обстеження».

З метою опису процесу розробки інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України у CASE-засобі AllFusion Process Modeler була розроблена функціональна модель, представлена у Додатку А.

3.2. Організаційна структура центру кризового моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів, роль і взаємодія підрозділу кризового моніторингу

3.2.1. Загальна схема організаційної структури центру кризового моніторингу

Організаційна структура Центру енергоефективних рішень та тепловізійного обстеження складається з:

- Директора - здійснює лінійне керівництво персоналом.
- Технічного директора - виконавчий директор з гарною технічною підготовкою, що розуміє всі бізнес-процеси організації та мислить стратегічно.
- Адміністративного директора - керує співробітниками секретаріату, канцелярії та господарського відділу, бере участь у підборі даного персоналу. Крім того, його обов'язки включають бюджетування, участь у вдосконаленні бізнес-процесів, розробку та контроль виконання регламентів, стандартів роботи.
- Координаторів регіону - складає графік роботи персоналу; бронює місця чи житло для проведення моніторингу, якщо моніторинг проводиться на достатньо далекій відстані від місця проживання персоналу; організовує

безпроблемний прохід персоналу на місце роботи; прийом робочого інвентарю (і т.п.).

- Експертів з моніторингу, хімічного менеджменту, техніки - висококваліфікований спеціаліст з вищою освітою, відповідну кваліфікацію і професійні знання з питань, що досліджуються, виконує службові обов'язки, пов'язані з провадженням діяльності у відповідній галузі, безпосередньо проводить експертизу та несе персональну відповідальність за достовірність і повноту аналізу, обґрунтованість висновків відповідно до завдання на проведення експертизи.
- Бухгалтера - спеціаліст, який веде бухгалтерський облік у компанії, займається документообігом, підготовкою та відправкою бухгалтерської та податкової звітності до контролюючих органів.
- Менеджера з адміністративної діяльності – управитель, який забезпечує ефективну роботу адміністративної служби підприємства.

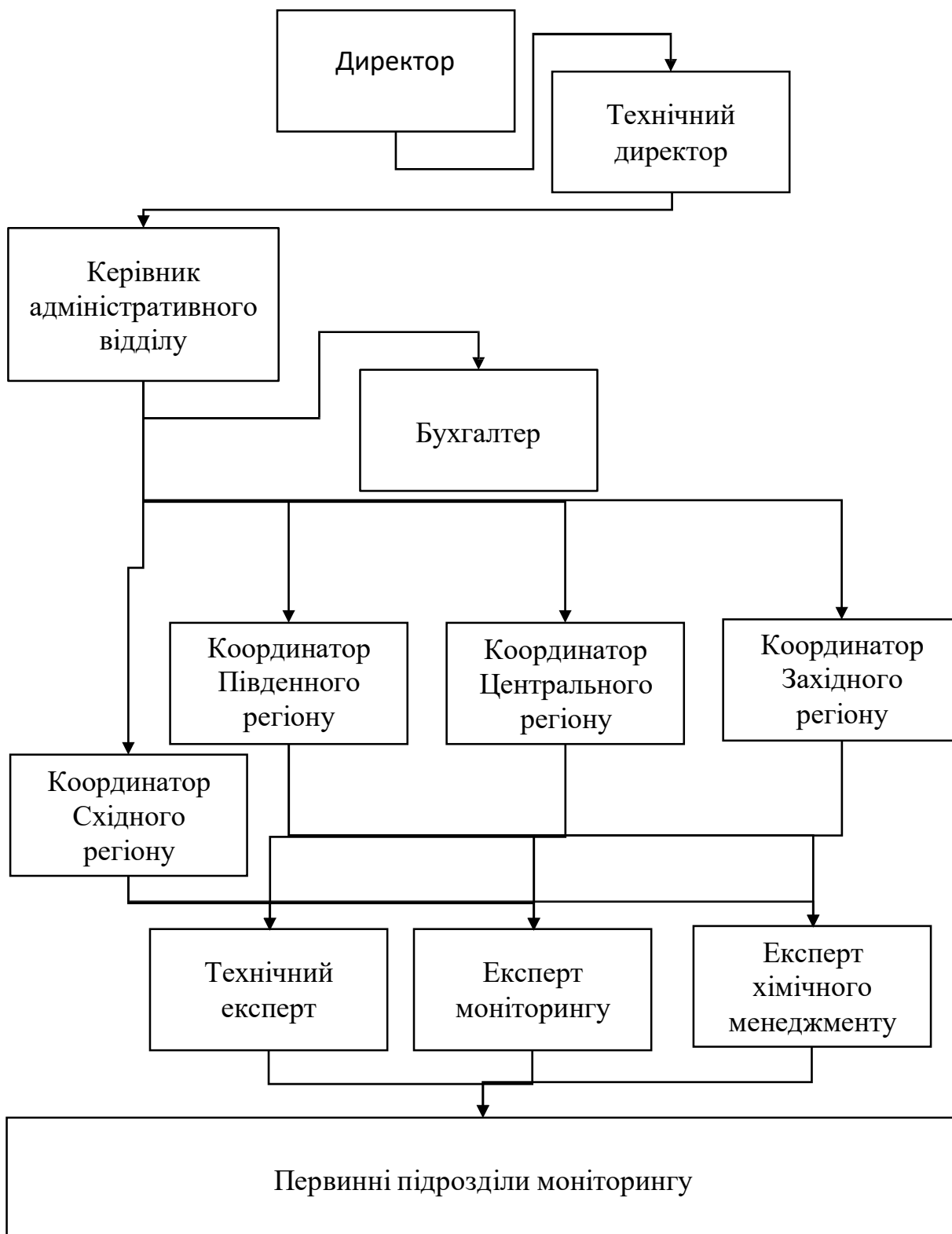


Рис.9. Організаційна структура Центру енергоефективних рішень та оперативного обстеження.

Структурним підрозділом, який буде розглядатися надалі є підрозділ теплового моніторингу.



Рис.10. Структурна схема підрозділу оперативного моніторингу терикону.

Керівник-аналітик – слідкує за робочим процесом, відповідає за виконання поставленого завдання, проводить попередній аналіз за результатами дослідження, звітує про виконану роботу, бере участь у вивченні небезпечних місць на об’єкті та допомагає оминати їх робочій групі.

Робоча бригада – група робітників, які займаються розставленням міток, по яким необхідно буде пройтися, використовуючи тепловізор та інші засоби; виконує огляд терикону; перевіряє температуру за допомогою щупів; займається транспортуванням дослідницького обладнання.

Спеціаліст-технік – особа з навичками володіння технічним спорядженням (а також його ремонту) для теплового моніторингу териконів.

3.2.2. Взаємодія з іншими відділами

Підрозділ оперативного моніторингу так само отримує зарплатню та виконує задачі, однак на відміну від звичайних відділів на підприємстві, його чисельність може регламентуватися виключно порядками компанії, що займається моніторингом (а порядки кожної компанії зазвичай тримаються в секреті). Окрім того, це не той випадок, коли працівники стоять за прилавком та звітують про всі дії бухгалтерії, адже в даному випадку робочі займаються фізичною та розумовою працею безпосередньо на місцях виявлення небезпечних або потенційно-небезпечних ситуацій. До того ж нам і не

потрібно розглядати взаємодію підрозділу з іншими відділами, адже тема нашого дослідження стосується виключно процесів моніторингу.

Під взаємодією з іншими відділами у даному випадку має розумітися процес обміну інформацією не тільки за допомогою людей та документів, але і між пристроями. Цього ми маємо досягти шляхом впровадження інформаційної системи.

3.3. Аналіз стану автоматизації

Стан автоматизації моніторингової компанії може різнитися у кожному окремому підприємстві, але зазвичай є достатнім для подальшого функціонування. Однак, варто зазначити, що такий стан відповідний лише для верхніх рівнів структури компанії. На даний момент не існує (або в кожного підприємства існує власна) системи, яка б підвищувала ефективність та швидкість моніторингу териконів. Натомість керівник вимушений покладатися на підручні засоби та результати аналізів: щупи для занурення в землю та перевірки температури, засоби вимірювання температури (пірометр), прогноз погоди, тощо.

Автоматизація процесу моніторингу териконів обумовлена наступними потребами:

1. Відсутність єдиної системи протипожежної безпеки в шахтах та на териконах. За відсутності рішення, проблема буде розвиватися й надалі.
2. Скорочення часу виявлення пожеж – з використанням методологій, інформаційних систем та новітнього обладнання, швидкість виявлення осередків запалювання зростає на порядок. Більше того, існує реальна можливість утворення автономної протипожежної системи сповіщення.
3. Мінімізація збитків – легше запобігти пожежам, аніж розбиратися з наслідками. Згідно документу Міністерства вугільної промисловості України №290 22.05.2006 року, впродовж 2005 року роботи з гасіння велись тільки на 26 відвалах, на що витрачено 13,78 млн. грн. З того часу

дані про пожежі не сильно розголошуються, однак сигнали про пожежі в 2016 (нижній ярус терикону Центральної збагачувальної фабрики "Червоноградська"), 2017 (палаючий терикон на Сокальщині) та навіть у 2020-2021 внаслідок бойових дій на Сході України.



Рис.11. Мапа sxid-ekomap.com.

На рисунку показано лише проблеми самоспалахувань на териконах, однак вони ведуть за собою й інші: просідання ґрунтів, зниження якості повітря, забруднення підземних вод, деградація ґрунтів.

Тепер ми можемо впевнено сказати, що у даному випадку рівень автоматизації підрозділу теплового моніторингу недостатній. З підвищенням рівня автоматизації підвищиться ефективність у роботі керівника та спеціалістів.

3.4. Системний аналіз

3.4.1. Опис нотації IDEF0

Метою побудови функціональних моделей зазвичай є виявлення найбільш слабких і уразливих місць діяльності організації, аналізі переваг

нових бізнес-процесів і ступеня зміни існуючої структури організації бізнесу. Аналіз недоліків і "вузьких місць" починають з побудови моделі AS-IS (Як є), тобто моделі існуючої організації роботи. Модель AS-IS може будуватися на основі вивчення документації, анкетування і опитування службовців підприємства, створення фотографії робочого дня і інших джерел. Отримана модель AS-IS служить для виявлення некерованих робіт, робіт не забезпечених ресурсами, непотрібних і неефективних робіт, робіт, що дублюються, й інших недоліків в організації діяльності підприємства.

Виправлення недоліків, перенаправлення інформаційних і матеріальних потоків приводить до створення моделі TO-BE (Як буде) - моделі ідеальної організації бізнес-процесів. Як правило, будується декілька моделей TO-BE, серед яких визначають найкращий варіант.

Найбільш зручною мовою моделювання бізнес-процесів є IDEF0, котру запропонував Дуглас Рос. На початку вона називалася SADT (Structured Analysis and Design Technique).

З погляду SADT модель може бути зосереджена або на функціях системи, або на її об'єктах. SADT-моделі, орієнтовані на функції, прийнято називати функціональними моделями, а орієнтовані на об'єкти системи – моделями даних. Функціональна модель представляє з необхідним ступенем деталізації систему функцій, які у свою чергу відображають свої відношення через об'єкти системи. Моделі даних дуальні до функціональних моделей і є докладним описом об'єктів системи, що пов'язані системними функціями.

У IDEF0 система представляється як сукупність взаємодіючих робіт або функцій. Така чисто функціональна орієнтація є принциповою – функції системи аналізуються незалежно від об'єктів, якими вони оперують. Це дозволяє чіткіше змоделювати логіку і взаємодію процесів організації.

3.4.2. Середовище аналізу

Аналіз виконаний з використанням AllFusion Process Modeler (BPwin), який є корисним, навіть передовим інструментом візуального моделювання процесів.

Інформація про послідовність дій проведення моніторингу представлена у вигляді набору діаграм стандарту IDEF0. Системі відповідає набір діаграм, які ілюструють процеси, що протікають у підрозділі та взаємозв'язок окремих структурних елементів.

Функціональна структура, яка була отримана в результаті аналізу, містить уявлення, що базуються на основі зібраної інформації про процеси, які виконуються у підрозділі.

Діаграми пронумеровані послідовно: верхній рівень (контекстна діаграма) позначається A0. Наступний рівень декомпозиції A1-An, де n - номер функції або блоку. При деталізації функції на складові частини діаграма отримує свій номер, що отримується з номера батьківської плюс порядковий номер на поточному рівні, наприклад, A2.3, що означає - третій блок в другій діаграмі. Таким чином, виходить набір взаємозв'язаних діаграм, що відображає всі процеси, що відбуваються у підрозділі.[12]

3.4.3. Розробка функціональної моделі процесів «AS-IS»

Проаналізувавши діяльність підрозділу теплового моніторингу ми можемо чітко вказати дані для проведення теплового обстеження, а саме

Запит на проведення моніторингу ділянки – постановка завдання керівнику підрозділу теплового моніторингу провести огляд відвалу та скласти висновок про його небезпечність. Включає в себе паспорт відвалу, де вказані всі дані про терикон.

Моніторинг проводиться під управлінням:

Закон України - нормативно-правовий акт вищої юридичної сили; в даному випадку маються на увазі всі кодекси та закони, на кшталт закону «Про

затвердження Правил безпеки під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин підземним способом» та їм подібним, які регламентують правила, обов'язки та привілеї, що стосуються моніторингу териконів.

Нормативно-правова документація – де зазначені правила, розпорядчі документи, інструкції під час проведення моніторингу і тому подібне.

ДСТУ/ГДК рівня забруднення – документи, що слугують настановою щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів.

Результатом є

Звіт проведеного моніторингу – підписаний керівником підрозділу документ, у якому проаналізовані дані проведеного моніторингу та визначений рівень небезпеки породного відвалу.

До механізмів вищевказаних функцій відносяться:

Керівник-аналітик – посадова особа, яка здійснює керування підрозділом, складає план робіт, слідкує за виконанням завдання, відповідає за життя і здоров'я підлеглих, перевіряє виконану роботу, аналізує отримані дані за допомогою сукупності власного досвіду, освіти, фаху та спеціальності.

Робочий – підлеглий, який займається в основному фізичною працею, тобто виконує монтаж та транспортування певного обладнання, проводить огляд відвалу щупами для перевірки безпечності маршруту.

Спеціаліст-технік – проводить тепловий моніторинг, відповідає за монтування обладнання, його обслуговування та ремонт.

Апаратне обладнання – все спорядження, яке необхідне для виконання моніторингу: від захисного спорядження і до засобів проведення моніторингу.

Після опису в цілому проводиться його декомпозиція за функціями. Діаграма декомпозиції першого рівня є результатом декомпозиції контекстної

діаграми і складається з трьох основних функцій, відповідно виконуваних в процесі проведення теплового моніторингу:

I. *Підготовка до проведення моніторингу* – на цьому етапі команда вивчає паспорт відвалу, проводить інструктаж, техніку безпеки, готує спорядження та складає план проведення моніторингу. Детальніше етап розкривається в наступних функціях:

- i. *Підготовка особового складу до виконання моніторингу* – в даному місці проводиться інструктаж та техніка безпеки.
- ii. *Вивчення параметрів терикону, створення плану маршрутів та огляду відвалу* – тут вся група вивчає паспорт відвалу для виявлення можливих небезпечних місць, планується схема маршруту обстеження тепловізором, проводиться первинний огляд відвалу.
- iii. *Підготовка спорядження до роботи* – технік за допомогою робітників монтує власне спорядження, перевіряє його готовність. Робітники перевіряють власні засоби. У разі необхідності проводиться ремонт та заміна.
- iv. *Візуальний огляд відвалу та складання плану проведення моніторингу* – керівник на основі всієї наявної інформації та власних засобів починає складати план: узгоджує маршрут, домовляється за провідників у разі необхідності і т.д.

II. *Проведення моніторингу* – даний етап проходить згідно всім нормам охорони праці, закону та правил компанії, яка надає послуги. Нижчезказані функції спрямовані детальніше розкрити цей етап:

- i. *Визначення стану навколишнього середовища для моніторингу. Ведення журналу* – згідно закону кожне обстеження починають з ведення спеціального журналу моніторингу; для об'єктивності досліджень, мають бути

вказані поточні параметри навколишнього середовища, які наявні на момент обстеження.

- ii. *Візуально-механічний огляд відвалу та перевірка маршруту для безпечного перебування на об'єкті* – працівники мають перевірити вказаний у паспорті чи звіті маршрут на наявність змін: проникнути щупами для з метою виявлення тріщин, порожнин т. ін. Виявлені небезпечні ділянки оточуються попереджувальними знаками.
- iii. *Встановлення точок для вимірів. Проведення термічного огляду* - при обстеженні теплового стану породних відвалів точки вимірів температур розташовуються за схемою, наведеною на рис.1. (мал. 1 до п 8.5.6 «Правил безпеки у вугільних шахтах»). Додаткові точки вимірів розташовуються у можливих (видимих) осередках самонагрівання.
- iv. *Складання звітів теплового огляду* – складається на основі отриманих результатів теплового моніторингу.

III. *Аналіз даних та створення звітів* – кінцева мета моніторингу, де підсумовуються всі отримані дані та на їх основі визначають рівень забруднення та ступінь безпеки відвалу.

3.4.4. Виявлені проблеми

Ми можемо бачити що основним недоліком у процесі проведення теплового обстеження породного відвалу є відсутній (або вкрай низький) рівень автоматизації. Якщо звернутись до того ж документу планової температурної зйомки породного відвалу шахти «Родинська», наданої відповідно до Договору №20/ОП-20 від 25 березня 2020р. згідно з Додатком №1 до Договору №20/ОП-20 від 25 березня 2020р, то ми можемо побачити що за протоколом засідання технічно-економічної ради було проведено обговорення щодо ефективності проведення моніторингу. ВП «Стандарт» ДП

«Мирноградвугілля» відмовилося укласти договір у зв'язку з небезпечними умовами для проведення робіт. У зв'язку з чим було обрано іншого виконавця теплового обстеження за демонстраційними матеріалами. Це свідчить про неоднорідний ступінь підготовки підприємств до умов моніторингу. Кожне з них має свої методи та засоби, які часто не охоплюють всю глибину проблеми або їхня ефективність ставиться під сумнів. Впровадження інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України ефективно вирішить проблеми вугледобувної галузі з приводу процесів горіння териконів і відвалів: впровадження методологій та інтернету речей підвищить ефективність, швидкодію та економічну вигідність моніторингу.

3.4.5. Виявлені задачі, які потребують автоматизації:

- 1) Проведення моніторингу.
- 2) Аналіз даних та створення звітів.

3.5. Аналіз подібних систем

Якщо розглядати саму методологію, то подібні системи виконуються на замовлення та впроваджуються для потреб певних підприємств як власними силами АСУ ТП шахти, так і спеціалізованими організаціями, науково-дослідними інститутами, тощо.

Системи протипожежної безпеки, спостереження, стеження, система пристроїв розумного дому та подібні їм системи існують у всіх областях життєдіяльності людини. Усіх їх об'єднує алгоритм: зібрати дані, обробити їх та показати користувачу. На більш складному рівні пристрої взаємодіють між собою без втручання людини.

Отже, подібні системи існують на багатьох шахтах. Єдиною їхньою відмінністю є призначення: більшість з них спрямована на виявлення метану та інших небезпечних речовин в повітрі, сповіщення протипожежної безпеки і т.д. Тобто іншими словами, вона призначена для шахт та шахтарів.

Наша задача полягає в створенні програмно-апаратного комплексу для моніторингу небезпечних речовин на териконах та легкому підлаштуванню методології під необхідні задачі. Перед нами постає завдання вибору не стільки самих компонентів системи як обрання способу передачі даних та мережевого протоколу, побудови необхідної нашим вимогам топології мережі.

Оптимальний склад поєднання методологій з точки зору ефективності буде використання БПЛА та погружні датчики для моніторингу газового та теплового стану відвалів та териконів; наземні датчики метану та пилу для шахтних полів, копера, складу продукції та шахти; датчики відстані для рівня підтоплення шахт, а також радіометр для виявлення небезпечних для здоров'я доз радіаційного випромінювання.

Найкращим вибором, безумовно, буде використання технології інтернету речей. Виключення людини з виробничого процесу за рахунок автоматизації та інформатизації збільшить швидкодію і продуктивність системи. Водночас зі збільшенням ефективності автоматизації збільшуються вимоги до системних операторів, адже люди залучаються в усе меншій мірі, але їх участь стає все більш ваговою (якщо автоматизована система має похибку, вона буде множити цю помилку, допоки її не стане помічено або усунено людським оператором).

Для розуміння переваг невтручання людини у взаємодію пристроїв, перш за все необхідно роз'яснити поняття «інтернету речей» та пояснити деталі його особливості стосовно інших методологій.

Інтернет речей — це мережа фізичних об'єктів («речей»), які мають вбудовані технології, що дозволяють здійснювати взаємодію з зовнішнім середовищем (ІТ-системами), передавати відомості про свій стан і приймати дані ззовні (через підключення до мережі).

Основою IoT є електронні пристрої, які взаємодіють із фізичним світом. Датчики збирають інформацію про фізичний світ, тоді як актуатори можуть впливати на фізичні сутності. І датчики, і виконавчі механізми можуть бути в багатьох формах, таких як термометри, акселерометри, відеокамери, мікрофони, реле, обігрівачі або промислове обладнання для виробництва або управління процесом. Мобільні технології, хмарні обчислення, великі дані та глибока аналітика (прогностична, когнітивна, у реальному часі та контекстна) відіграють важливу роль, збираючи та обробляючи дані для досягнення кінцевого результату керування фізичними особами шляхом надання контекстної інформації, інформації в режимі реального часу та прогнозування, яка має вплив на фізичні та віртуальні особи.

IoT можна інтегрувати в існуючі технології.

Поєднання двох елементів, які зазвичай функціонують окремо, відкривають великі можливості для ефективнішого використання ресурсів. Промисловість використовує IoT для оптимізації процесів розробки та виробництва продукції. Люди вже насолоджуються цими можливостями будинку, від оптимізації надання тепла, світла, безпеки та навіть надання їжі, пристосованої до їхніх потреб.

Інтернет речей підвищує кількість підключень до мережі Інтернет, рівень знань, ефективність діяльності та знижує обсяги витрат. Але неправильна робота у цій системі призведе до зниження рівня безпеки та опірності. Відносна простота пристроїв Інтернету речей створює стільки ж проблем, скільки можливостей.

Однією з вагомих проблем була велика кількість стандартів. IEC та ISO опублікували JTC1 та SC 41, щоб зосередитись на стандартах Інтернету речей, у той час як JTC1 відповідає за міжнародну стандартизацію в галузі IT і вже опублікував понад три тисячі стандартів з моменту їх формування, з 1987 р.

Наразі існують дві загально визнані організації: IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) та IEC (International Electrotechnical Commission – Міжнародна електротехнічна комісія, МЕК).

