

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

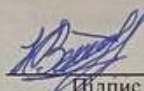
Політний контролер на базі платформи Arduino  
Назва теми

КвРКІ. 190120.19.01.23 ПЗ  
Шифр

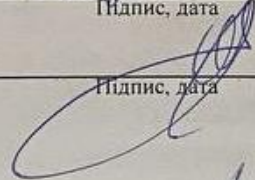
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

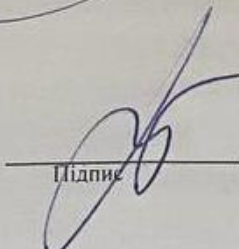
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-19-1  В.В. Колосовський  
Ініціали, прізвище

Керівник  І.В. Гурман  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  С.М. Лисенко  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

 Т.О. Говоруценко  
Ініціали, прізвище

«26» червня 2023 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Колосовському Віталію Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Політний контролер на базі платформи Arduino

Керівник проекту (роботи) Гурман І.В., д.т.н., проф.

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Порівняльний аналіз Arduino та технологій обміну даними;

Характеристика середовища програмування та технологій обміну даними;

Проектування політного контролера та прототипу квадрокоптера;





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

Arduino IDE як середовище програмування

Аналіз Arduino Nano та порівняльний аналіз технологій передачі даних

Політний контролер та компоненти

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 03 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 - Порівняльний аналіз Arduino та технологій обміну даними	01.03.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – Обґрунтування вибору середовища програмування та технологій обміну даними	03.04.2023	виконано
5	Робота над розділом 3 - Проектування політного контролера та прототипу квадрокоптера	29.04.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	24.05.2023	виконано
7	Попередній захист ВКР	25.05.2023	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