У різних галузях стандартизації взаємний вплив IEEE і IEC по-різному, але «у середньому» (є винятки) Америка любить IEEE, а Європа – IEC. За деякими напрямками IEC співпрацює з ISO, наприклад, областю IoT, що нас цікавить, займається ISO/IEC JTC1 (Joint Technical Committee in International and Communication Technology).

Існують, звичайно, й інші міжнародні організації зі стандартизації, наприклад, CENELEC, що розробляє EN (European Normative), ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector), американський NIST (National Institute of Standards and Technology) та багато інших.

У серпні 2018 року Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) опублікувала стандарт ISO/IEC 30141:2018 «Інтернет речей – Еталонна архітектура» (Internet of Things (IoT) - Reference Architecture) обсягом 84 сторінки, див. <https://www.iso.org/standard/65695.html> та <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:30141:ed-1:v1:en>, також підготовлений технічним підкомітетом ISO/МЕК JTC1 / SC41.

ISO/IEC 30141-2018 слугує основою для розробки (вказання) специфічних для контексту архітектур IoT і, відповідно, реальних систем. Контексти можуть бути різних видів, але вони повинні включати бізнес-контекст, нормативний контекст і технологічний контекст, наприклад, галузеві вертикалі, технологічні вимоги та/або специфічні для країни набори вимог.

З огляду на вищевикладений матеріал ми можемо розуміти що не зважаючи на всі переваги стандартизації, її темна сторона у вигляді надлишкової кількості стандартів, їх нерівномірного покриття, «війни

стандартів» і т.д., інтернет речей має величезні перспективи для різних сторін життєдіяльності людини та уже впроваджується в такі сфери:

- розумний будинок - з розумною системою кондиціонування або обігріву, розумним чайником або кавоваркою тощо;
- промисловість - програмні системи, сенсори, аналіз даних, розумні машини і обладнання;
- охорона здоров'я - медичні дрони, відкриття в генетиці, індивідуальний підхід до пацієнтів, аналіз роботи лікаря;
- агрокультура - прогноз кліматичних змін, обладнання для перевірки складу ґрунту, відстеження стану здоров'я тварин і навіть де знаходяться хворі тварини;
- ритейл - найпопулярніше це безконтактна оплата і спеціальні програми для покупок і доставки онлайн.

Крім перерахованих сфер, IoT також можна застосувати в енергетиці, для автомобілів, смартфонів і гаджетів, системи безпеки (в тому числі камери відеоспостереження) і звичайно ж - побудувати розумний місто.

3.5.1. Порівняння протоколів зв'язку

OSI (еталонна модель взаємодії відкритих систем) – модель мережевої архітектури, яка була розроблена Міжнародним інститутом стандартів (ISO). Метою розробки була стандартизація взаємодії компонентів комп'ютерних мереж (а саме принципів та правил). Відповідно до цієї моделі мережа розкладається на 7 рівнів, кожному з яких відповідає протокол, одиниця вимірювання, певний набір функцій. Протокол — це набір правил та угод, які використовуються під час передачі даних (комунікацій).

Табл.3. Мережева архітектура

№ рівня	Мережевий рівень	Одиниця виміру
7	Прикладний	Повідомлення

6	Уявлення	Повідомлення
5	Сеансовий	Повідомлення
4	Транспортний	Повідомлення
3	Мережевий	Пакети
2	З'єднування	Кадри
1	Фізичний	Біти

На даному етапі перед нами постає задача вибору найкращого в нашому випадку способу з'єднати пристрої між собою, тобто протоколу зв'язку. В ідеалі, протокол повинен бути абстрагований від більш нижнього рівня взаємодії.

Рівень з'єднування забезпечує передачу пакетів даних, що поступають від протоколів верхніх рівнів, вузлу призначення, адреса, якого також вказує протокол верхнього рівня. Протоколи рівня з'єднування оформлюють передані їм пакети в кадрах власного формату, поміщаючи вказаний адресний призначення в одному з полів такого кадру, а також супровідний кадр контрольної суми. Протокол рівня каналу має локальний зміст, призначений для доставки кадрів даних, як правило, в межах простої топології зв'язків та однотипної чи близької технології.

Задача створюваної системи полягає в обміні інформації між пристроями. Площа терикону достатньо велика, отже необхідний безпроводовий канал передачі даних на великі відстані. Для передавання сигналів на великі відстані необхідно, щоб вони володіли великою енергією. Відомо, що енергія сигналу пропорційна четвертому степеню його частоти, тобто сигнали з більшою частотою володіють більшою енергією. У практиці часто сигнали, що несуть у собі інформацію, наприклад, мовні сигнали, мають низьку частоту коливань і тому, щоб передати їх на велику відстань необхідно підвищувати частоту інформаційних сигналів. Домагаються цього шляхом «накладання» інформаційного сигналу на інший сигнал, який має високу частоту коливань. Накладання низькочастотного інформаційного сигналу на

високочастотний сигнал-носії для передавання на великі відстані називають модуляцією.

Будь-який аналоговий сигнал, наприклад, електричний струм з мікрофона, при передачі цифровими каналами зв'язку потрібно, як кажуть, «оцифрувати». Тобто виконати цифрову модуляцію. Можна, звичайно, і в аналоговому вигляді сигнал передавати, але з середини минулого століття так уже ніхто не робить - це загрожує високими витратами і дуже низькою якістю зв'язку.

Для повного розуміння необхідно назвати види модуляції та пояснити їхні відмінності.

Види модуляції:

- *Аналогова* - застосовується для передачі дискретних даних по каналах з вузькою смугою частот, типовим представником яких є канал тональної частоти, наданий у розпорядження користувачам загальних телефонних мереж. Аналогова модуляція є таким способом фізичного кодування, при якому інформація кодується зміною амплітуди, фази чи частоти синусоїдального сигналу несучої частоти. До недоліків слід віднести велику енергоємність – за відсутності інформаційного сигналу передавач випромінює щонайменше 50% потужності, великі труднощі з виділенням корисного сигналу на фоні ефірних перешкод, застосування потужного каскаду модулятора.
- *Цифрова* - основана на теорії відображення Найквіста – Котельникова. Відповідно до цієї теорії, аналогова неперервна функція, передана у вигляді послідовності її дискретних за часом значень, може бути точно відновлена, якщо частота дискретизації була в два чи більше разів вища, ніж частота найвищої гармоніки спектра вихідної функції. Перевагою цифрових методів запису,

відтворення і передачі аналогової інформації є можливість контролю вірогідності зчитаних з носія чи отриманих по лінії зв'язку даних.

- *Імпульсна* - застосовується при передачі дискретизованих даних. В імпульсній модуляції як носій модульованих сигналів використовуються послідовності імпульсів, як правило – прямокутних. У бездротових системах передачі даних в радіозв'язку ці послідовності заповнюються високочастотними коливаннями, створюючи тим самим подвійну модуляцію.

На даному етапі розвитку радіозв'язку найперспективнішою є ширше застосовувана "цифрова модуляція". Вона не є окремим видом модуляції, а є системою підготовки (перетворення) інформаційного сигналу в цифрову форму перед подачею його на модулятор. За рахунок того, що цифрова інформація має лише два значення ("0" та "1") різко підвищується завадостійкість, захищеність радіоканалу, т.к. розібрати наявність і відсутність сигналу на тлі радіоперешкод набагато простіше, ніж його плавна зміна.[13]

У більш спрощеному та зрозумілому для пересічного громадянина вигляді результатом використання цифрової модуляції є Wi-Fi; аналогової – радіо зв'язок; імпульсної – Ethernet. Утім таке спрощення є певною мірою злочинним, адже протоколи зв'язку зазвичай комбінують типи модуляції, створюючи надійні засоби передачі даних для будь-яких цілей.

Найкращим варіантом комутації пристроїв інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України буде використання УКХ радіозв'язку.

Радіозв'язок — різновид зв'язку, у якому носієм інформації є радіохвилі. Чим коротшою є хвиля, тим менше інформації вона може нести, але тим більше дальність її передачі. Проста і зрозуміла теза - чим коротше довжина

хвилі - тим менш вона схильна до перешкод і згасань, проникаюча здатність збільшується, здатність огинати перепони зменшується. Тобто якщо довжина хвилі 11 метрів (27 МГц) – то ця хвиля просто огинає щільні скупчення дерев у лісі і знаходить шлях для поширення, але при цьому для збільшення дальності зв'язку на відкритому просторі – потрібне збільшення потужності передавача. А хвиля, довжиною, наприклад 70 см (433 МГц), практично не буде огинати дерев, а поширюватиметься виключно за рахунок просвітів між деревами, своєї проникаючої здатності та можливості перевідображення. Однак, за рахунок своєї завадостійкості та малого згасання, на відкритому просторі дальність зв'язку буде обмежена лише зоною прямої видимості, за низької потужності передавача.

Існують довгі хвилі (ДХ), середні хвилі (СХ), короткі хвилі (КХ) та ультракороткі хвилі (УКХ).

Типовий діапазон стандартної домашньої мережі Wi-Fi може досягати 100 метрів на відкритому повітрі. Однак будівлі та інші матеріали відображають сигнал, що робить більшість мереж вужчими. Зазвичай найпоширеніші діапазони від 10 до 35 метрів.

Радіомодуль nRF24L01+ з підсилювачем та антеною має змогу передавати пакети на 1 кілометр. При прямій видимості +-1800 метрів. У місті, зважаючи на перепони бетонних конструкцій, дальність зв'язку приблизно 450 метрів.

Перевагами використання радіосигналу є велика дальність покриття, висока завадостійкість та низьке енергоживлення. Дані результати досягаються за рахунок неможливості відправляти файли великого обсягу (на кшталт фото чи відео) як це можна зробити через Wi-Fi, однак в нашому випадку такі потужності не потрібні: всій системі достатньо кількох байтів для запису даних з датчиків, а швидкість їх відправки буде моментальною.

Варто обмовитись що при явних перевагах радіозв'язку, модуль Wi-Fi буде все рівно необхідний для виводу даних в мережу. Тільки комбінування методологій дасть нам змогу використати їх сильні сторони там, де це потрібно.

3.5.2. Порівняння мережевих протоколів

Існують готові рішення на кшталт Wi-Fi та LTE. Обґрунтувати недоцільність їх використання для інтернету речей наше завдання. Для прикладу можна взяти ту ж саму шахту з териконом та збагачувальною фабрикою. Для покриття району стоїть умовна станція LTE. На умовній фабриці більше тисячі лічильників. Якщо кожен лічильник під'єднати до базової станції (трафік буде мінімальним), то для живих користувачів місця не залишиться, а потрібно ще інформатизувати терикон та шахту. Якщо систему датчиків на териконі ще можна забезпечити живленням, то протягнути кабель заради цієї мети не дуже зручно. Отже, радіомодуль датчика повинен працювати від батареї. Утім навіть гарну батарею Wi-Fi і LTE повністю розрядять за кілька днів. Наша ж задача полягає в мінімальному енергоживленні як мінімум рік без зміни\дозарядки акумулятора\батареї.

Для задоволення потреб в енергоживленні, мінімальній швидкості, але при цьому великій дальності передачі сигналу найкращим вибором стане LoRa.

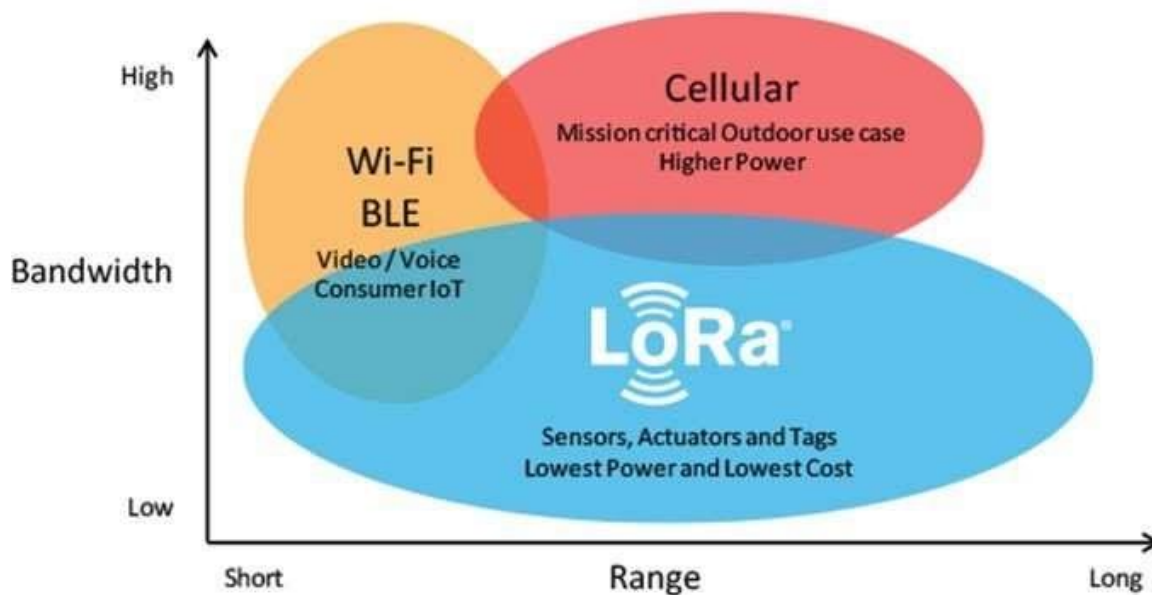


Рис.12. Сфера застосувань LoRa.

3.5.2.1. Огляд мережевого протоколу LoRaWAN

LoRa™ (від англ. Long Range) – це технологія та однойменний метод модуляції. Метод модуляції LoRa запатентований компанією Semtech, заснований на техніці розширення спектру (spread spectrum modulation) та варіацію лінійної частотної модуляції (chirp spread spectrum, CSS), при якій дані кодуються широкосмуговими імпульсами з частотою, що збільшується або зменшується на певному часовому інтервалі. Таке рішення, на відміну від технології прямого розширення спектру, робить приймач стійким до відхилень частоти від номінального значення та спрощує вимоги до тактового генератора, що дозволяє використовувати недорогі кварцові резонатори. LoRa використовує пряму корекцію помилок (forward error correction, FEC), працює в субгігагерцовому діапазоні частот (ствердження на рахунок субгігагерцового діапазону не зовсім вірно, є трансівери SX1280/SX1281, що працюють на частоті 2,4 ГГц).

LoRa дозволяє демодулювати сигнали на рівні 20dB нижче за рівень шумів, тоді як більшість систем з частотною маніпуляцією (frequency shift keying, FSK) можуть коректно працювати з сигналами на рівні не нижче 8-

10dB над рівнем шумів. Модуляція LoRa визначає фізичний рівень (physical layer, PHY, OSI level 1), який може використовуватися в мережах з різною архітектурою – mesh-мережі, зірка, точка-точка та інші.

Завдяки високій чутливості (-148dbm) LoRa ідеально підходить до пристроїв з вимогами низького споживання електроенергії та високої стійкості зв'язку на великих відстанях.

Працює це в такий спосіб. Базова станція слухає ефір у заданому діапазоні частот. Коли вона чує запит від якогось із пристроїв, то відповідає йому на частоті звернення. Ширина каналу становить 125 кГц, максимальна швидкість – трохи більше 5 кілобіт/с. Цей стандарт Інтернету не створений для перегляду потокового відео. Його завдання максимально швидко та гарантовано передати невелике повідомлення від датчика на базову станцію.

Залежно від радіоумов йде вибір оптимального набору параметрів зв'язку. За це відповідає SF (spreading factor) - коефіцієнт, до якого прив'язуються параметри передачі та прийому. SF - це ціле число, у стандарті він передбачений від 12 до 7. Чим вище SF, тим краще перешкода лінії, але тим нижче швидкість і тим більше часу в ефірі займає передача. Наприклад, максимальна завадостійкість досягається SF=12. При цьому час пакету в ефірі становить 2,466 сек, а швидкість - 292 біт/сек.

Проте що більше датчиків використовуватимуть базову станцію, то більше часу в ефірі вони займуть. Тому, за хороших радіо умов, SF буде менше. Зростає швидкість – падає час передачі.

Модуляція LoRa визначає фізичний рівень передачі даних, у той час як LoRaWAN™ це відкритий протокол для високоємних (до 1 000 000 пристроїв в одній мережі) мереж із великим радіусом дії та низьким енергоспоживанням, який LoRa Alliance стандартизував для малоспоживаючих глобальних мереж (Low Power Wide) Area Networks, LPWAN). LoRaWAN мережа організована як мережа типу зірка та включає різні класи (A, B та C) вузлів для оптимізації

компромісу між швидкістю доставки інформації та терміном роботи при батарейному живленні.

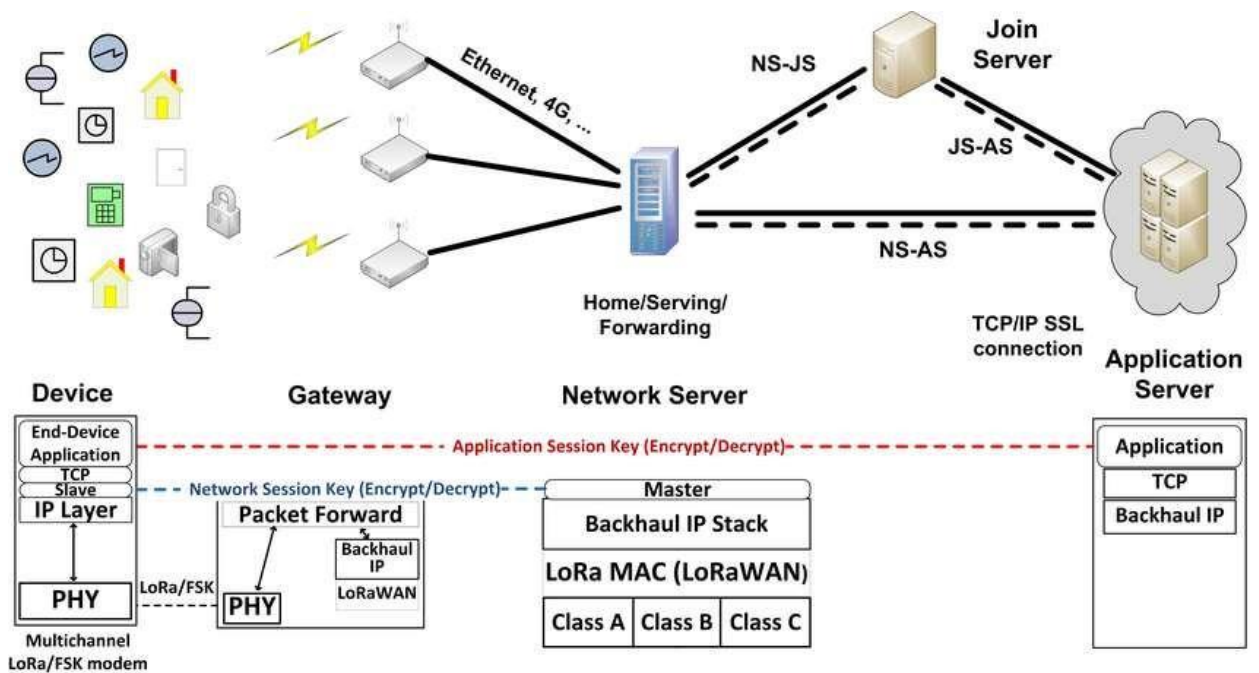


Рис.13. Схема маршрутизації LoRaWAN.

3.5.2.2. Огляд мережевого протоколу MQTT

Ще один протокол передачі даних для інтернету речей є MQTT - протокол обміну повідомленнями за шаблоном видавця-підписника (pub/sub).

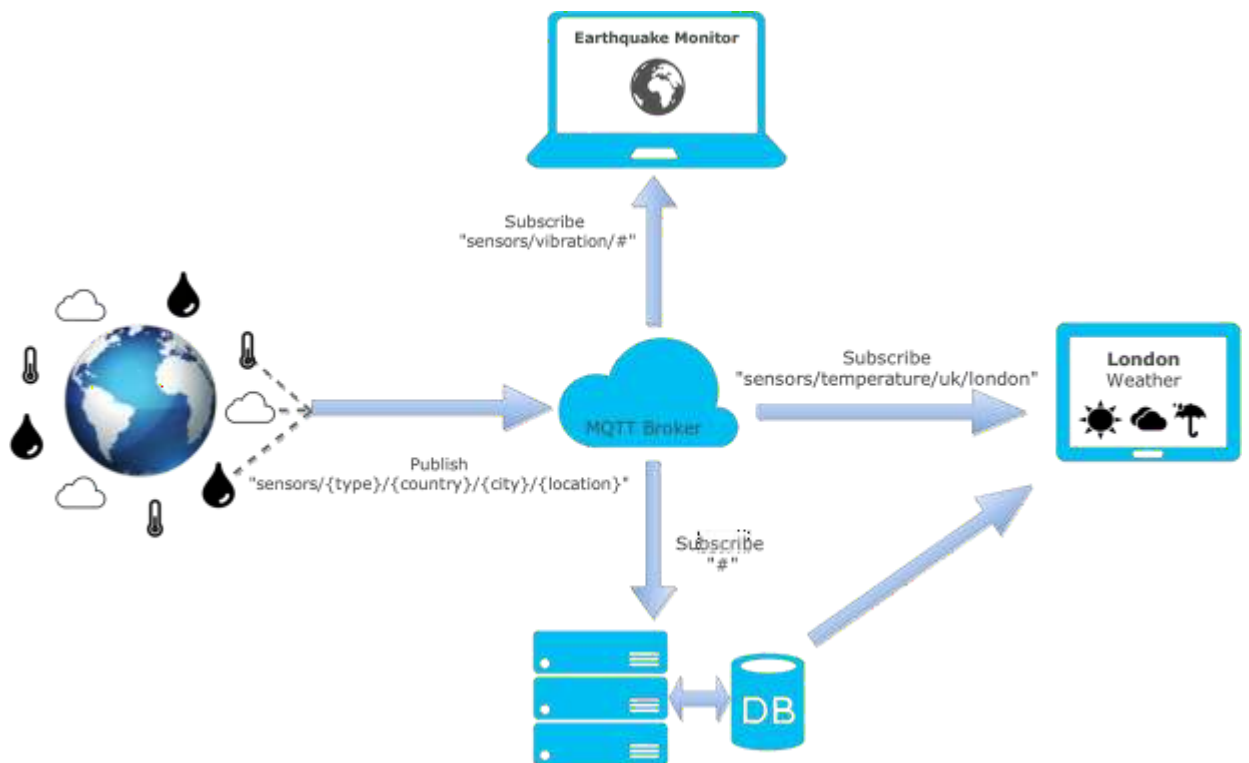


Рис.14. Брокер MQTT

З урахуванням серйозних умов експлуатації протокол створено невеликим і легким. Він ідеальний для пристроїв слабкої потужності та з обмеженим часом автономної роботи. До них зараз відносяться і всюдиусці смартфони, і число датчиків і підключених пристроїв, що постійно зростає.

Таким чином, MQTT став протоколом потокової передачі даних між пристроями з обмеженою потужністю CPU і/або часом автономної роботи, а також для мереж з дорогою або низькою пропускнуою здатністю, непередбачуваною стабільністю або високою затримкою. Саме тому MQTT відомий як ідеальний транспорт для IoT. Він побудований на протоколі TCP/IP, але є відгалуження MQTT-SN для роботи з Bluetooth, UDP, ZigBee та інших мережах IoT, відмінних від TCP/IP.

Згідно IBM, MQTT має такі властивості:

- Нейтральний до вмісту повідомлення;
- Ідеально підходить для розподілених комунікацій «один до багатьох» та роз'єднаних додатків;

- Оснащений функцією LWT (Last Will and Testament, «остання воля та заповіт») для повідомлення сторін про аномальне відключення клієнта;
- Покладається на TCP/IP для базових завдань зв'язку;
- Розроблено для доставки повідомлень за шаблонами "максимум один раз", "мінімум один раз" та "рівно один раз".

3.5.2.3. Огляд мережевого протоколу APRS

APRS (Automatic Position (або Packet) Reporting System) - це спеціальний варіант пакетного радіозв'язку, протокол якого був зареєстрований у 1992 Бобом Брунінг (WB4APR). Від стандартного пакетного радіо APRS відрізняється двома важливим позиціям. По-перше, це відображення карт та інших даних і, по-друге, використання протоколу, який оновлює дані у реальному масштабі часу. Будь-який об'єкт просто надсилає інформацію, а всі приймальні станції її реєструють. У пакетному зв'язку основна маса користувачів використовує з'єднання точка-точка, які зазвичай носять епізодичний характер. Це не дозволяє контролювати події в реальному часі, де термін життя інформації дуже короткий. Сьогодні APRS є найбільшою у світі системою реального масштабу часу, за допомогою якої можна стежити як за будь-якою спеціальною подією, так і за критичними ситуаціями.

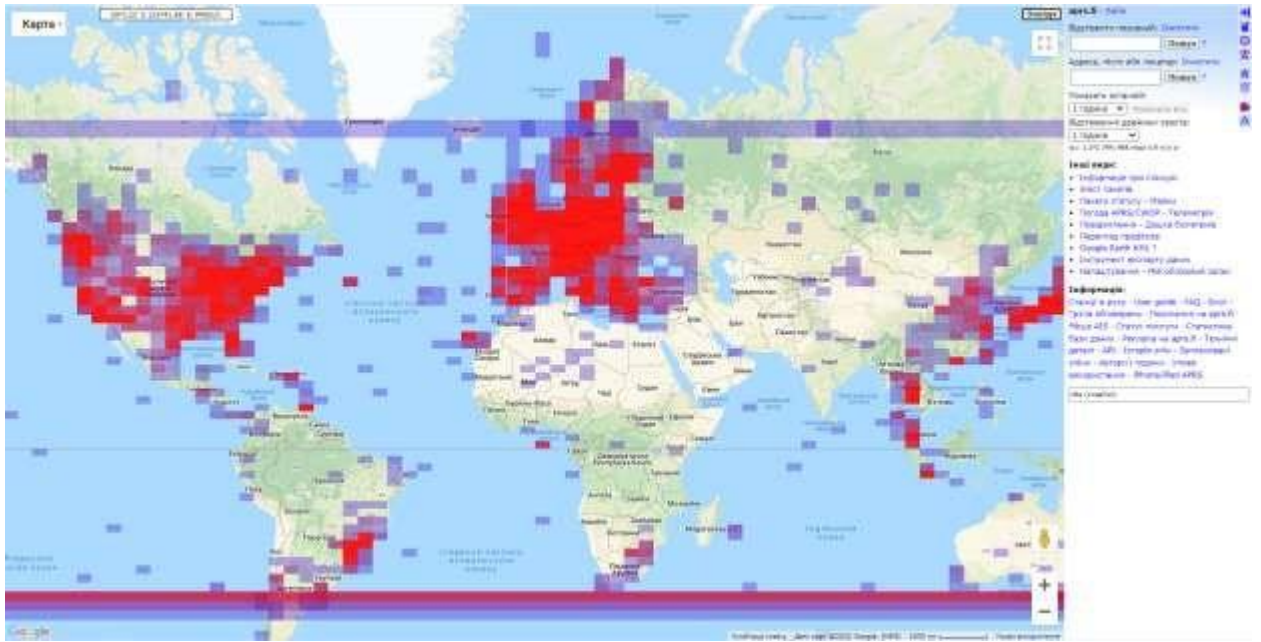


Рис.15. Інтерактивна мапа покриття APRS(aprs.fi).

Можливості технології:

- ✓ побудова радіомереж на місцевому та глобальному рівнях;
- ✓ спільна робота з іншими мережами та технологіями, такими як: GPS, Інтернет, IRLP, Ехолінк, D-STAR, GSM, електронна пошта, телеметрія, RFID;
- ✓ використання при проведенні QSO на КХ та УКХ діапазонах;
- ✓ використання при проведенні QSO через радіоаматорські супутники;
- ✓ використання при проведенні QSO через диджипітер міжнародної космічної станції (ISS);
- ✓ використання у спортивному радіоаматорському орієнтуванні;
- ✓ використання при дистанційному управлінні стаціонарними та рухомими об'єктами (приклад: SkyCommand);
- ✓ спостереження та стеження (визначення координат, типу об'єкта, швидкості руху, напрямку, висоти) за стаціонарними та рухомими об'єктами в реальному часі;
- ✓ спостереження за погодними станціями, віддалене спілкування з комп'ютерними метео-станціями;

- ✓ обмін короткими повідомленнями;
- ✓ підтримка радіоаматорських заходів: Hamfest-ів; польових днів; експедицій та ін. Їх реклама та інформування про місцезнаходження;
- ✓ робота з НАМ-бюлетнями;
- ✓ робота з кластерами DX;
- ✓ робота з радіо BBS;
- ✓ робота з базами даних та колбуками qrz.com та ін;
- ✓ вивчення особливостей проходження та поширення радіохвиль з урахуванням пори року, погодних умов та рельєфу місцевості;
- ✓ використання щодо топографічних карт місцевості;
- ✓ використання у надзвичайних ситуаціях під час проведення оперативних заходів надзвичайного характеру.

До складу елементів системи APRS входять:

Об'єкти:

- стаціонарні (радіоаматорські станції, що не переміщуються об'єкти - такі як вулкан, церква, радіоклуб, місце старту тощо);
- мобільні (всі види об'єктів, що рухаються, координати яких постійно змінюються - такі як автомобілі, вантажівки, поїзди, повітряні кулі, літаки, урагани і т.п.);
- космічні (міжнародна космічна станція, радіоаматорські супутники тощо).

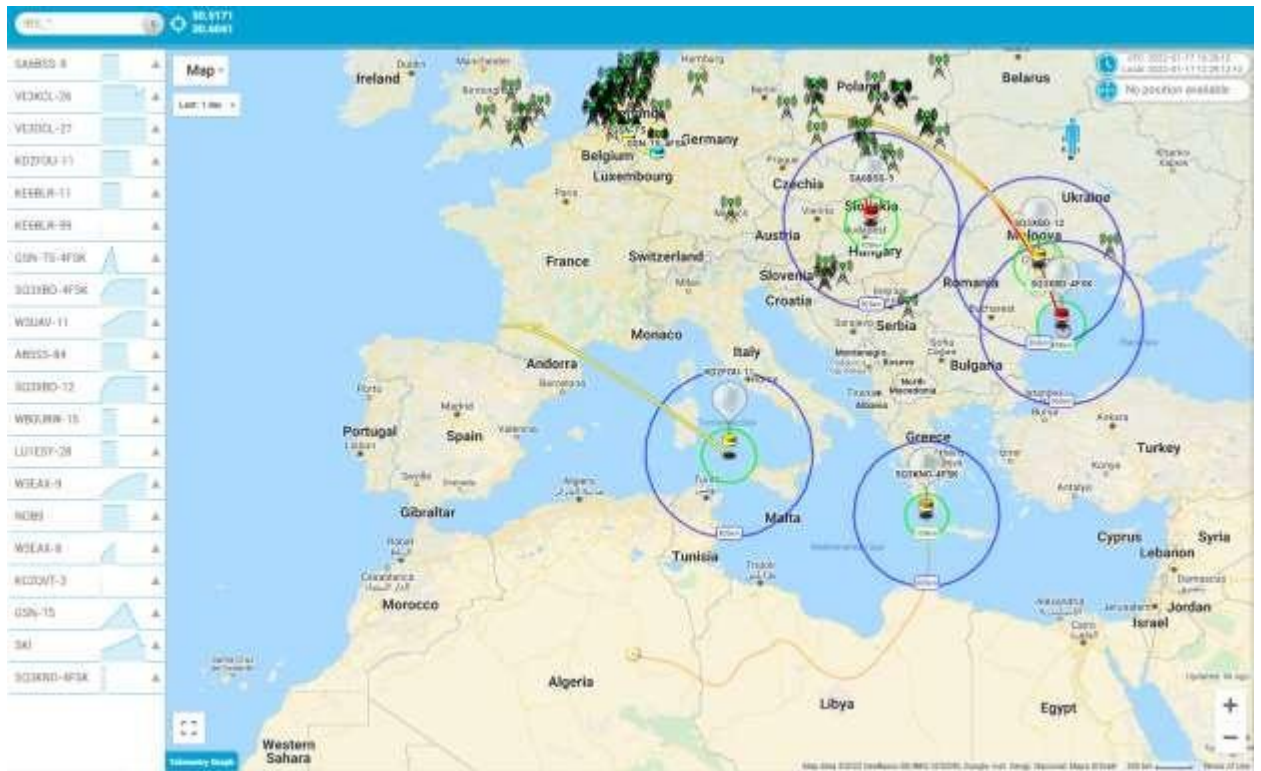


Рис.16. Моніторинг за допомогою hub high altitude balloon (habhub.com).

Ці об'єкти можуть обмінюватися між собою короткими повідомленнями (MESSAGE), формувати пакети з інформацією про їх стан, виконувати тестові команди в системі та надсилати повідомлення на електронну пошту.

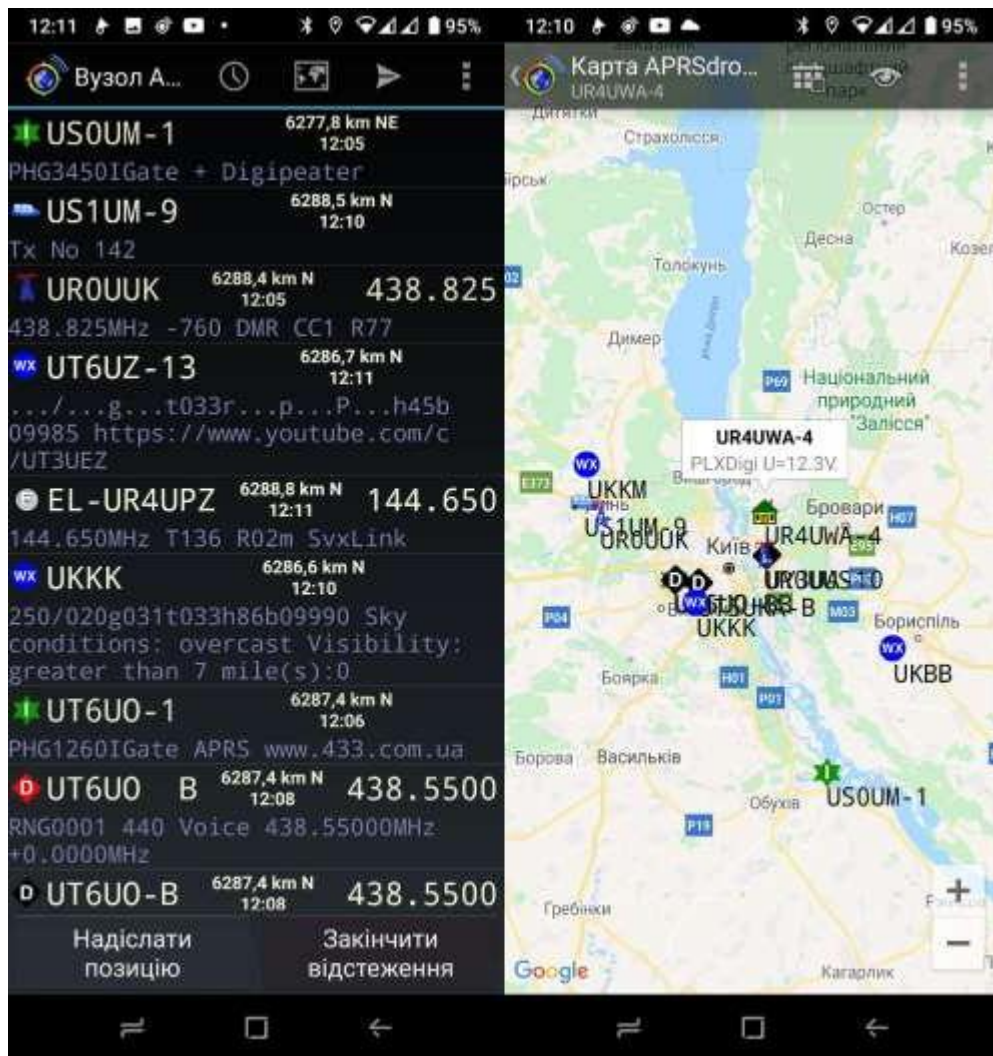


Рис.17. Моніторинг за допомогою APRSdroid.org.

-інформаційні (погодні станції (WX) – спеціальні автоматичні або з ручним введенням інформації про метеорологічні умови в даній точці [3], телеметрія стану систем ISS і т.п.).

- Дігіпітери (Digipeater) – елементи мережі, призначені для прийому та подальшої передачі копії пакета отриманого від об'єктів з метою збільшення площі інформаційного контролю. Зміни проводиться тільки в області Digipeater Addresses (Адреса дігіптерів) пакета з метою обмеження кількості стрибків та трасування шляху переміщення пакета.

- гейти (GATE) – елементи мережі, що здійснюють функцію передачі пакетів з одного діапазону на інший (УКХ - КХ, КХ - УКХ)

- Інтернет Гейти (IGATE) – елемент мережі, що здійснюють функцію передачі пакетів з радіодіапазону в мережу INTERNET і передачу електронної пошти на поштові сервери (E-mail).

- сервер Інтернет (INTERNET Server) – елемент мережі, що здійснює прийом/передачу пакетів від IGATE, накопичення пакетів, пошук та надання інформації про об'єкт користувачам INTERNET у зручному вигляді та в різних ракурсах.

Особливий інтерес для радіоаматорів представляють наземні (GPS не обов'язковий) та мобільні об'єкти APRS. Найчастіше радіоаматорські APRS УКХ об'єкти базуються на GPS і трансіверах типу KENWOOD TM-D700e і TH-d7e (станція, що носить, застосовуються при піших, велосипедних або мотоциклетних маршрутах). Також як APRS об'єктів, як для мобільної, так і для стаціонарної роботи використовуються КХ/УКХ трансівери, з'єднані з комп'ютером за керуючим інтерфейсом і формуючим пакети через звукову карту, через TNC або спеціальними формувачами APRS пакетів на базі мікроконтролерів.

Важливим елементом системи є електронні географічні карти. Вони є графічними файлами карт у форматах BMP, JPG, GIF та інформаційні файли прив'язки координат. Станції, координати яких відомі - відображаються на карті відповідним символом (мобільна станція, стаціонарна, погодна). По карті можна визначити відстань. По кожній станції є можливість переглянути коротку інформацію.

Економічне обґрунтування вибору протоколу

Для моніторингу терикону необхідний програмно-апаратний комплекс, який буде здатен передавати інформацію по безпроводовому каналу з мінімальним енергоживленням та максимальною ефективністю. За допомогою аналізу можна спрогнозувати якою буде система на основі того чи іншого протоколу зв'язку. За умови використання апаратної платформи Arduino та

програмного додатку IDE для всіх протоколів, *перелік функцій буде наступний:*

1. Масштабованість - можливість додавання нових функцій в ІС або зміни деяких існуючих функцій та модулів, при цьому решта функціональних частин ІС мають залишатися незмінними.

2. Мобільність – можливість перенесення комплексу на БПЛА чи іншу платформу.

3. Розподіленість – можливість роботи з системою віддалено через мережу Інтернет.

4. Децентралізація - здатність системи працювати без централізованого вузла, або мати декілька централізованих вузли.

5. Ціна продукту - функція, яка зазвичай є вирішальною точкою у питанні придбання приладів. Вона має бути розумною, а якість товару має перевершувати ціну, або відповідати їй. Ціна модулів Arduino не враховується.

6. Операційні системи, які підтримують додаток.

7. Автономність – полягає у наявності автономного живлення на певний час роботи.

8. Дальність дії передатчика, радіус зв'язку з датчиками.

Табл.4. Порівняння протоколів зв'язку.

Функції	APRS	LoraWan	Mqtt
Масштабованість	+	+	+
Мобільність	+	+	+
Розподіленість	+	+	+
Децентралізація	+ Вузли не потрібні, кожен	Необхідно дотримуватися чіткої	Необхідно дотримуватися чіткої

	пристрій може бути вузлом.	послідовності ієрархії пристроїв для передачі даних на сервер.	послідовності ієрархії пристроїв для передачі даних на сервер.
Автономність	+	+	+
Дальність зв'язку	Залежно від антени. Можна використовувати сторонні мережі для власних цілей	Залежно від антени.	Залежно від антени.
ОС	Мікроконтролер, Windows, Android, Linux	мікроконтролер	мікроконтролер
Ціна	0	Ціна підписки+ціна точки доступу = від 0 грн до 7 382 грн на місяць + 0 або близько 5000 на точку доступу	Ціна зберігання даних на серверу від 0 до 56 грн за спеціальні пропозиції та мегабайти.

Для справедливості варто вказати що ціна на LoraWan та Mqtt може бути нульовою при власній розробці мережевої системи з нуля та вибору безкоштовного сервера або створенню власного.

Однак ключовим фактором у даній роботі є мультиплатформність та можливість використання чужих станцій у вигляді гейтів (gates/igates) та відсутності необхідності створювати топологію мережі.

3.5.3. Вибір топології мережі

Топологія – це фізичне розташування комп'ютерів, кабелів та інших мережевих компонентів.

Топологія визначає ряд вимог:

- використання конкретного типу кабеля;
- спосіб прокладання кабелю;
- способи та методи взаємодії комп'ютерів.

Базові топології – це три топології, що мають суттєві відмінності між собою.

Шина (bus) – топологія при якій всі комп'ютери під'єднуються до одного кабеля. При передачі даних електричний сигнал від комп'ютера передавача поширюється у кабелі одночасно до всіх решта комп'ютерів.

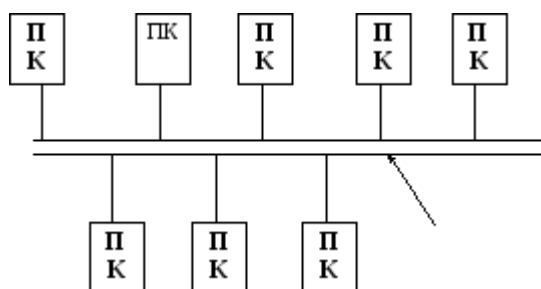


Рис.18. Топологія шина.

Недоліками цієї топології є:

- при розриві кабеля, або відсутності термінатора, мережа перестає функціонувати;
- низька пропускна здатність;
- не підсилює сигнал при передачі.

Перевагами цієї топології є:

- простота у використанні і дешевизна;
- при виході з ладу одного комп'ютера, мережа продовжує працювати але без нього.

Кільце (ring) – топологія при якій всі комп'ютери під'єднуються до кабеля, який замкнутий у кільце. Тут сигнали передаються послідовно від одного комп'ютера до наступного, одночасно при цьому підсилюється.

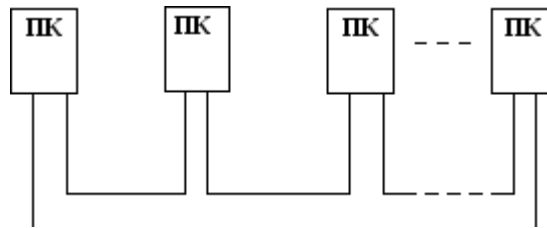


Рис.19. Топологія кільце.

Недоліками цієї топології є:

- великий розхід кабелю;
- потреба додаткового концентратора;
- при виході з ладу концентратора припиняється робота всієї мережі.

Перевагами цієї топології є:

- вихід з ладу одного комп'ютера чи обриві кабеля, не впливають на роботу решти комп'ютерів мережі.

Зірка (star) - єдина топологія мережі з явно виділеним центром, до якого підключаються всі інші абоненти. Топологія у виді зірки є найбільш швидкодіючою з усіх топологій обчислювальних мереж.

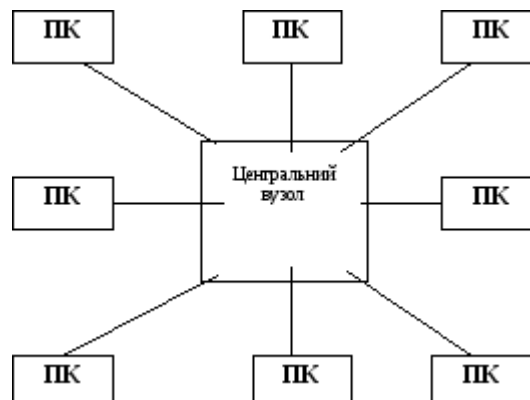


Рис.20. Топологія зірка.

Недоліками цієї топології є:

- значно більша, ніж при інших топологіях, витрата кабелю.

Перевагами цієї топології є:

- всі точки підключення зібрані в одному місці. Це дозволяє легко контролювати роботу мережі, локалізувати несправності шляхом простого відключення від центра тих або інших абонентів (що неможливо, наприклад, у випадку шинної топології)

Додаткові способи є комбінаціями базових:

- подвійне кільце
- сотова топологія
- решітка
- дерево
- Fat Tree
- сніжинка
- повнозв'язна

Повнозв'язна топологія стане найкращим вибором по ряду причин:

створення зон суцільного інформаційного покриття великої площі;

масштабованість мережі (збільшення площі зони покриття і щільності інформаційного забезпечення) у режимі самоорганізації;

використання бездротових транспортних каналів (backhaul) для зв'язку точок доступу в режимі «кожен з кожним»

стійкість мережі до втрати окремих елементів.

У порівнянні з іншими мережами, в даному випадку є очевидною важливість стійкості системи до пошкоджень. Сигнал має передаватися неперервно, не зважаючи на можливі пошкодження.



Рис.21. Пошкоджений датчик CO. [18]

У разі виведення з ладу одного пристрою, ланцюг передачі даних не буде перерваний, що позитивно вплине на частоту виїзду ремонтних бригад.

3.5.4. Вибір апаратної складової

Розгляд газоаналізаторів

Шахтна атмосфера — суміш атм. повітря і газів, що виділяється в шахті і заповнює гірничу виробку.

Основна частина шахтної атмосфери — кисень, азот, вуглекислий газ; в ній можуть бути присутніми також отруйні (оксиди вуглецю, оксиди азоту, сірчистий ангідрид, сірководень, акролеїн, альдегіди і інш.), вибухові (метан, водень і інш.) і радіоактивні гази. Даний факт спонукає нас на пошук можливих засобів для вловлювання небезпечних речовин та фіксації їх показників.

Існує необхідність у виявленні наступних газів:

Табл.5. Список небезпечних газів, що потребують моніторингу.

Назва газу	Опис
Хлор	– зеленувато-жовтий газ з характерним різким задушливим запахом. Мало розчинний у воді. Важчий за повітря. Ознаки поразки – різка біль у грудях, сухий кашель, блювання, порушення координації руху, задишка, різь в очах, сльозотеча. Можливий смертельний результат при вдиханні високих концентрацій.
Аміак	– безбарвний газ з різким запахом. Добре розчинний у воді. Перевозиться та зберігається у зрідженому стані. Горить при наявності

	<p>постійного джерела вогню. Пари утворюють з повітрям вибухонебезпечні суміші. При попаданні в хмару з високими концентраціями вже через кілька хвилин настає різке подразнення слизової оболонки очей, напади кашлю, відчуття задухи, занепокоєння, запаморочення, біль у шлунку, блювання. Смерть може настати від серцевої слабкості або зупинки дихання. Гранично допустима концентрація (ГДК) – 20 мг/м³ .</p>
Сірководень	<p>– безбарвний газ з характерним запахом тухлих яєць. Важчий за повітря. Зріджується, легко запалюється. З повітрям дає вибухонебезпечні суміші. Першою ознакою ураження служить втрата нюху. Надалі з'являється головний біль, запаморочення, нудота. Через деякий час може наступити раптова непритомність. Гранично допустима концентрація (ГДК) в повітрі робочої зони 10 мг/м³ .</p>
Синильна кислота	<p>– безбарвна, дуже летуча рідина, можна виявити за характерним запахом гірко-мигдалю. Швидкодіючий, згораючи втрачає вражаючі властивості.</p>
Сірчистий ангідрид	<p>– безбарвний газ з різким запахом. Розчинний у воді. Зріджується. Транспортується в рідкому стані. Негорючий. Ємкості можуть вибухати при нагріванні. Подразнює дихальні шляхи, викликаючи спазм бронхів і збільшення опору дихальних шляхів, порушують вуглеводневий та білковий обмін. Дратує кровотворні органи. У початковій стадії при малих концентраціях спостерігається подразнення очей і носоглотки, чхання, кашель. З'являється блювання, мова і ковтання утруднені. Смерть настає від задухи внаслідок рефлекторного спазму голосової щілини, раптової зупинки кровообігу в легенях або шоку. Гранично допустима концентрація – 10 мг/м³</p>
Бромистий водень	<p>– безбарвний газ з різким запахом, досить легко перетворюється в рідину. Добре розчинний у воді. Один об'єм води здатен розчинити до 500 об'ємів бромистого водню. Водний розчин представляє типову кислоту. На повітрі димить. Транспортується в рідкому вигляді. У рідкому вигляді, потрапляючи на шкіру викликає опік. Гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони 0,5 мг/м³</p>

На сьогоднішній день ми маємо наступні типи газоаналізаторів:

- автоматичні;
- напівавтоматичні;
- інтерферометричні.

Усі вони призначені для виявлення газів у шахтах, заводах та великих підприємствах.

Датчики газів поділяються на:

- Термохімічні – засновані на вимірювання теплового ефекту реакції каталітичного окислення газів. Принцип їх дії заснований на горінні невеликої кількості газу, яке відбувається в спеціальній камері газоаналізатора і починається навіть при незначному перевищенні концентрації. При горінні відбувається зміна опору в одній з двох котушок, що входять до складу приладу. Друга котушка при цьому вимірює температуру. Електронна система моментально реагує на зміну опору, і сповіщувач спрацьовує. Для забезпечення безпечної експлуатації прилад оснащений полум’ягасником, стримуючим інтенсивність вогню. А завдяки спеціальному каталізатору, яким покрита камера згоряння, хімічні процеси прискорюються, і газ в камері починає горіти ще задовго до того, як його концентрація в повітрі досягне вибухонебезпечного рівня. Після спрацьовування сигналізації каталітичні прилади не потребують перенастроювання і не вимагають часу для відновлення. **Моделі відносяться до категорії приладів безперервної дії і часто використовуються на стратегічно важливих об’єктах.**
- Інфрачервоні - працюють за принципом поглинання ІЧ випромінювання і призначені для вимірювання концентрацій багатоатомних газів. Принцип їх дії заснований на тому, що повітря з частинками газу і повітря без нього по-різному розсіюють світло в поле інфрачервоного діапазону. Аналіз забруднення проводиться за допомогою двох хвиль: еталонної і досліджуваної. Вони пропускаються через інфрачервоний потік і повертаються назад. Приладу залишається лише порівняти показники розсіювання і в разі необхідності подати звуковий сигнал. **До переваг інфрачервоних датчиків відносять швидке спрацьовування, низьке енергоспоживання і малу кількість**

помилкових тривог. До мінусів відносять високу вартість приладів.

- Електрохімічні - дозволяють визначати концентрацію газу в суміші за значенням електричної провідності розчину, який поглинув цей газ. Чутливим елементом датчика є електрохімічний сенсор, що складається з трьох електродів, поміщених в посудину з електролітом.
- Напівпровідникові - складаються з нагрівальної плівки, нанесеної на кремнієву підкладку. Призначення даного типу датчиків полягає у вимірюванні концентрації сірководню. Потрапляючи на пластину, газ починає нею поглинатися, що призводить до зміни її електричного опору. Ця зміна фіксує електронна схема, після чого спрацьовує сигналізація. **Напівпровідникові датчики призначені для побутового використання і відрізняються низькою вартістю, невеликою витратою електроенергії і широкою споживчої доступністю.**
- Фотоіонізаційні - призначені для вимірювання концентрації летких органічних сполук у повітряному середовищі, за умови її загазованості тільки одним визначальним компонентом.

З вище перелічених тверджень стає зрозумілим що оптимальними для установки на мобільну систему моніторингу є напівпровідникові датчики через їхню доступність та мале споживання енергії. Такими є датчики серії MQ. Однак, для роботи у шахтній атмосфері і виявлення лісових пожеж нам можуть знадобитися лише наступні:

MQ-2 - пропан-бутан, з-бутан, пропан, метан, спирт, водень, дим. Займисті і горючі гази; **MQ-4** - метан, природний газ, стиснений природний газ; **MQ-5** - зріджений нафтовий газ, природний газ, газолін; **MQ-6** - пропан-бутан, з-бутан, пропан; **MQ-7** - Чадний газ; **MQ-8** – Водень; **MQ-9** - чадний

газ, горючі гази; **MQ131** – Озон; **MQ135** - Якість повітря. Бензол, алкоголь, дим; **MQ136** – Сірководень; **MQ137** – Аміак; **MQ138** - Бензол, толуол, спирт, ацетон, пропан, Формальдегід, газоподібний водень; **MQ214** - метан, природний газ; **MQ216** - природний газ, вугільний газ; **MQ303A** - спирт, етанол, дим (так само, як MQ-3, але напруга нагрівача нижче); **MQ306A** - зріджений нафтовий газ, бутан (як MQ6, але напруга нагрівача нижче); **MQ307A** - чадний газ (як MQ7, але напруга нагрівача нижче); **MQ309A** - чадний газ, горючі гази. (MQ-9, але напруга нагрівача нижче); **MG811** - двоокис вуглецю (CO₂); **AQ-2** - займісті гази, дим; **AQ-3** - алкоголь, бензол; **AQ-7** - Чадний газ.



Рис.22. MQ-5 датчик.

Розгляд мікроконтролерів

Мікроконтролери є основою будь-якої системи керування об'єктами. Вони є основою охоронних, протипожежних систем, домофонів, сигналізацій тощо.

Для створення системи моніторингу нам необхідні такі параметри як:

- Достатня кількість пінів для масштабованості (додавання нових компонентів);
- Достатня кількість пам'яті;
- Достатня потужність;
- Низька ціна.

Для даної роботи найефективніше буде використовувати Arduino Nano 3.0 з CPU ATmega328P за малі габарити, розумну вартість та потужність. Nano v 3 адаптер знадобиться для підключення периферійних пристроїв та провідників. Використовується драйвер CH340 для роботи з комп'ютером через USB-порт.

Схема плати Arduino Nano 3.0:

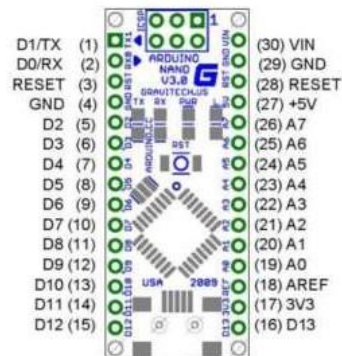


Рис.23. Схема Arduino Nano.

У зв'язку з такими неприємними речами як епідемія COVID-19, засуха в Таївані, пожежа на заводі по виробництву мікросхем Asahi Kasei Microdevices (АКМ) та заморозки в штаті Техас (зупинка заводів по виробництву напівпровідників), ціни на мікроконтролери піднялись в геометричній прогресії. Це стосується цін на всі мікроконтролери, а найбільший удар прийняли мікроконтролери архітектури ARM.

AtMega328 – найкращий та улюблений компонент плати Arduino Nano зараз коштує не так вже і дорого, але ціна плаває.

ATTINY також зазнав подорожання. Більше того, його часто немає в наявності.

Натомість LGT8F328P китайського виробництва також подорожчала, але в цей же час її ціна ідентична Arduino Nano з AtMega328 до росту цін.

EYEWINK



Рис.24. LGT8F328P.

Висновки: Був проведений опис стану кризового моніторингу, створені структурні схеми організації та відділу моніторингу, проведений аналіз програмних та апаратних компонентів майбутньої інформаційної системи.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В ЗОНІ ВПЛИВУ ПОТЕНЦІЙНО- НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА СХОДІ УКРАЇНИ

4.1. Розробка структурної схеми

Під час аналізу можливих варіантів побудови інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України було прийнято рішення побудови універсальної системи моніторингу для роботи як з радіозв'язком, так і з мережею Wi-fi.

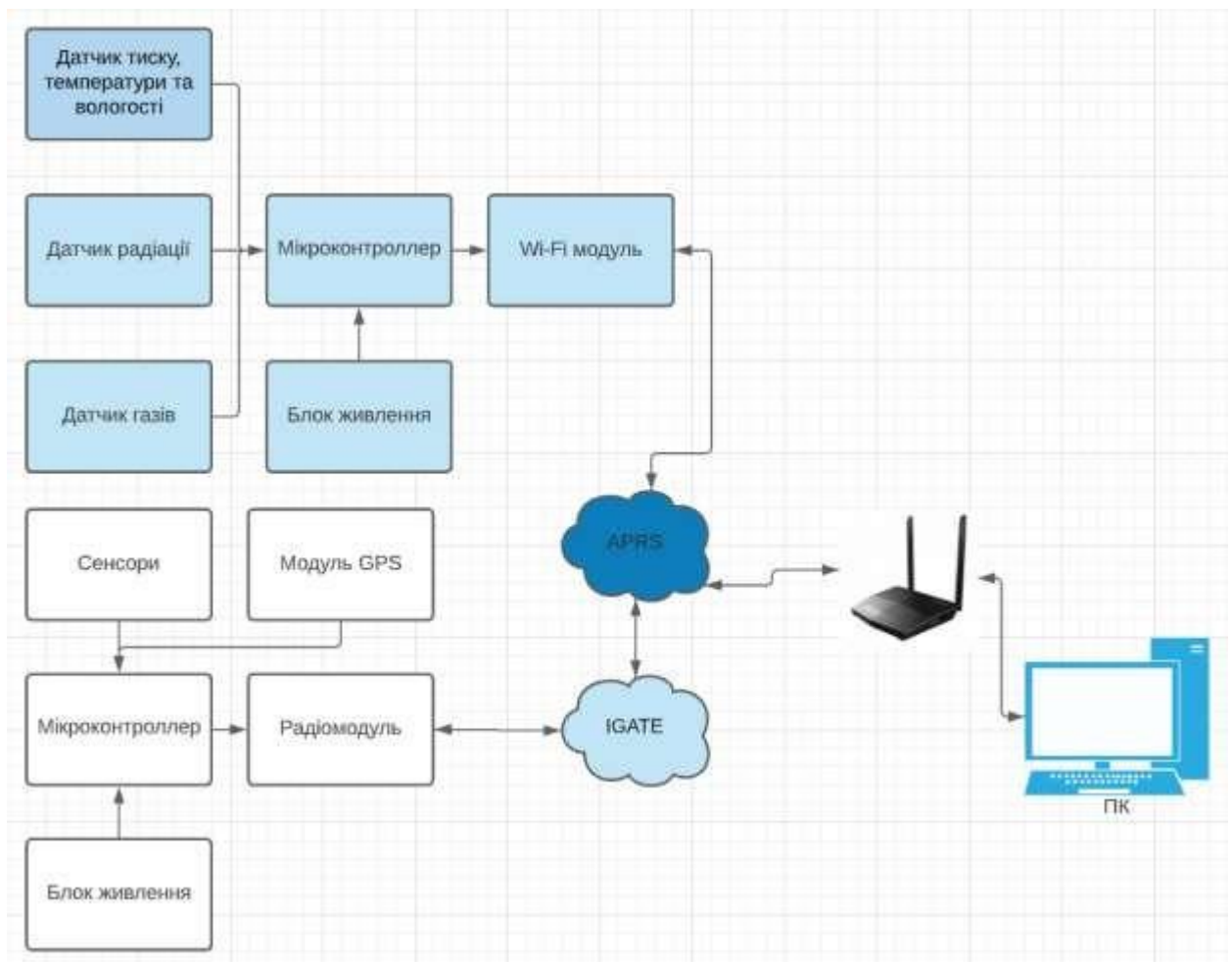


Рис.25. Структурна схема програмно-апаратного комплексу інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Вимоги до інформаційної системи

Система має працювати по безпроводовому каналу, а отже повинна мати достатню зону покриття для зв'язку пристроїв і/або використовувати зону покриття інших мереж (в тому числі і Wi-fi для зв'язку та передачі даних).

Система повинна залишатися довгий час без підзарядки, а це вимагає низької напруги живлення (до 5В).

Апаратну частину системи необхідно зробити компактною, а ціна комплектуючих має бути розумною.

4.2. Склад системи

Для використання Wi-fi мережі цілком підійде NodeMcuV3 модуль Wi-Fi або Ethernet Shield. ESP8266 і буде основним мікроконтролером.

MQ135 чудово підійде для виявлення небезпечних газів, оскільки хоч і не настільки потужний для точного виявлення вмісту речовин, однак у 10, а то і 20 разів дешевший за найпотужніші аналоги.

ВМЕ280 здатен вимірювати тиск, температуру та вологість, а отже буде важливим для моніторингу насичення вологою повітря в шахті, температури всередині терикону та на складі готової продукції. При необхідності може бути замінений на інші модулі для виконання окремих задач.

Датчик радіації SBM-20 слугуватиме запорукою здоров'я шахтарів під час роботи та буде попереджувати про високий вміст радіонуклідів.

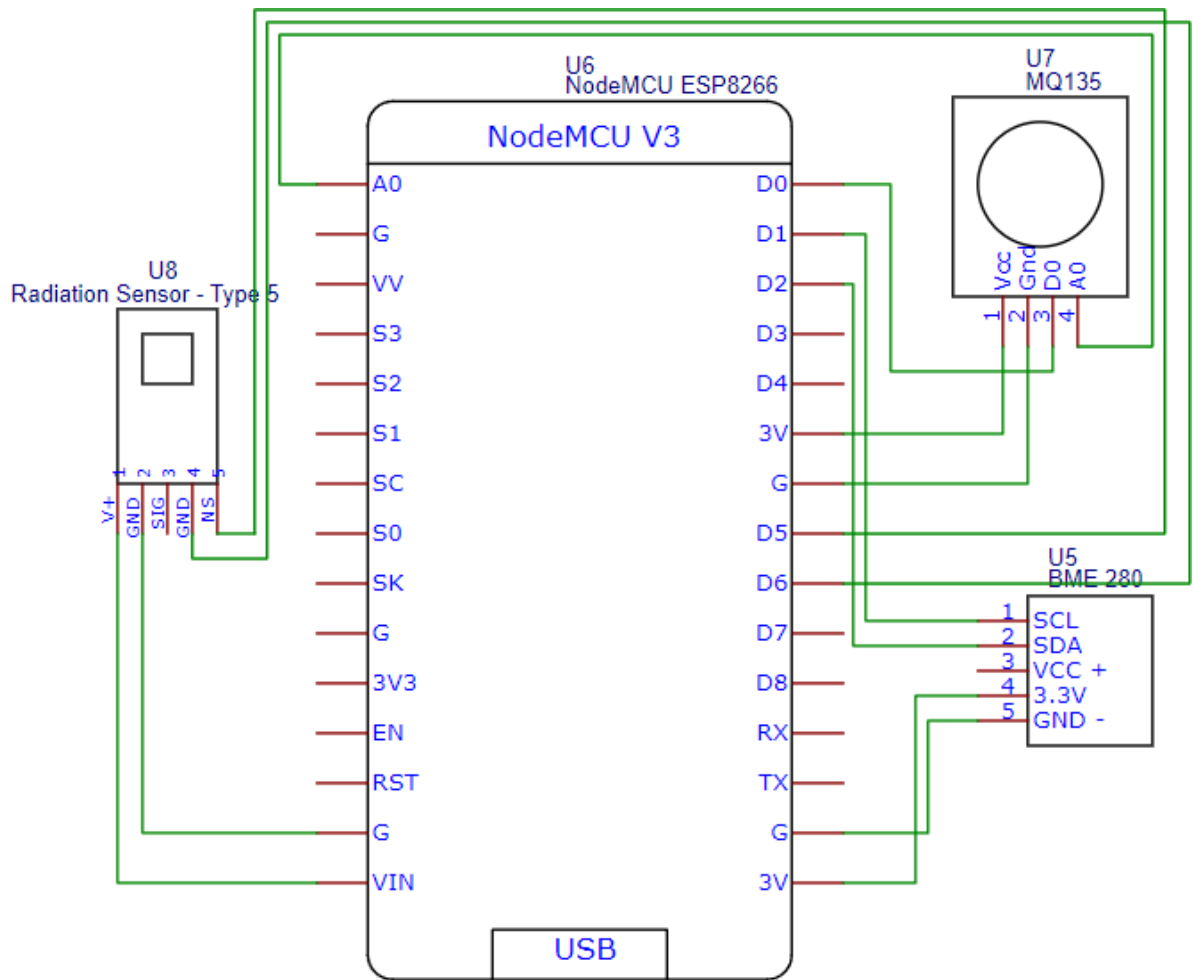


Рис.26. Принципова схема wi-fi модулю IGATE.

Для використання радіо зв'язку доцільно взяти радіо модуль SI4463.

Плата Arduino Nano V3 з мікроконтролером ATmega328 дозволить забезпечити систему автономним керуванням процесами збору та передачі даних при достатній кількості живлення.

Для позиціонування у просторі, на відміну від мережі інтернет, має необхідність використання GPS трекера, на кшталт NEO-6M.

Інші компоненти залишаються незмінними.

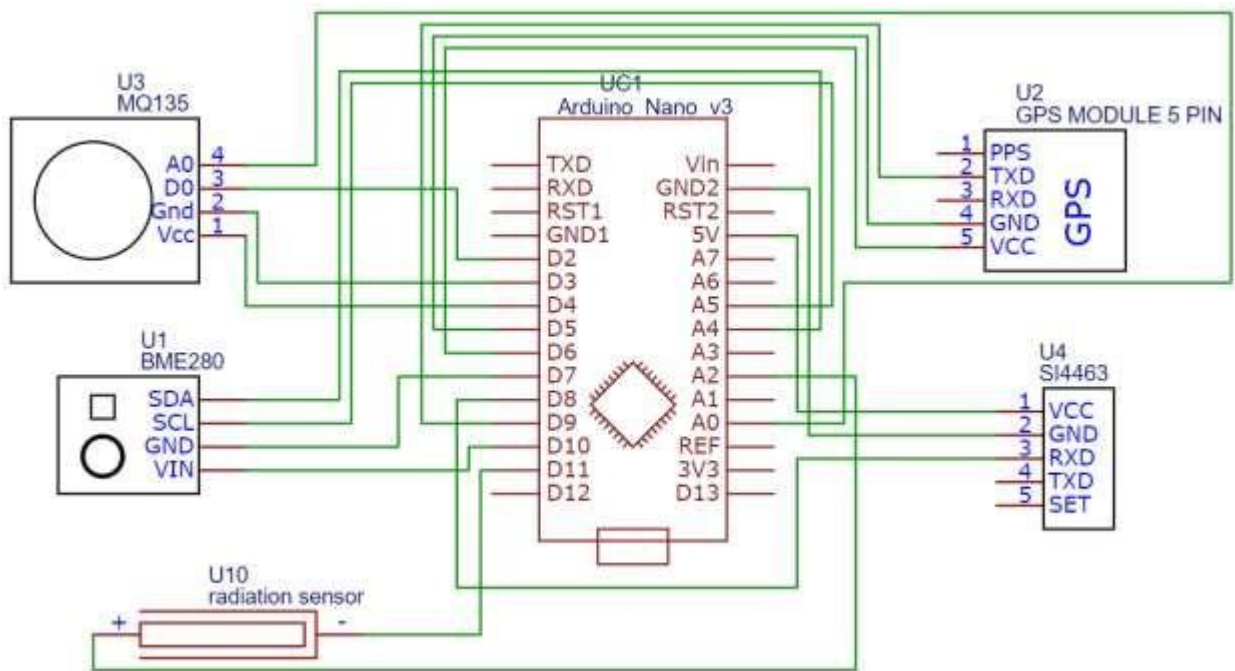


Рис.27. Принципова схема радіо модулю.

Для зручності digital піни плати Arduino Nano були перенаправлені на ті ролі, яких не вистачало (живлення, цифровий ввід, заземлення). Це ще одна перевага АТmega328.

4.3. Обґрунтування вибору компонентів та реалізація системи

4.3.1. Реалізація на UI-View та APRSdroid

Не зважаючи на вагомі переваги LoRaWAN, найефективнішим засобом передачі даних для інформаційної системи є APRS.

Варто доповнити матеріал у попередньому розділі деталями.

По-перше, APRS це не просто протокол зв'язку, а маловідома мережа. Низька популярність диктується декількома причинами, однією з яких є складність, а інша – відсутність потреби. Складність є складністю лише для пересічного громадянина, який навіть не подумає використовувати давню частоту для передачі даних у світ. Рації давно були витіснені смартфонами, але саме це і робить унікальним даний варіант зв'язку. Іншою складністю є відсутність потреби, тобто такому ж пересічному громадянину в голову вкрай рідко приходять на рівному місці побудувати метеостанцію. Для контакту з

громадянською мережею APRS не обов'язково використовувати рацію. Існує безліч варіантів інтеграції на TTN, LORA та ін. Покриття радіозв'язку цілком достатнє.



Centre Site	tpov	
Antenna Height (m above ground)	20	65.62 ft
Antenna Type	Omni	
Antenna Azimuth (°)	0	
Antenna Tilt (°)	0	
Antenna Gain (dBi)	6	
<hr/>		
Mobile Antenna Height (m)	20	65.62 ft
Mobile Antenna Gain (dBi)	2	
<hr/>		
Description		
Frequency (MHz)	928	
Tx power (Watts)	0.1	20.00 dBm
Tx line loss (dB)	3	
Rx line loss (dB)	0.5	
Rx threshold (µV)	0.2	-120.98 dBm
Required reliability (%)	70	
<hr/>		
Strong Signal Margin (dB)	10	
Strong Signal Color		
Weak Signal Color		
Opacity (%)	50	
Maximum range (km)	100	62.1371 mi
Rendering	High resolution	
Use land cover	<input checked="" type="checkbox"/>	
Use terrain	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рис.28. Налаштування параметрів покриття.

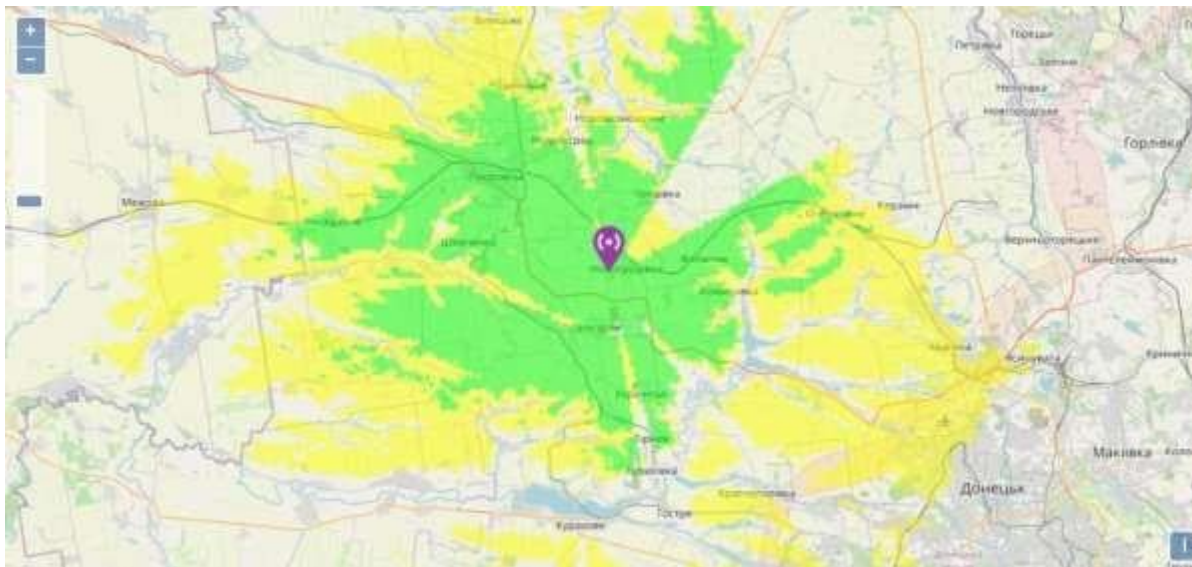


Рис.29. Мапа якості радіо-зв'язку для умовного Si4432 радіомодуля.

По-друге, радіозв'язок взагалі не обов'язковий, адже налаштувати підключення через інтернет не складає зайвих труднощів.

По-третє, широка інтеграція APRS не тільки на мікроконтролери, а й на звичні нам персональні комп'ютери та смартфони.

Для початку роботи як на ПК, так і смартфоні необхідно провести процедуру реєстрації власного позивного.

Для мобільних телефонів існує програмне забезпечення під назвою APRSdroid, яке можна придбати в плей-маркеті або ж отримати безкоштовно на сайті розробника.



Рис.30. Сайт APRSdroid.

Геолокація та координати можуть визначатися як сторонніми програмами, так і звичайними картами google.

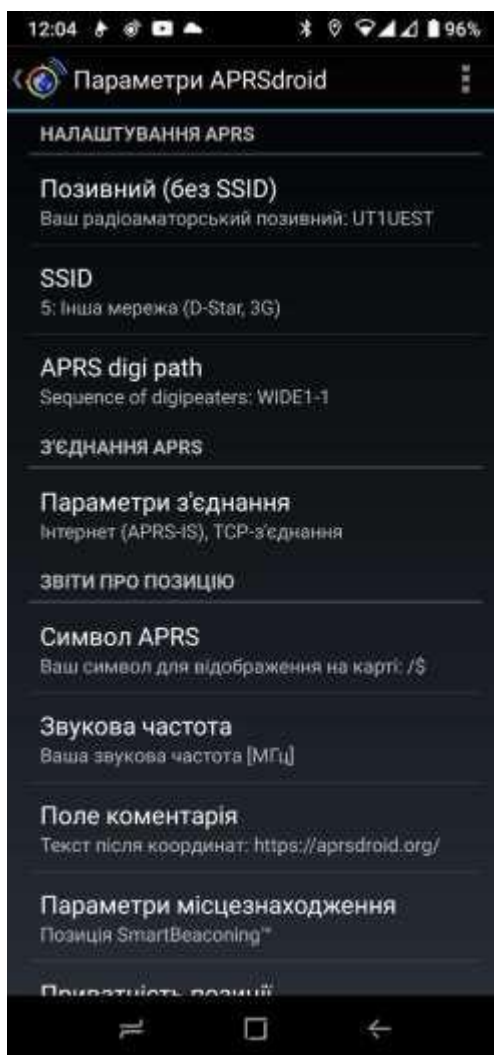


Рис.31. Налаштування APRSdroid

У кінцевому результаті ми отримуємо карту станцій з можливістю взаємодіяти з ними: дізнаватися їх місцезнаходження, тип; надсилати та отримувати повідомлення; бачити дані з датчиків (наприклад погодних з метеостанцій), які працюють на станції-ретрансляторі.

Іншим варіантом є використання персонального комп'ютера. На даний момент існують лише два засоби взаємодії з APRS через ПК: UI-View32 та QAPRS.

UI-View32 — це клієнт APRS, який працює на Windows . Ця програма відрізняється від більшості програмного забезпечення APRS тим, що вона не призначена лише для використання з ТНК у термінальному режимі. UI-View також підтримує TNC в режимі KISS, режимі хоста AGWPE і режимі хоста

BPQ. 32-розрядна версія UI-View також підтримує режим хоста WA8DED/TF і його варіант, який використовується в SCS PTC-II і PTC-IIe. Підтримка режиму хоста означає, що UI-View можна використовувати з широким спектром пакетного обладнання та дозволяє використовувати до 16 РЧ-портів.

Він може працювати як повнофункціональний внутрішній інтелектуальний digipeater з TNC в режимі KISS і з модифікацією файлу UI-View2.INI, підтримує нові налаштування WIDEn-N і має повну підтримку для підключення до серверів APRS в Інтернеті і працює як IGate або Internet Gateway.

UI-View використовує растрові зображення для своїх карт. Крім того, 32-розрядна версія має повну підтримку атласу компакт -диска Precision Mapping від Undertow Software версії 5 або 6 , що дозволяє збільшити масштаб до рівня вулиці в будь-якій точці США. Їхня версія 7 також підтримується PMapServer7 , модифікованим Біллом Діасом KC9XG. Завантажте PMapServer . Precision Mapping 8 може використовувати PMapServer 7. Користувачі новішої версії Precision Mapping 9 повинні використовувати PMapServer 9.

QAPRS - даний проект розробляється з метою самовдосконалення в області програмування протоколів пакетних мереж, закріплення навичок розробки крос платформних продуктів на базі с++ і QT4. Проект розробляється як функціональний аналог програмного продукту UI-View і його додатковий функціонал, наданий різними плагінами.

Для доступу в мережу необхідно пройти процедуру реєстрації на сайті розробника та ознайомитись з кодексом радіолюбителів на сайті aprs.org.



Рис.32. APRS.org.

Інтерфейс UI-View32 являє собою мінімальний набір елементів для комфортної роботи.



Рис.33. Інтерфейс програми UI-View.

Для початку роботи необхідно пройти авторизацію та завантажити свіжий перелік станцій.

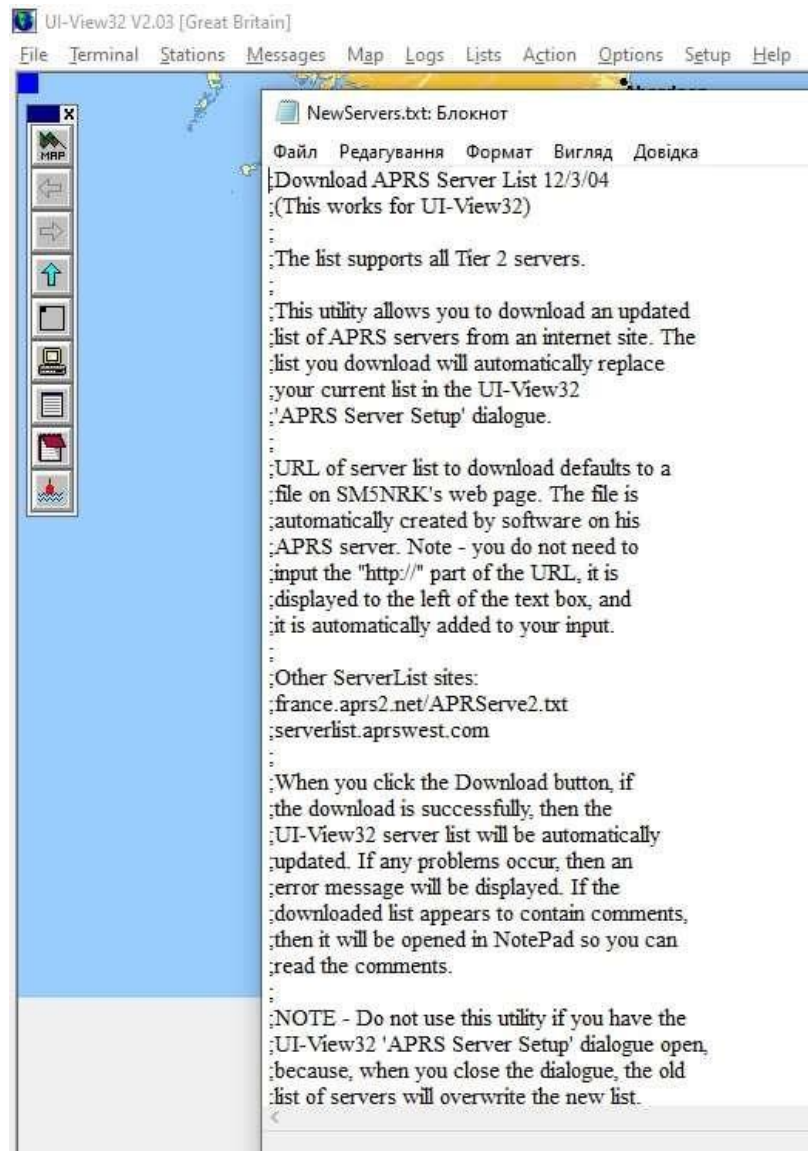


Рис.34. Список серверів APRS.

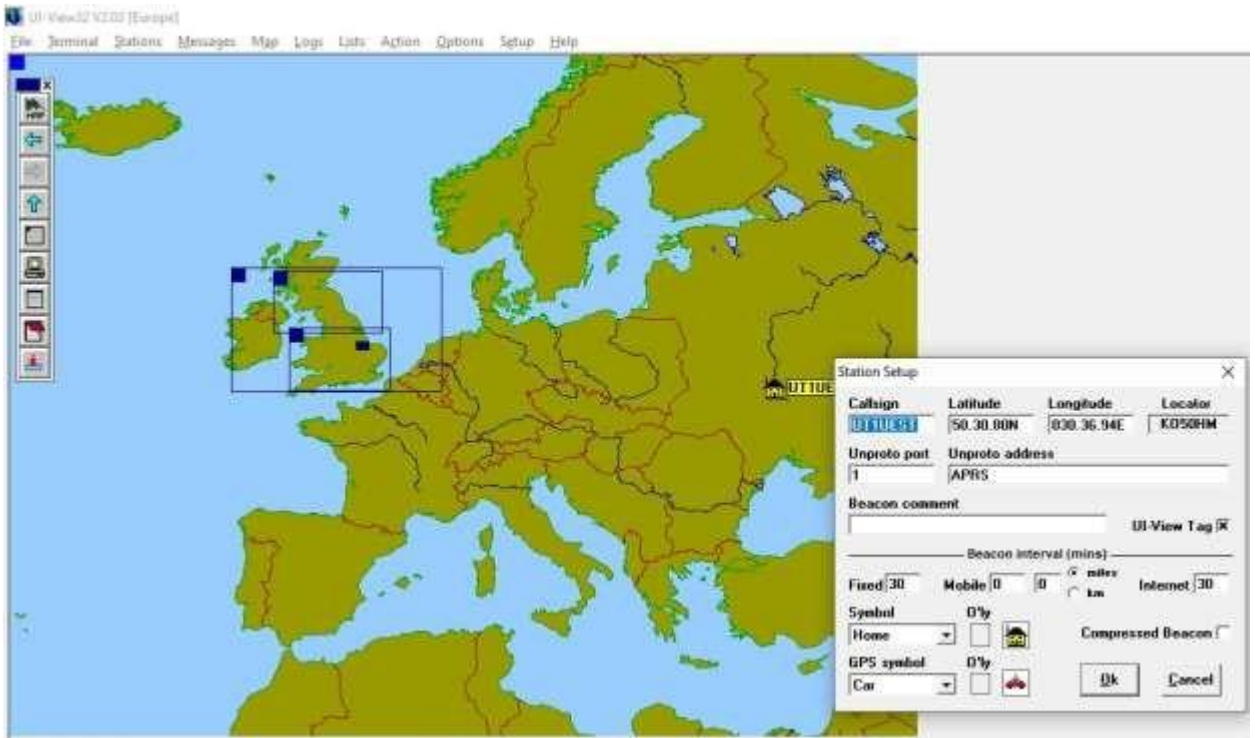


Рис.35. Авторизація.

Після вибору серверів ми маємо повний доступ до функціоналу: надсилання та отримання повідомлень, перегляд пакетів, огляд станцій і т.д.

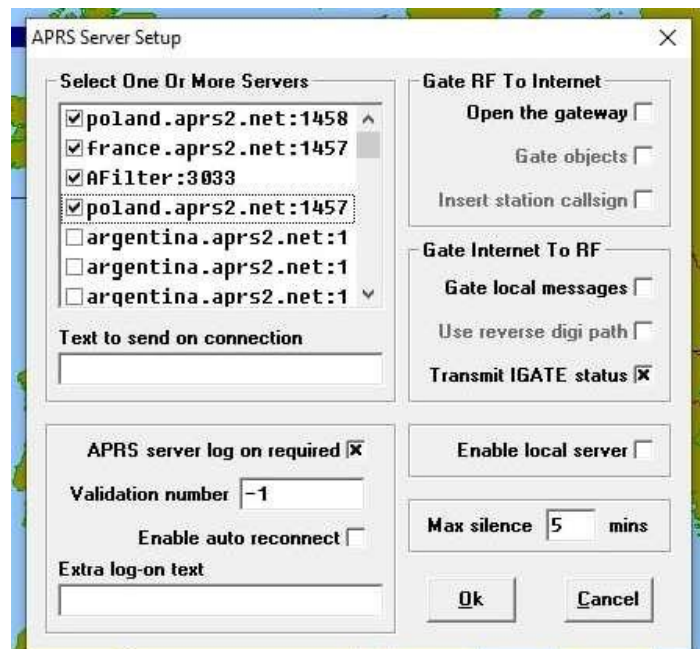


Рис.36. Вікно вибору серверів.



Рис.37. Початок роботи та перші ретранслятори.



Рис.38. Обмін пакетами.

Обмін пакетами досить цікава річ. Пакети відсилаються в реальному часі без можливості перевірити чи прийшло, чи ні.

The AX.25 Frame All APRS transmissions use AX.25 UI-frames, with 9 fields of data:

AX.25 UI-FRAME FORMAT								
Flag	Destination Address	Source Address	Digipeater Addresses (0-8)	Control Field (UI)	Protocol ID	INFORMATION FIELD	FCS	Flag
Bytes: 1	7	7	0-56	1	1	1-256	2	1

Рис.39. Структура пакету APRS.

Будь-яка станція APRS може вручну повідомляти про позицію об'єкта APRS (наприклад, інша станція або погодні явище). Це призначено для ситуацій якщо суб'єкт господарювання не може звітувати про свою власну позицію.

APRS надає два типи звітів для підтримки цього:

- *Звіти про об'єкти*
- *Звіти про предмети*

Звіти об'єкта вказують положення об'єкта, можуть мати додаткову позначку часу і може включати інформацію про курс/швидкість або інші розширені дані.

Основним принципом APRS є те, що будь-яка станція може взяти на себе звітувати про відповідальність за об'єкт або об'єкт APRS, просто передавши новий звіт з такою ж назвою об'єкта/елементу.

У звіті про заміну може бути зазначено наявне місце розташування або нове місце розташування. Початкова станція припинить передачу звіту про об'єкт/елемент, коли побачить вхідний звіт з такою ж назвою від іншої станції.

Щоб знищити об'єкт/предмет, станція передає новий звіт про об'єкт/предмет із символом "kill" після імені об'єкта/предмету.

Можливості станції

Станція може визначити набір одного або кількох атрибутів станції, відомих як можливості станції. Станція передає свої можливості у відповідь на запит IGATE (див. нижче), використовуючи < ідентифікатор типу даних.

Кожна можливість є парою TOKEN або TOKEN=VALUE. Більш ніж один/

Можливість може бути в рядку, кожна з яких розділяється комою.

Наразі визначені можливості включають:

IGATE,MSG_CNT=n,LOC_CNT=n, де IGATE визначає станцію як IGate, MSG_CNT – кількість переданих повідомлень, а LOC_CNT – кількість «локальних» станцій (ті, яким IGate буде передавати повідомлення в локальній радіочастотній мережі).

Запити та відповіді

Існує два типи запитів APRS. Один є загальним для всіх станцій, а інший – у форматі повідомлення, спрямованого на одну окрему станцію.

Запити завжди починаються з ?, є одноразовими передачами, не мають ідентифікатора повідомлення і не повинні підтверджуватися. Подібним чином відповіді на запити є одноразовими передачами, які також не мають ідентифікатора повідомлення, тому вони також не підтверджуються.

Кожен запит містить тип запиту (у верхньому регістрі). Підтримуються такі типи запитів і очікувані відповіді:

<i>Query Type</i>	<i>Query</i>	<i>Response</i>
APRS	General — All stations query	Station's position and status
APRSD	Directed — Query an individual station for stations heard direct	List of stations heard direct
APRSH	Directed — Query if an individual station has heard a particular station	Position of heard station as an APRS Object, plus heard statistics for the last 8 hours
APRSM	Directed — Query an individual station for outstanding unacknowledged or undelivered messages	All outstanding messages for the querying station
APRSO	Directed — Query an individual station for its Objects	Station's Objects
APRSP	Directed — Query an individual station for its position	Station's position
APRSS	Directed — Query an individual station for its status	Station's status
APRST or PING?	Directed — Query an individual station for a trace (i.e. path by which the packet was heard)	Route trace
IGATE	General — Query all Internet Gateways	IGate station capabilities
WX	General — Query all weather stations	Weather report (and the station's position if it is not included in the Weather Report)

Рис.40. Схема запитів.

Якщо запитувана станція не має відповідної інформації для включення у відповідь, їй не потрібно відповідати.

Запитувана станція може ігнорувати будь-який запит, який вона не розпізнає.

General Queries The format of a general query is as follows:

General Query Format								
?	Query Type	?	Target Footprint					
			Lat	r	Long	r	Radius	
Bytes:	1	n	1	n	1	n	1	4

Query	Typical Response
?APRS? General query, with standard posit and status reply.	/092345z4903.50N/07201.75W> >092345zNet Control Center
?APRS? 34.02, -117.15, 0200 General query for stations within a target footprint of radius 200 miles centered on 34.02 degrees north, 117.15 degrees west, with standard posit and status reply. (Note the leading space in the latitude, as its value is positive, see below).	/3402.78N11714.02W- >Digi on low power
?IGATE? General query for IGate stations, with a Station Capabilities reply.	<IGATE,MSG_CNT=43,LOC_CNT=14
?WX? Query for weather stations, with a standard Weather Report reply (without a position), followed by a standard posit.	_10090556c220s004g005t077... >090556z4903.50N/07201.75W>

Рис.41. Приклад запитів.

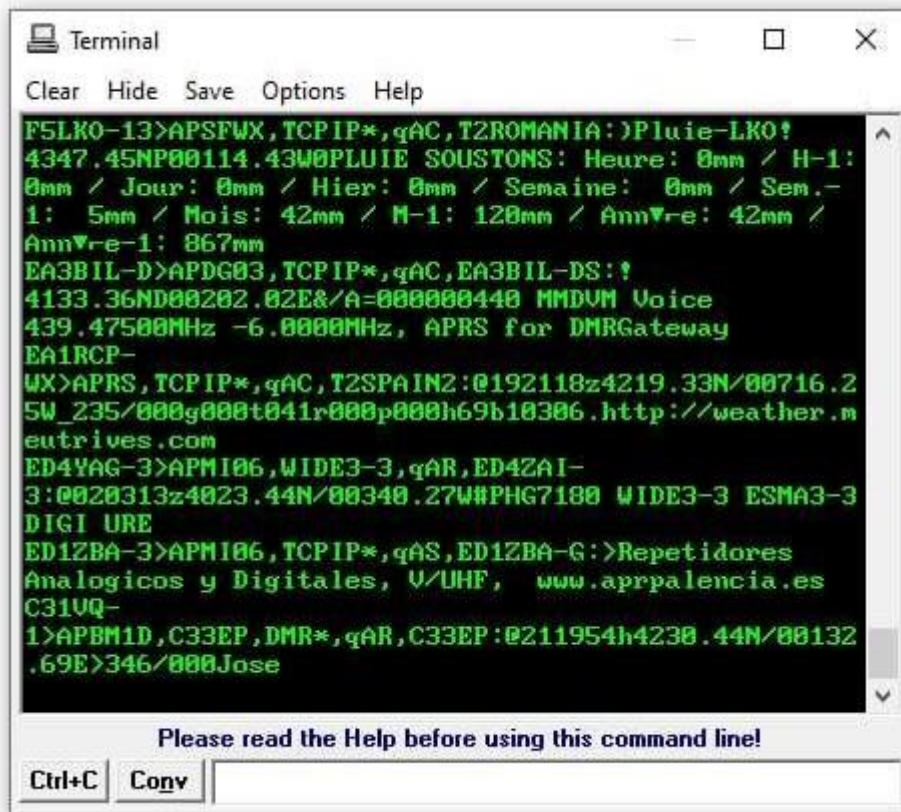


Рис.42. Вигляд в програмі.

Коли інша станція отримує пакет третьої сторони, вона може витягти позивний вихідної станції-відправника із заголовка третьої сторони, якщо це необхідно для підтвердження отримання повідомлення.

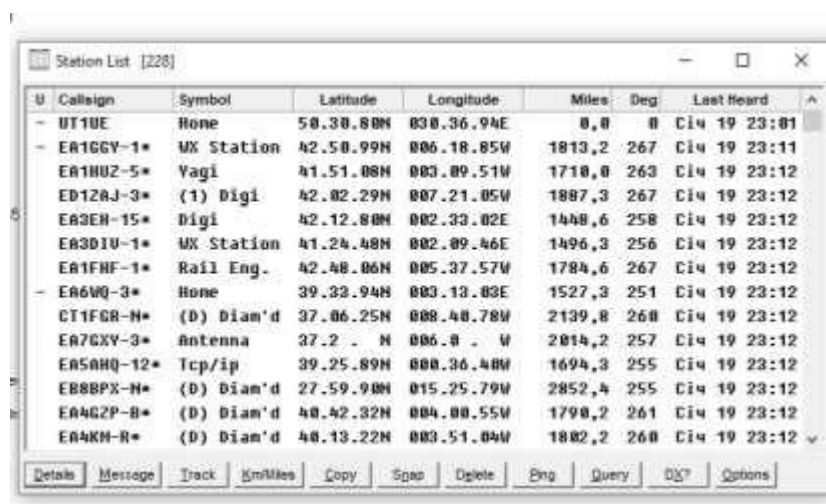


Рис.43. Список станцій.

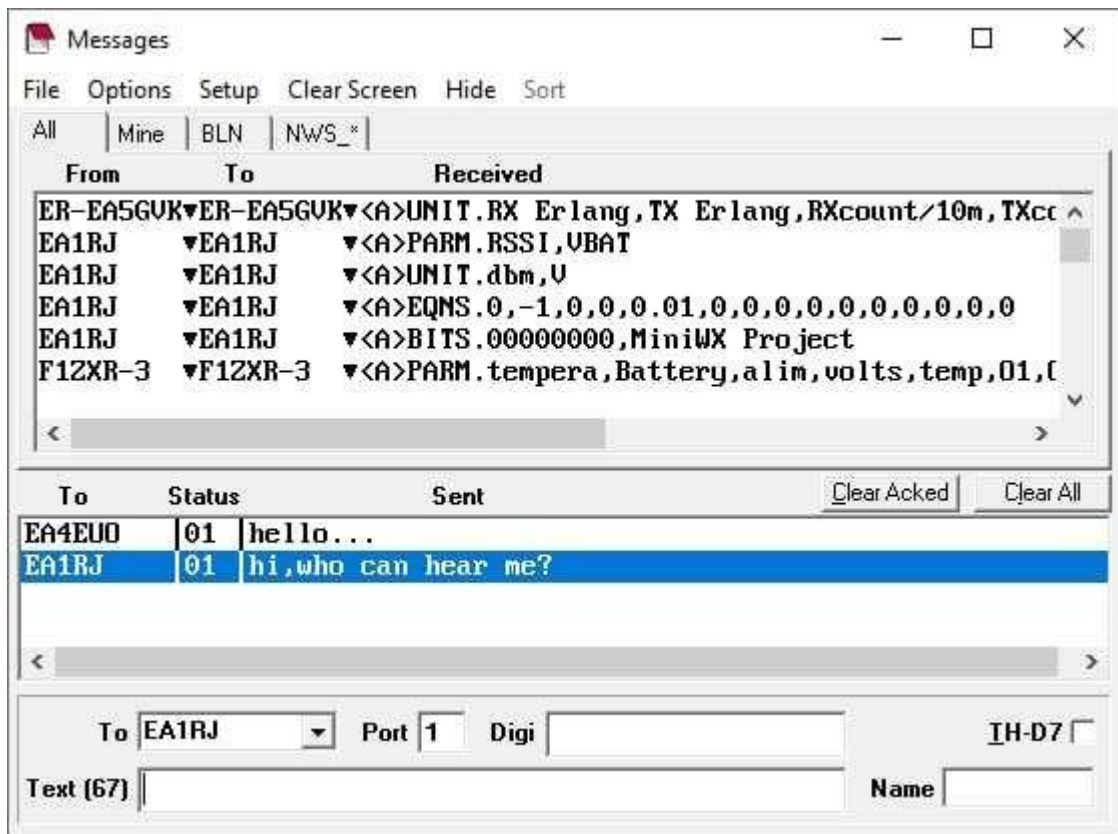


Рис.44. Обмін повідомленнями.



Рис.45. Чергова візуалізація стандартної мапи UI-View.

Окрім версій на ПК та смартфон існують також веб-сервіси на кшталт aprs.fi. Як ми можемо бачити, після запуску в APRS через інтернет на пристроях, ПК з UI-View став відображатися як станція.

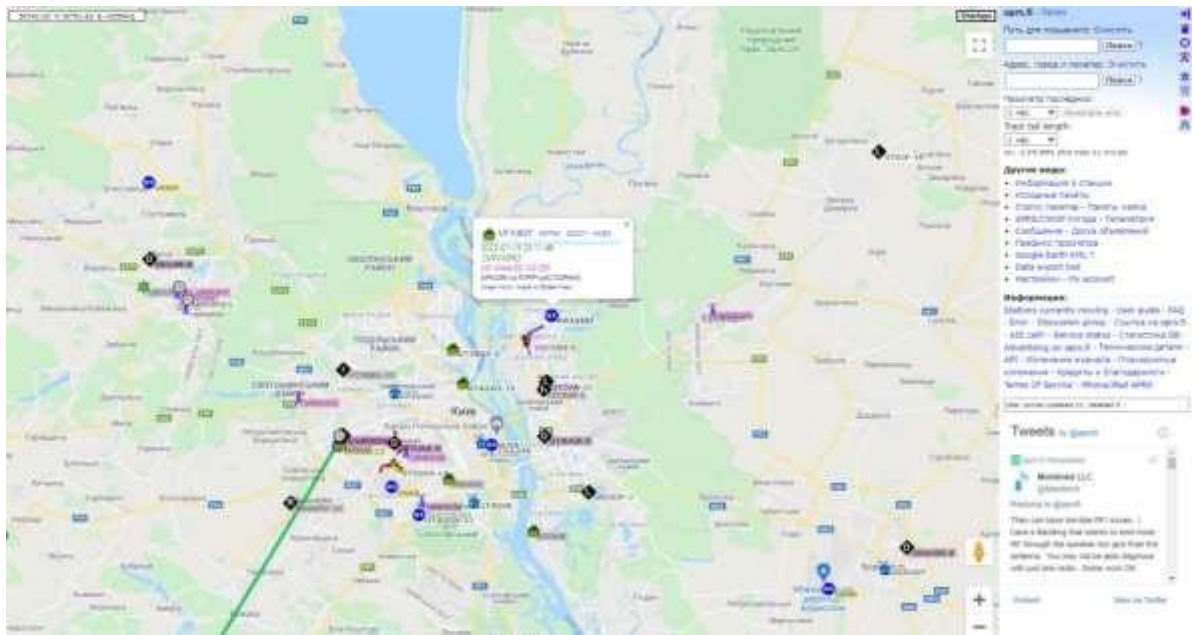


Рис.46. Станція UT1UEST на мапі.

4.3.2. Реалізація на LoRa та ESP8266

LoRa

Як було вже сказано, LoRa означає клас далекобійних радіо модулів, але є торгова марка з однойменною назвою. Для реалізації проекту знадобиться модуль LoRa (взагалі будь-який, але з модулями LoRa™ налаштування та запуск стане простішим).



Рис.47. Радіомодуль LoRa32.

Для входу в мережу APRS через мікроконтролер, необхідно встановити та налаштувати середовище розробки програмного коду або ж взяти перевірену та стабільну версію Arduino IDE. Під'єднавши всі деталі, має сенс зайти на GitHub та завантажити необхідні бібліотеки для роботи з апаратною частиною.

Програмне забезпечення Arduino з відкритим кодом (IDE) дозволяє легко писати код і завантажувати його на плату. Він працює на Windows, Mac OS X та Linux. Середовище написано на Java та базується на процесорі Processing та іншому програмному забезпеченні з відкритим кодом. Це програмне забезпечення можна використовувати з будь-якою платою Arduino.

Мікроконтролер на платі програмується за допомогою мови Arduino, яка заснована на мові Wiring та вона схожа на C\C++ і формально є нею.

Arduino користується найбільшою популярністю, має безліч готових проектів які постійно оновлюються ентузіастами на GitHub (де ці проекти можна безкоштовно використати у своїх цілях).

Середовище Arduino IDE та GitHub після реєстрації є абсолютно безкоштовними і являють собою найкращий вибір.

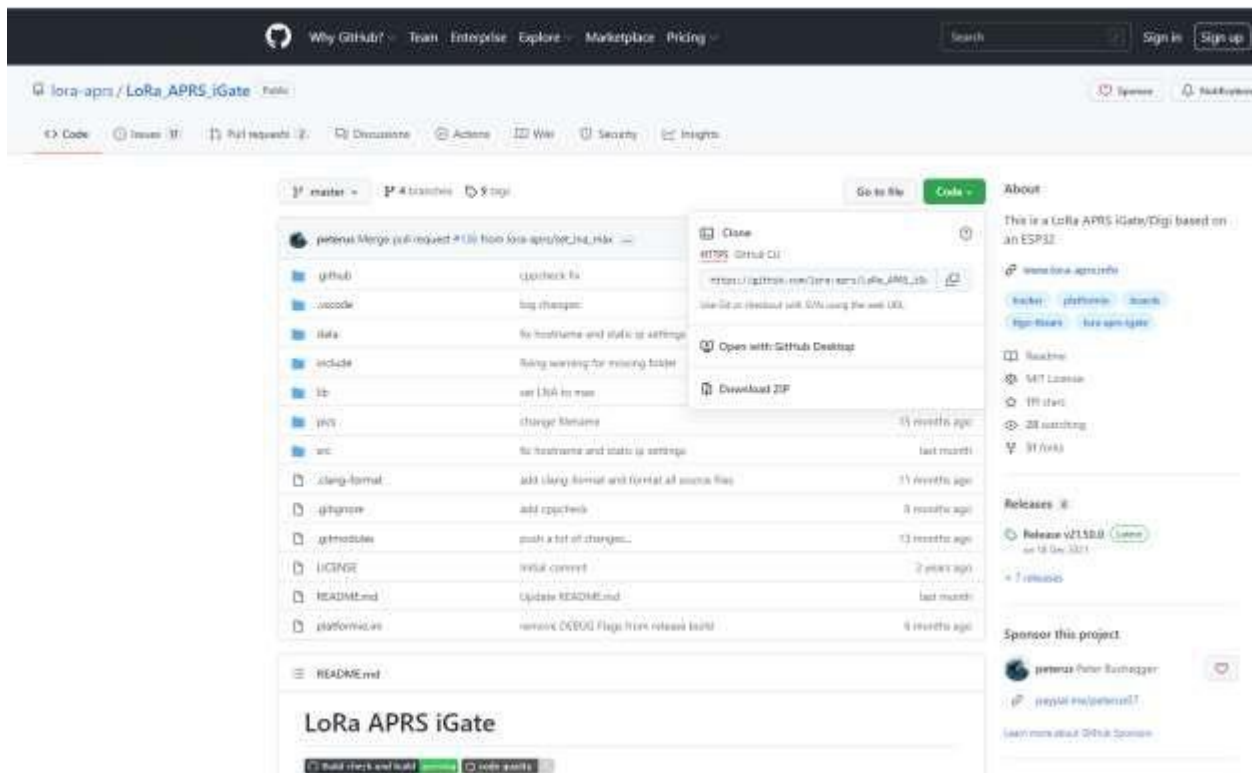


Рис. Завантаження необхідних для роботи файлів з GitHub.

Завантажуємо програмний код та отримуємо наступне зображення:



Рис.48. Завантаження коду в LoRa32.

Це означає, що було завантажено код, а не конфігурацію.

Наступним кроком буде змінення файлів даних через завантаження конфігурації Digireater. У результаті ми отримуємо під'єднаний до APRS мережі радіомодуль, який видно на карті та який може бути метеостанцією або подавати необхідні нам сигнали.

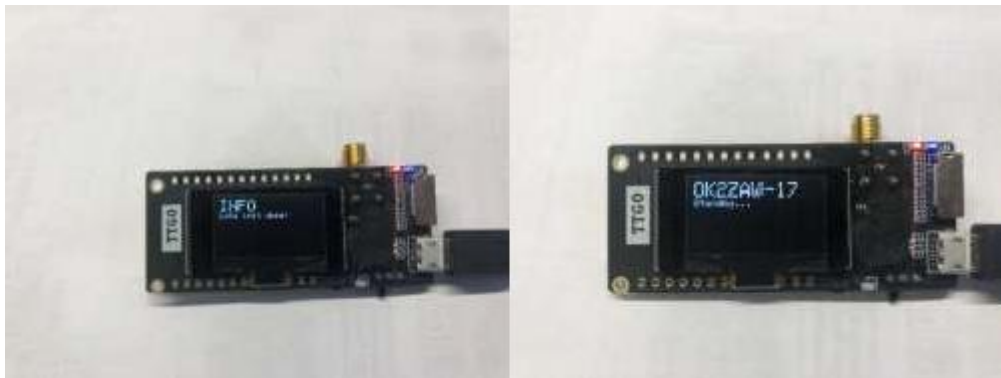


Рис.49. Ініціалізація в мережі APRS.

ESP8266

ESP8266 матиме змогу входити в мережу APRS через IGATE, тобто через мережу Wi-fi пристрій авторизується на сервері та починає отримувати і надсилати пакети іншим пристроям.

Після збірки апаратної частини була завантажена прошивка на плату NodeMCU1 Esp8266 та проведена калібровка датчику Bmp280.

Використавши позивний університету НУХТ UT4UYF, пристрій авторизувався в мережі та почав транслювати дані з датчику та свою геолокацію.



Рис.50. Експериментальна модель станції.

```
COM2
17:32:03.898 -> -ld
17:32:03.936 ->
17:32:03.936 ->
17:32:03.936 -> Connecting to ELM
17:32:04.450 -> .....
17:32:10.193 -> WiFi connected
17:32:10.193 -> IP address:
17:32:10.193 -> 192.168.1.214
17:32:11.267 -> Connected to APRS,IS
17:32:12.250 -> # aprs 2.1.10-gd72a17c
17:32:12.298 -> # logresp VE4UYE verified, server THIRD
17:32:17.690 ->
17:32:17.690 -> ----- CUT HERE FOR EXCEPTION DECODER -----
17:32:17.690 ->
17:32:17.690 -> Exception (0):
17:32:17.690 -> epc1=0x40202364 epc2=0x00000000 epc3=0x00000000 ekovaddr=0x00000000 depc=0x00000000
```

Рис.51. Підключення до мережі Wi-fi та APRS.

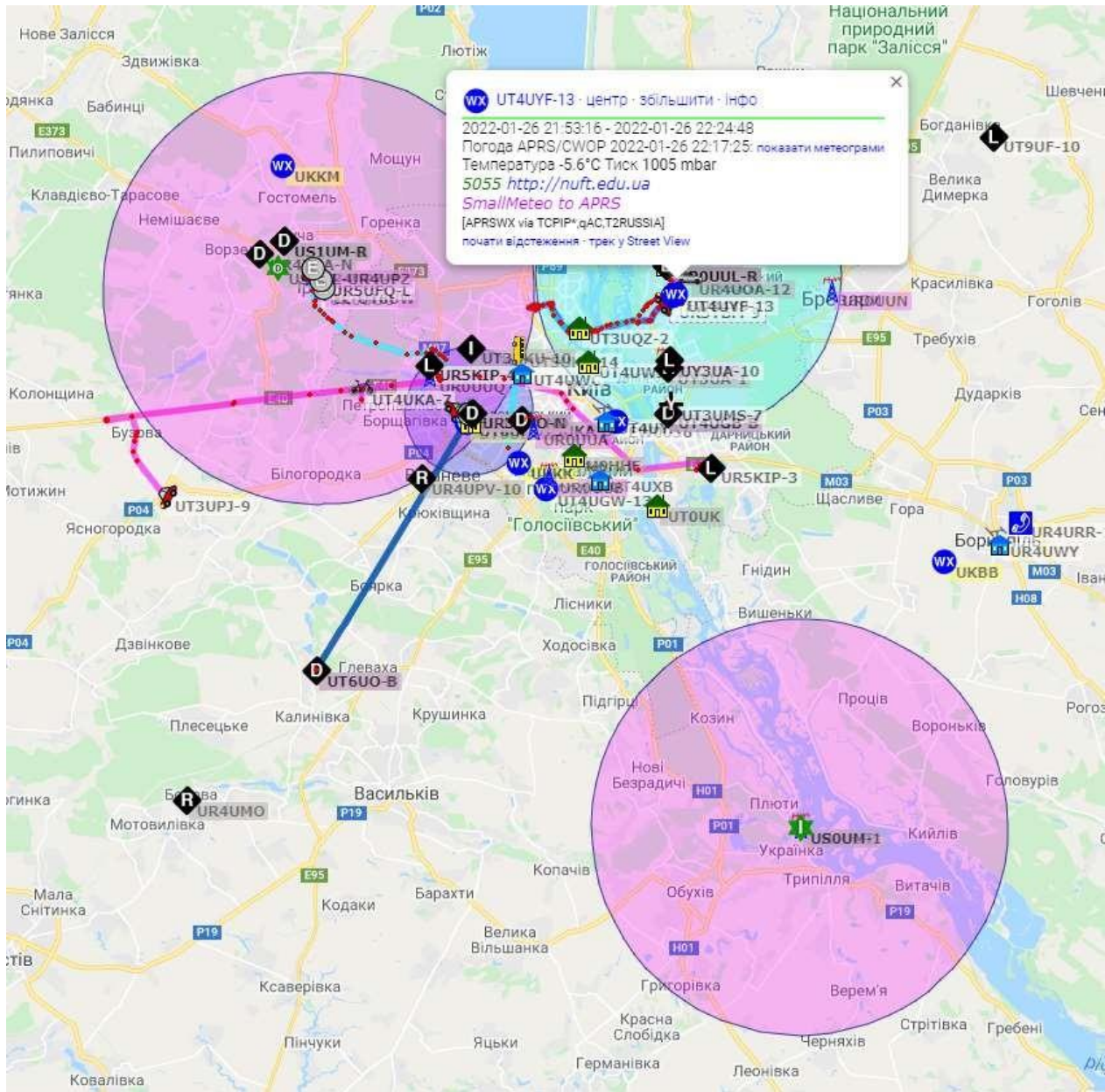


Рис.52. Геолокація станції та посилання на сайт університету.

На основі всіх проаналізованих даних ми можемо скласти алгоритм проведення моніторингу небезпечних речовин терикону, та оточуючих шахтних територій, користуючись максимальним рівнем ефективності та безпеки. Дана схема зображена в Додаток Г на Рис.Г1. Алгоритм проведення моніторингу небезпечних речовин терикону.

Висновки: Було продемонстровано принципові та структурні схеми програмно-апаратного комплексу і його реалізацію на різних платформах.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було вирішене науково-прикладне завдання підвищення рівня екологічного моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів вугільної промисловості за рахунок інтеграції методів екологічного моніторингу та способів передачі даних.

Створено експериментальний програмно-апаратний комплекс з використанням технологій радіозв'язку та інтернету речей.

Визначено стан екологічного моніторингу на території ОРДЛО і детально проаналізовано методи та засоби проведення моніторингу. Обрано засоби для проведення задач екологічного спостереження згідно їх слабким та сильним сторонам.

Досліджено методи та засоби передачі даних і обрано оптимальний спосіб зв'язки пристроїв для максимальної ефективності екологічних досліджень.

Вперше розроблено програмно-апаратний комплекс моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України з використанням технологій Інтернету речей, що відповідає вимогам автономності, надійності та мобільності із застосуванням безпроводних сенсорних мереж і безпілотних літальних апаратів.

Створено алгоритм моніторингу небезпечних речовин терикону, та оточуючих шахтних територій: встановлено критерії оцінки геофізичних якостей породних відвалів та перелік необхідних дій і матеріалів.

У результаті удосконалено інформаційну технологію передачі масиву вимірної інформації через радіоканал ультракоротких хвиль, а також дістала подальший розвиток ГІС технологія відображення даних про стан параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Сході України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Формирование критериев экологической опасности породных отвалов шахт / И.Н. Кузык // *Екологія і природокористування*. — 2009. — Вип. 12. — С. 156-160. — *Бібліогр.: 7 назв.* — *рос.* [Електронний ресурс]: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/14571>
2. Gribben, J. (1986) Temperature Rise in Global Green House. *New Scientist*, 15, 31-32. [Електронний ресурс]: [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45%20vffcz55\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1281426](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45%20vffcz55))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1281426)
3. УДК 631.436.3 В.В. Попович, А.Д. Кузык, канд. фіз.-мат. наук, доцент, О.О. Карабин, канд. фіз.-мат. наук, доцент, О.Ю. Чмир, канд. фіз.-мат. наук (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)
МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ЗГАСАЮЧИХ ТЕРИКОНІВ
4. Classification of fires in coal waste dumps based on Landsat, Aster thermal bands and thermal camera in Polish and Ukrainian mining regions *Ádám Nádudvari, Anna Abramowicz, Monika Fabiańska, Magdalena Misz-Kennan & Justyna Ciesielczuk.* [Електронний ресурс]: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40789-020-00375-4>
5. Розроблення та реалізація регіональних Програм поводження з відходами: проблемні питання та кращі практики. Можливості використання супутникових даних для моніторингу пожежонебезпечності териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. Філіпович В.Є. Мичак А.Г. Шевчук Р.М.
6. Author: Prasun K Gangopadhyay and Kuntala Lahiri-Dutt Year of Publication: 2005 Title: Detecting Coalfires with Remote Sensing: A Comparative Study of Selected Countries Series: Resource Management in Asia-Pacific Working Paper No. 58 Publisher: Resource Management in Asia-Pacific Program Research

7. DETECTION AND MONITORING OF POTENTIALLY DANGEROUS FIRES ON THE TERRITORY OF UKRAINE USING THE DATA OF SATELLITE SCANNING Andrii V. Oreshchenko, Volodymyr I. Osadchyi, Mykhailo V. Savenets, Vira O. Balabukh [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.15407/visn2020.11.033>

8. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах : навч.-метод. посіб. / С. О. Довгий, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма та ін. – Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 268 с. ISBN 978-617-7945-11-5 <http://man.gov.ua/files/49/ZZ2.pdf>

9. Classification of fires in coal waste dumps based on Landsat, Aster thermal bands and thermal camera in Polish and Ukrainian mining regions A´ da´m Na´dudvari¹, Anna Abramowicz¹, Monika Fabian´ska¹, Magdalena Misz-Kennan¹, Justyna Ciesielczuk [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00375-4>

10. Творошенко І. С. Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» (для студентів 5 курсу денної та заочної форм навчання спеціальності 7.08010105 – Геоінформаційні системи та технології) / І. С. Творошенко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 75 с.

11. Гусак О. М. «Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів» – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – «інформаційні технології» (126 – інформаційні системи та технології) – Львівський

державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Львів, 2019 рік.

12. Карпенко М.І. КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА «Розроблення інформаційно-аналітичної системи збору і аналізу психофізіологічного стану бійця в екстремальних умовах під час виконання навчальних завдань на військовому полігоні» Київ, 2020 рік.

13. Організація військового зв'язку (В.Г. Шолудько, М.Ю. Єсаулов, О.В. Вакуленко, Т.Г. Гурський, М.М. Фомін). Навчальний посібник. – К.: ВІТІ, 2017 р. – 282 с.

14. [Електронний ресурс]: <https://www.radiosvoboda.org/a/luhansk-monitorynh-shakhty-voda/31438343.html>

15. [Електронний ресурс]: https://tdmuv.com/kafedra/internal/hihiena/classes_stud/uk/pharm/prov_pharm/ptn/%D0%93%D1%96%D0%B3%D1%96%D1%94%D0%BD%D0%B0%20%D1%83%20%D1%84%D0%B0%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97/3/02.%20%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%80%D1%8F.htm

16. Рудько Г.І. Екологічна безпека вугільних родовищ України /Г.І. Рудько, О.І. Бондар, Є.О. Яковлев, О.А. Мошков, С.А. Плахотній, В.М. Єрмаков : монографія. – Київ – Черновці : Букрек, 2016. – 608 с.

17. Звіт про науково-дослідницьку роботу у 2014 р. // УкрНДІПроект; Київ: УкрНДІПроект, 2015. – 125 с.

18. Radovan Hajovsky Martin Pies Use of IQRF Technology for Large Monitoring Systems. [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.082>

19. Чоботько І.І., Тичина С.В. МОНІТОРИНГ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ 2020 doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-9-13
20. Samuel Greengard The Internet of Things (The MIT Press Essential Knowledge series) Paperback – March 20, 2015.
21. УДК 016 : [629.7.014 : 623.746.519] Безпілотні літальні апарати та безпілотні авіаційні комплекси : наук.-допом. бібліогр. покажч. / ДНТБ України, Інформаційно-бібліографічний відділ. - К., 2019. – 83 с.
22. Хільчевський В. К., Забоклицька М. Р., Кравчинський Р. Л. Екологічна стандартизація та запобігання впливу відходів на довкілля : навч. посібник – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 192 с.
23. Т. В. Козлова, канд. техн. наук, доц.; В. С. Вольвах; М. В. Собчук АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ УДК 001.8.004.14:629.782:528.8(045).
24. Амоша О.І. Стан, основні проблеми і перспективи вугільної промисловості України: наук. доп. /О.І. Амоша, Л.Л. Стариченко, Д.Ю. Череватський; НАН України, Ін-т економіки промисловості. – Донецьк, 2013. – 44 с.
25. Розвиток державної системи моніторингу довкілля в Донецькій області: збірка доповідей науково-практичної конференції. – Державне підприємство «Східноукраїнський екологічний інститут» - Слов'янськ, 2015.
26. Plakhotnij S. A. Information support for automatic industrial environment monitoring systems / S. A. Plakhotnij, O. M. Klyuchko, M. V. Krotinova // Electronics and Control systems НАУ. – 2016. – Вип.1(47). – С. 29–35.
27. Улицький О.А. Фактори екологічного ризику підприємств вугільного сектору для навколишнього середовища // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – Вип. 4. – 2012. – С. 148-153.

28. Lunova O. Assessment of risk of groundwater quality deterioration within Siversky Donets river basin /O. Ulytsky V. Yermakov, O. Lunova, K. Boiko, D.Averin // Journal of Geology, Geography and Geoecology Vol. 28 (4). Dnipro – 2019. P.769-777. [Електронний ресурс]:doi:<https://doi.org/10.15421/111972>

29. І. Ніколаєва, Г. Ленько, Д. Аверін, О. Лободзінський Дослідження поточного стану хвостосховищ у Донецькій та Луганській областях. ОБСЄ, 2020. – 50 с.

30. Войціховська Г. Довкілля та війна: Вода і війна / Г. Войціховська, О. Кравченко, О. Василюк // Екологія Право Людина. – Львів, 2015. // [Електронний ресурс]: <http://www.epl.org.ua/ecology/dovkillia-ta-viina/doslidzhennia-epl/91-voda-iviina>

31. Іванюта С. П. Екологічні і техногенні загрози у зоні військового конфлікту на Сході України / С. П. Іванюта. // Енергетична, екологічна і техногенна безпека Стратегічна панорама. – 2017. – №1. – С. 53–60.

32. Побережна Л. Я. Оцінка потенційних екологічних ризиків внаслідок проведення антитерористичної операції / Л. Я. Побережна, А. І. Станецький. // Науково-технічний журнал "Техногенно-екологічна безпека". – 2017. – С. 45–52

33. A.I. Lysenko, S.M. Chumachenko, S.V. Valuiskyi Technology for environmental monitoring using wireless sensor networks, Conference Paper Sep 2014 24nd Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2014), 7-13 Sept. 2014, Sevastopol, 2014, pp. 251 — 252. DOI: 10.1109/CRMICO.2014.6959379

34. Чумаченко С.М., Філіпчук В.Є., Лисенко О.І. Патент України. Спосіб дистанційної ідентифікації забруднюючих речовин на території військового полігону // Деклараційний патент на корисну модель № 15010, МПК G 01 N 27/64, H01J 37/00. Офіц. бюл. «Промислова Власність» №6, 2006., кн.1. №u200510914. Заявлено 18.11.2005. Опубл. 15.06.2006, Бюл. №6. – 8 с.

35. Сергій Чумаченко, Рустам Мурасов, Ярослав Мельник Теоретико-методологічні основи інформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в умовах збройного конфлікту на Сході України. Журнал Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, №1(40), 2021, pp. 117 — 122. DOI: 10.33099/2311-7249/2021-40-1-117-122

36. Jeremy Blum Exploring Arduino : Tools and Techniques for Engineering Wizardry Wiley; 2nd edition (November 19, 2019)

37. Нікітін А. А., Триснюк В. М., Шумейко В. О. Алгоритм оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням дистанційного зонування землі та геоінформаційних систем. Системи управління, навігації та зв'язку. Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій. Полтава : ПНТУ, 2017. № 6 (46). С. 233-237.

38. John Koon LoRaWAN® Empowers Very Low-power, Wireless Applications: The Future of Low-power Wireless Network Kindle Edition November 19, 2019

39. Aprs Moving Hams On Radio And The Internet: A Guide to the Automatic Position Reporting System Paperback – March 31, 2004

40. AUTOMATIC POSITION REPORTING SYSTEM APRS PROTOCOL REFERENCE Protocol Version 1.0 Authors Document Version Filename The APRS Working Group Draft Version 1.0.1g aprs101g.pdf Date of Issue 3 December 1999 Copyright Technical Editor 1999 APRS Working Group All rights reserved Ian Wade, G3NRW.

41. [Електронний ресурс]: <http://aprs.org/>

42. [Електронний ресурс]: <https://aprs.fi>

43. А.В. Михайлова, С.М. Чумаченко, А.О. Мошенський, М.М. Кірієнко Моделювання мережі NVIS зв'язку для оповіщення про загрозу або

виникнення надзвичайної ситуації в агропромисловому комплексі на сході України. - Науковий журнал «Інженерія природокористування», Вип. 4 (14), 2019. С. 114-121.

44. Arduino®. Полный учебный курс. От игры к инженерному проекту. Уклад.: Салахова А. А. / Феоктистова О. А. / Александрова Н. А. / Храмова М. В. : 2020. 175с.

45. М'якшило О.М. CASE-технології у проектуванні інформаційних систем: електронний навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О.М. М'якшило, Л.Г. Загоровська, – К.: НУХТ, 2017. – 190 с.

46. Системний аналіз [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до практичних занять для студентів напряму підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки» денної та заочної форм навчання/ уклад. В. В. Самсонов. – К.: НУХТ, 2013. – 28 с.

47. [Електронний ресурс]: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

ДОДАТОК А

Модель As is

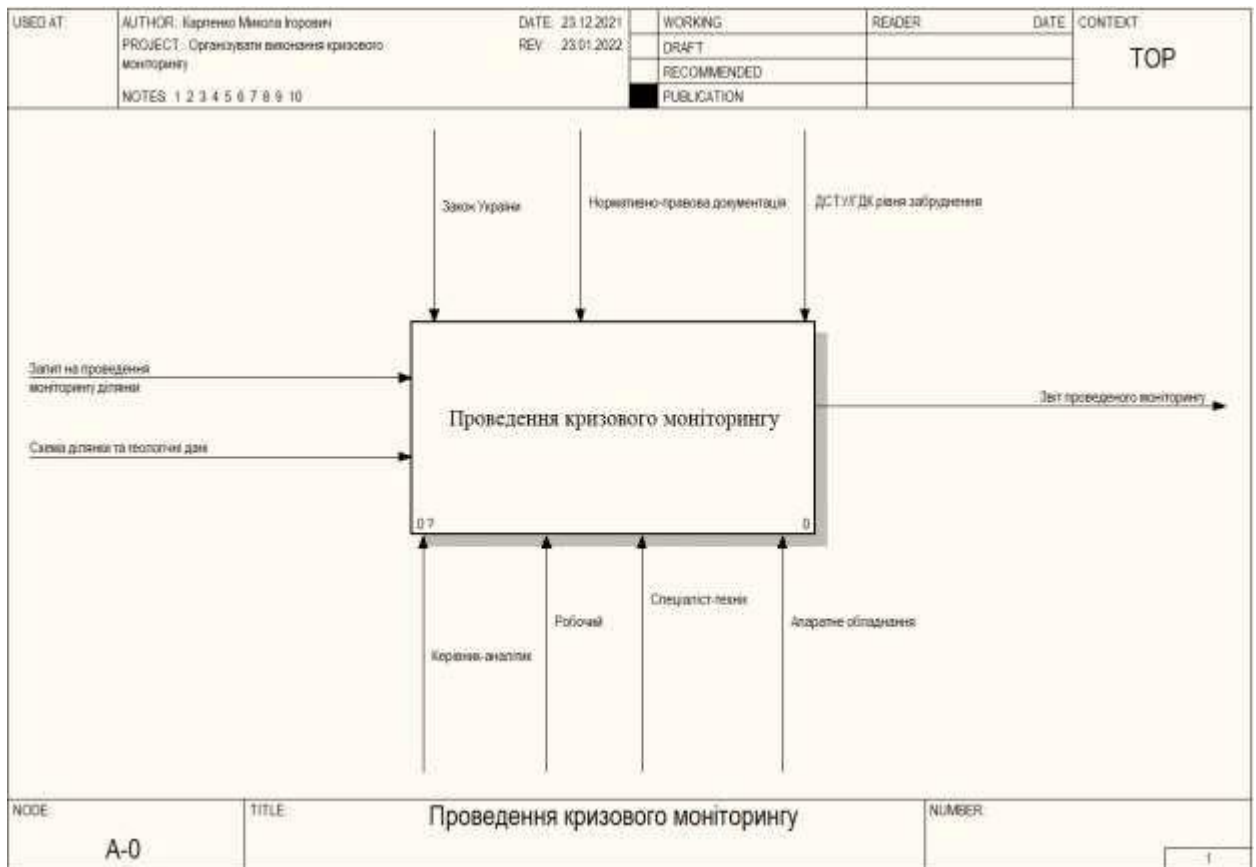


Рис.А1. Функціональна модель, діаграма IDEF0 першого рівня.

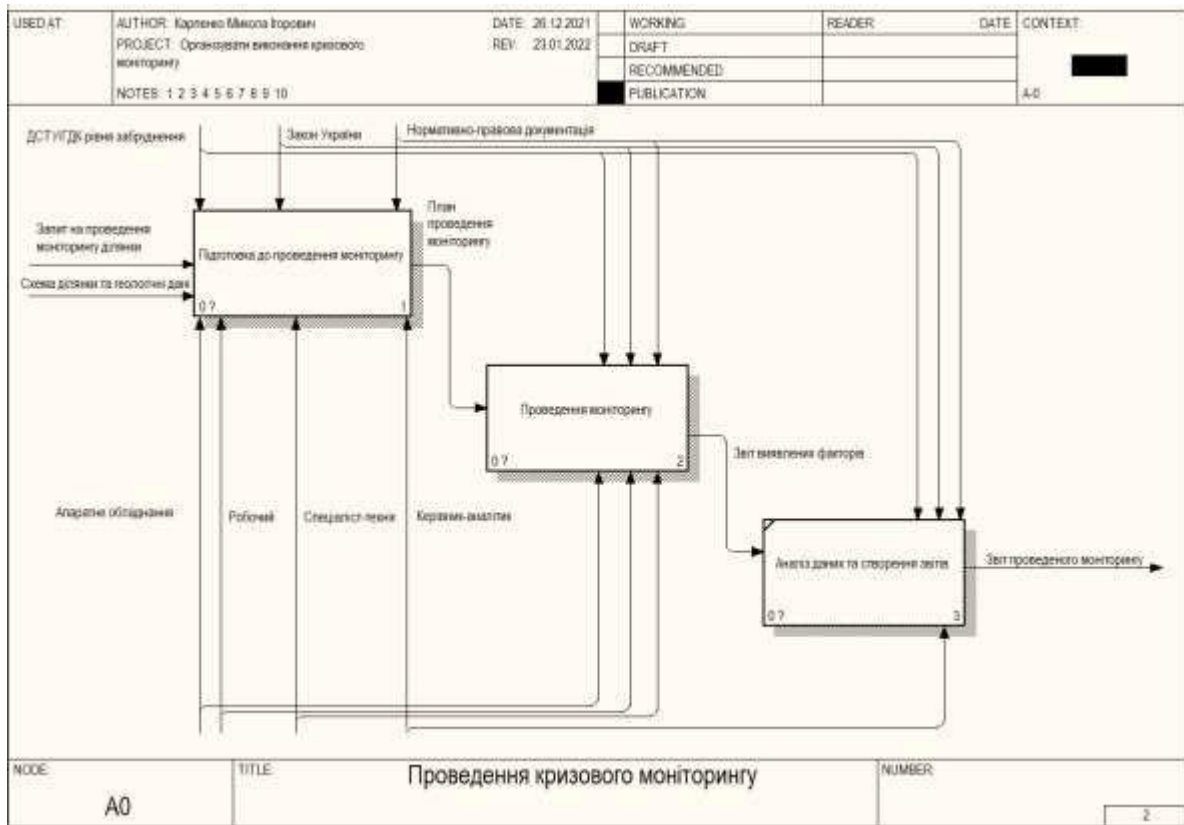


Рис.А2. Функціональна модель, діаграма IDEF0 другого рівня.

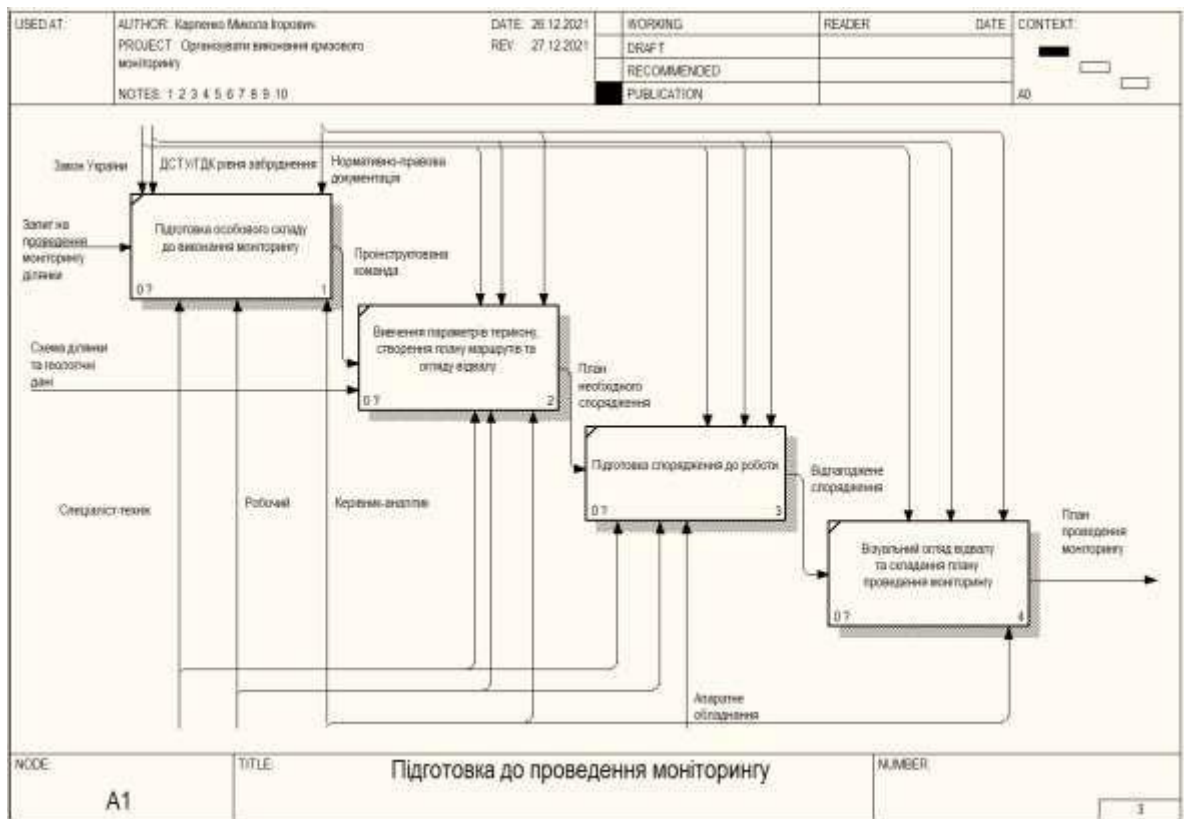


Рис.А3. Функціональна модель, діаграма IDEF0 третього рівня.

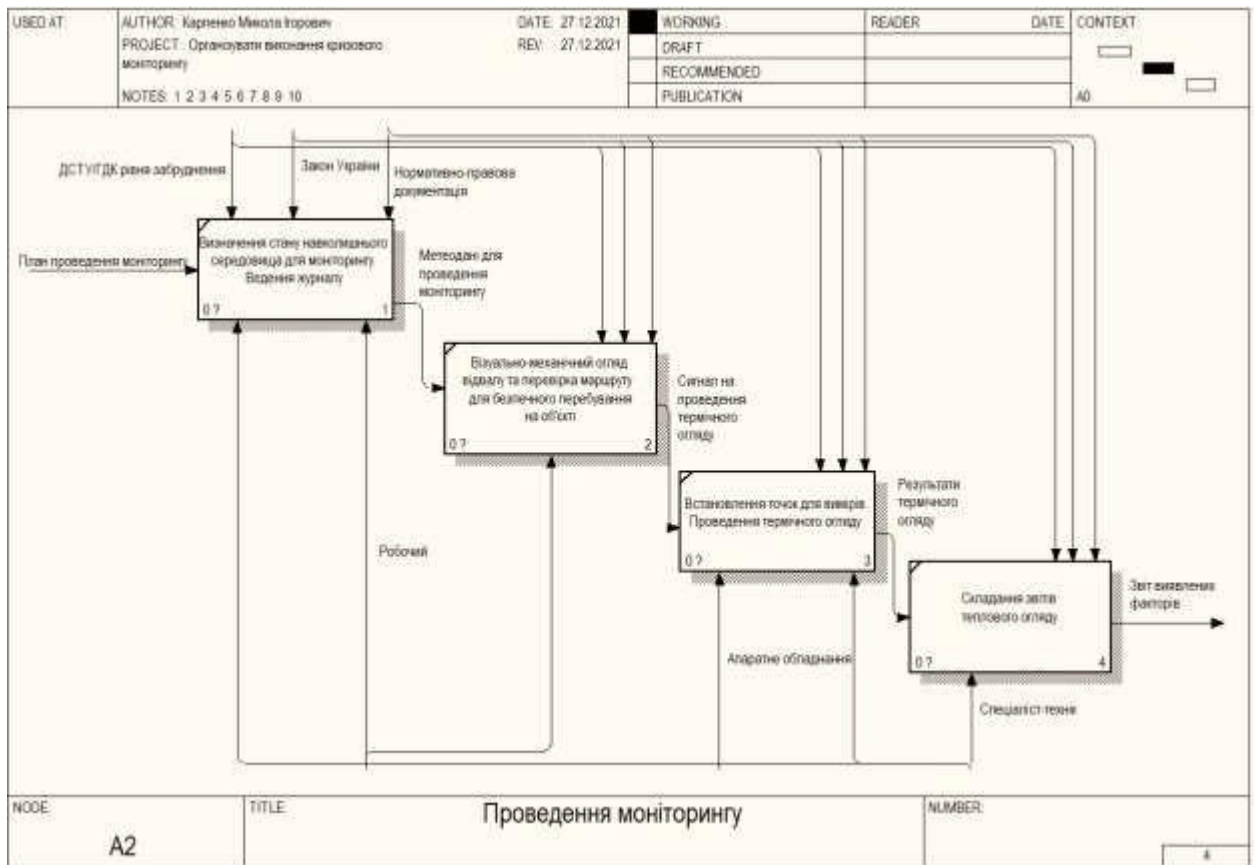


Рис.А4. Функціональна модель, діаграма IDEF0 четвертого рівня.

ДОДАТОК Б

Модель To be.

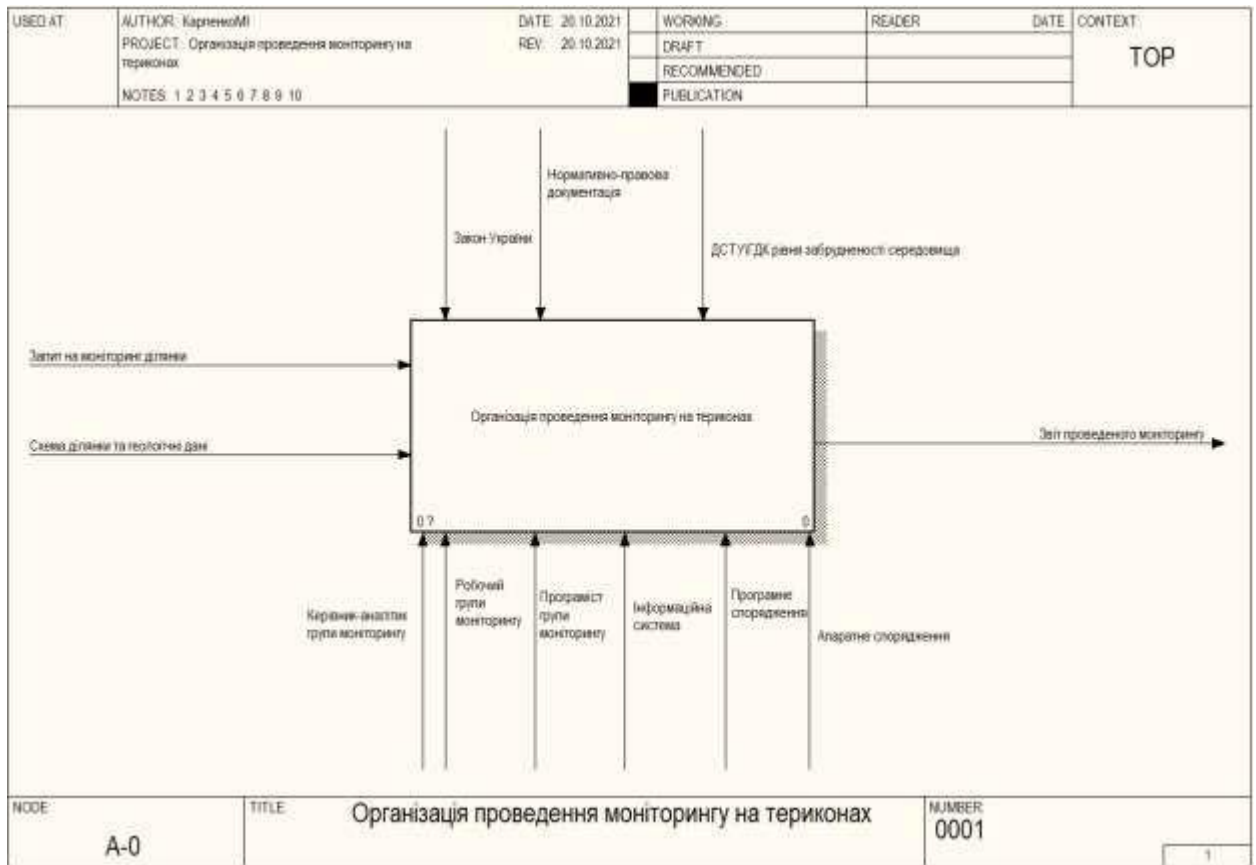


Рис.Б1. Концептуальна модель, діаграма IDEF0 першого рівня.

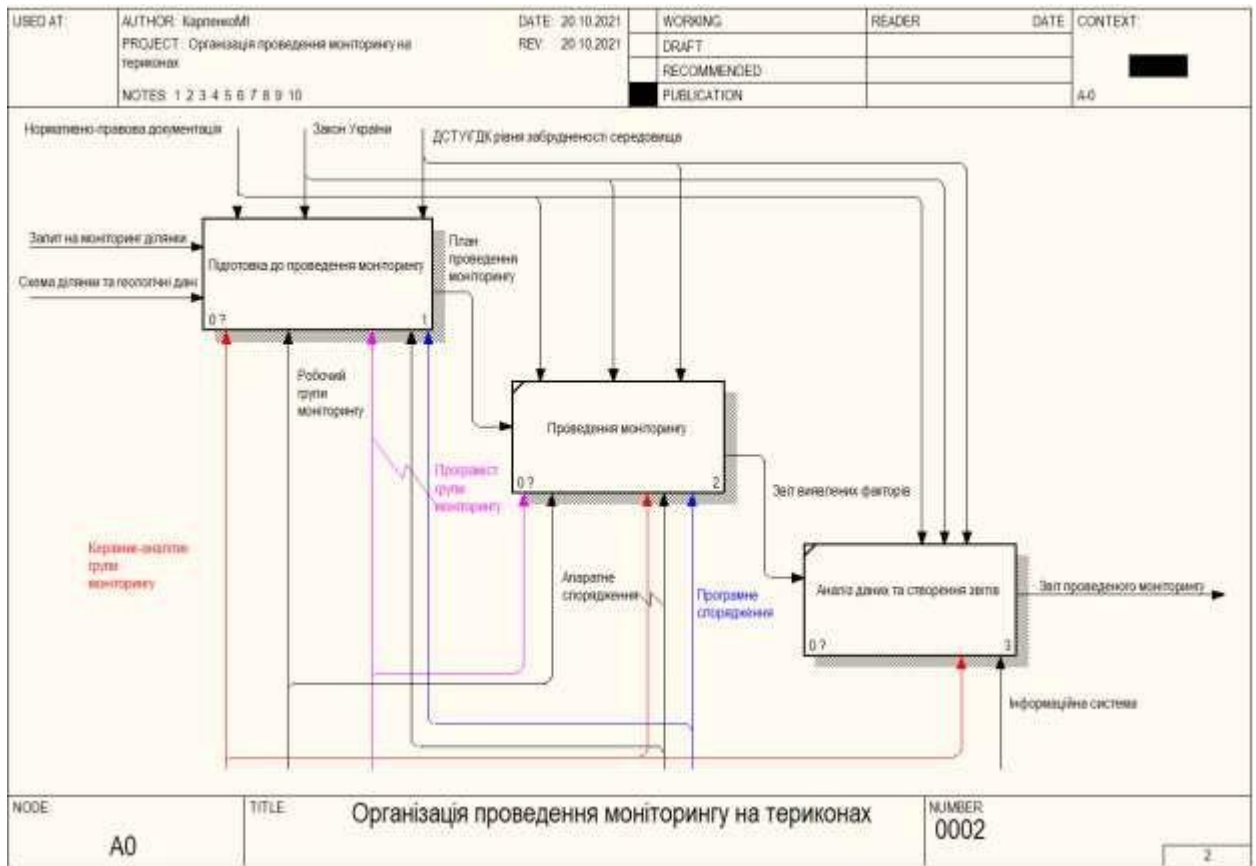


Рис.Б2. Концептуальна модель, діаграма IDEF0 другого рівня.

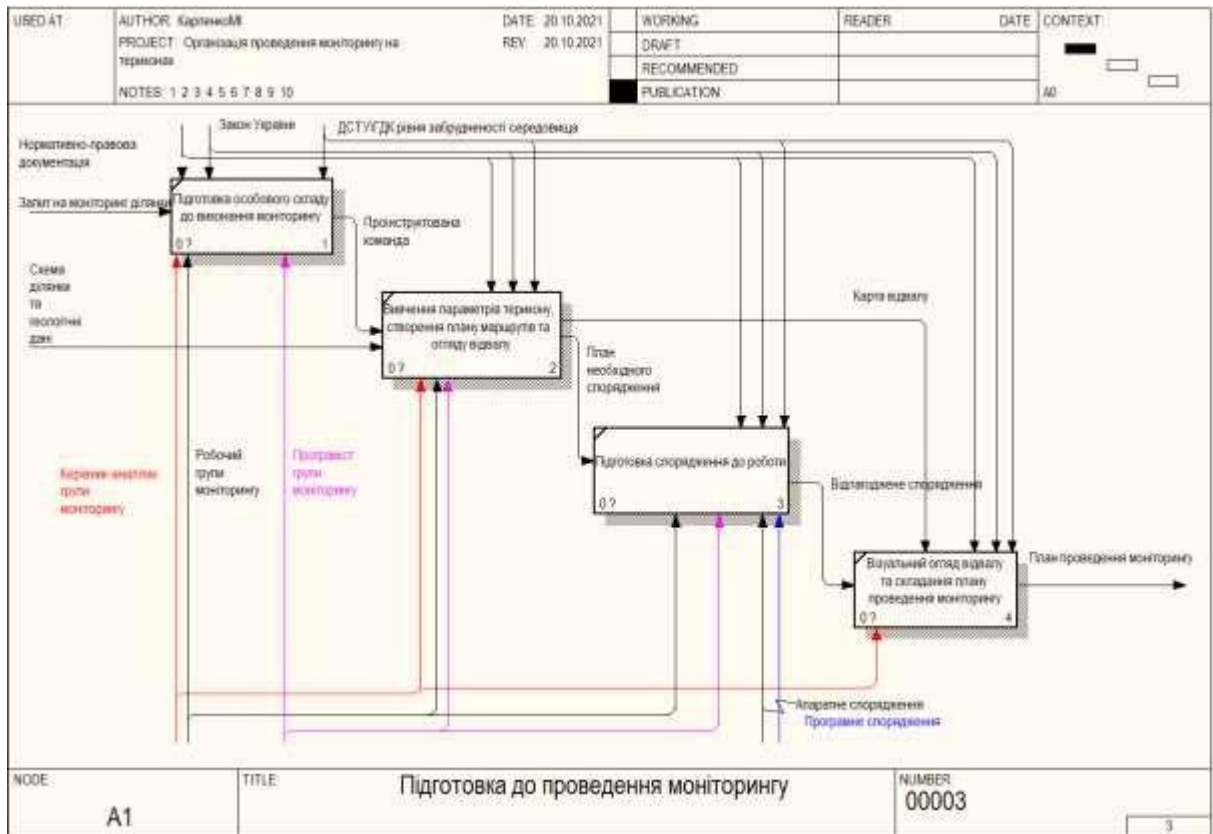


Рис.Б3. Концептуальна модель, діаграма IDEF0 третього рівня.

ДОДАТОК В

Текст програмного коду станції APRS:

```
#include <Wire.h>

#include <SPI.h>

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <ESP8266WiFiMulti.h>

#include <ESP8266HTTPClient.h>

// Бібліотеки вайфай

#include <stdlib_noniso.h>

#include <Adafruit_BMP280.h>

//Бібліотеки бмп

#define BMP_SCK (13)

#define BMP_MISO (12)

#define BMP_MOSI (11)

#define BMP_CS (10)

Adafruit_BMP280 bmp;// I2C

//Піни для бмп

ESP8266WiFiMulti WiFiMulti;

float bt,bp,ba;//BMP-temperature,pressure,altitude

void setup()

{

    Serial.begin(115200); // Швидкість порта
```

```

WiFiMulti.addAP("KLM", "S_aB*8#.0o"); // SSID і пароль точки доступу
WIFI

while ( !Serial ) delay(100);

unsigned status;

status = bmp.begin(0x76); //Перевірка наявності датчика bmp280

if (!status)

{

    Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring or "
        "try a different address!"));

    Serial.print("SensorID was: 0x"); Serial.println(bmp.sensorID(),16);

    Serial.print("    ID of 0xFF probably means a bad address, a BMP 180 or
BMP 085\n");

    Serial.print("    ID of 0x56-0x58 represents a BMP 280,\n");

    Serial.print("    ID of 0x60 represents a BME 280.\n");

    Serial.print("    ID of 0x61 represents a BME 680.\n");

    while (1) delay(10);

}

/* Default settings from datasheet. */

bmp.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL, /* Operating Mode.
*/

Adafruit_BMP280::SAMPLING_X2, /* Temp. oversampling */

Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16, /* Pressure oversampling */

Adafruit_BMP280::FILTER_X16, /* Filtering. */

```

```

Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500); /* Standby time. */

//Стандартны налаштування для бмп
}

void closeConnection(HTTPClient * pClientToClose)
{
    pClientToClose -> end();

    delay(1000);
}

//функція закриття з'єднання

void loop()
{
    if((WiFiMulti.run() == WL_CONNECTED))
    {
        HTTPClient http;

        const uint16_t port = 14580; // Порт сервера

        const char * host = "194.186.45.251"; // Ім'я хосту чи IP

        WiFiClient client; // Вмикаємо режим WI-FI клієнта

        delay(5000); // затримка 5 сек

        if (!client.connect(host, port)) //При під'єднанні до сервера йдемо далі,
інакше чекаємо

        {

            return;

        }
}

```

```

client.println("user UT4UYF-13 pass 19365 vers ESP8266_SM 0.1 filter m/1");
// Авторизація на сервері

delay (250);

//Оголошуємо наші змінні

bt = bmp.readTemperature();

bp = bmp.readPressure();

ba = bmp.readAltitude(1013.25);

// const int & temperature = bt;

float btt = (bt*1.8)+32;//Переведення температури в двократний цельсій для
коректного відображення

float bpp=bp/10;

const int & temperature = btt;

const int & pressure = bpp;

//const int & pressure = bp;

//const int & altitude = ba; // altitude

//

//Вивід даних в com-порт для перевірки

Serial.println(temperature);

Serial.println(pressure);

//Serial.println(altitude);

Serial.println("***");

Serial.println(bt);

```

```

Serial.println(bp);

Serial.println(ba);

//

client.print("UT4UYF-13>APRSWX,ТСPIР*,qAC,WIDE1-
1:=5030.80N/03036.94E_"); // Завантаження даних на сервер

client.print(".../...g...");//g

if (temperature >= 0)//if (f >= 0)

{

client.print("t0"); client.print(temperature);

}

else

{

client.print("t"); client.print(temperature);

}

client.print("r...p...P...h");//client.print("r...p...P...h...");

// client.print(pressure);

if (pressure >= 10000)

{

client.print("b"); client.print(pressure); client.println(" http://nuft.edu.ua");

}

else

{

client.print("b0"); client.print(pressure); client.println(" http://nuft.edu.ua");

```

```

}

client.println(" BMP-280 ");

client.println("UT4UYF-13>APRSWX,TCPIP*,qAC,WIDE1-1:> SmallMeteo
to APRS"); // Статус повідомлення

// client.stop();

Serial.println("aprs ok!");

delay(600000); // хвилин очікування до наступної відправки пакету
}
}

```

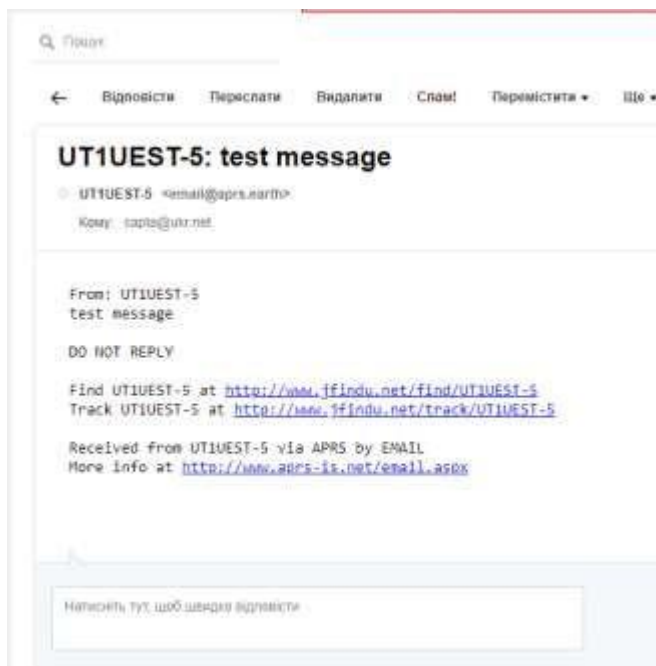


Рис.В.1. Реалізація відправки повідомлень зі станції на e-mail.

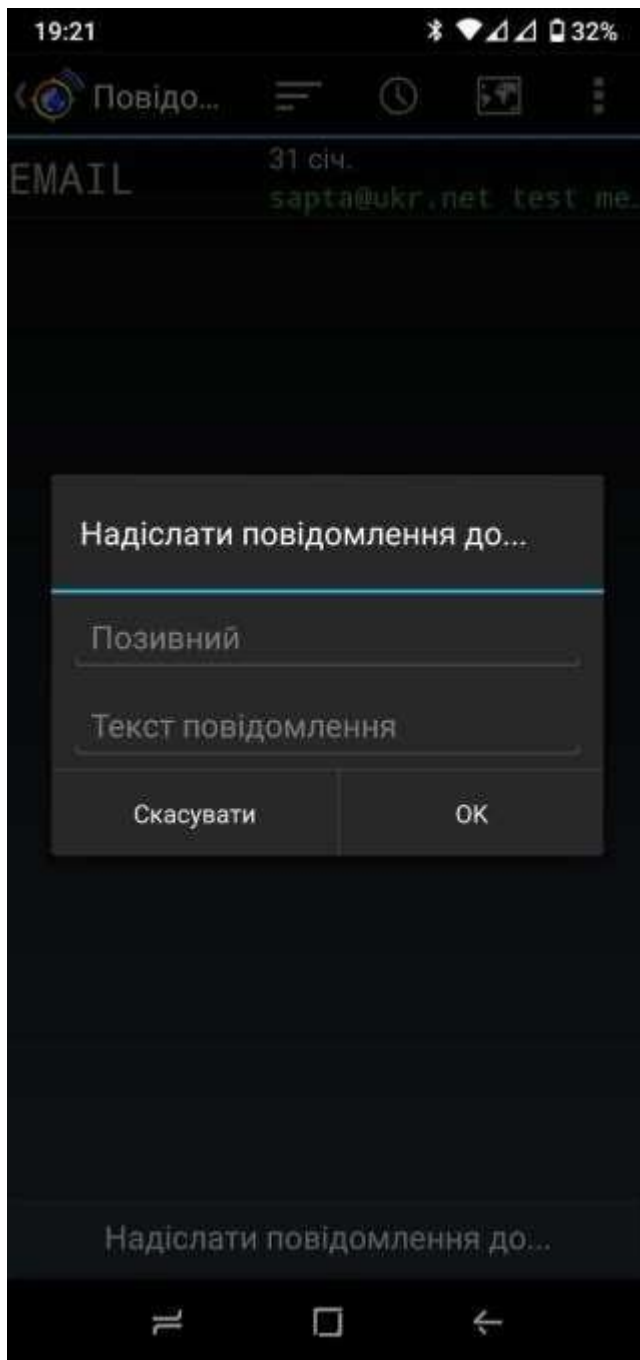


Рис.В.2. Вікно відправки текстового повідомлення.

ДОДАТОК Г

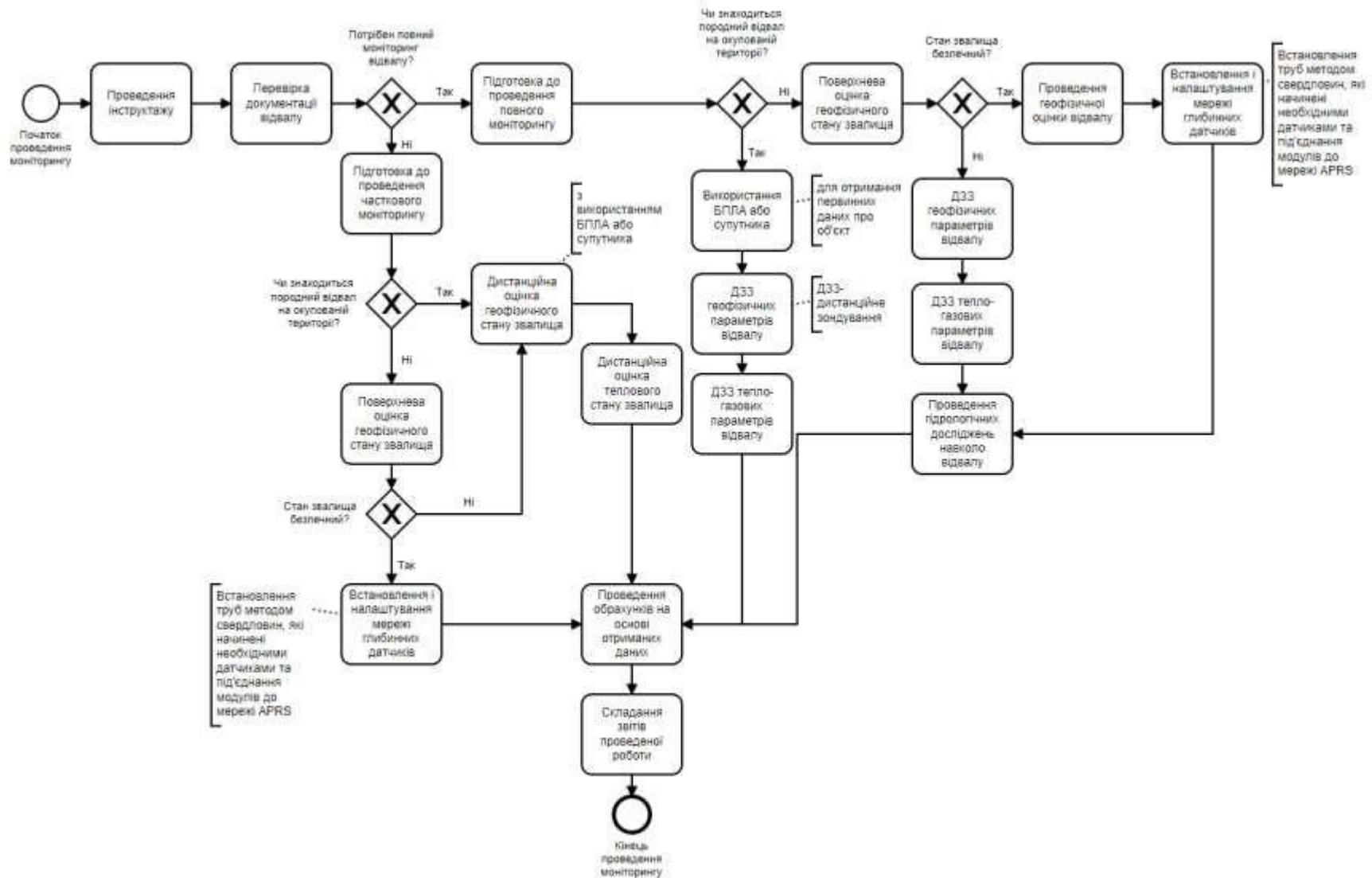


Рис.Г1. Алгоритм проведення моніторингу небезпечних речовин террикону.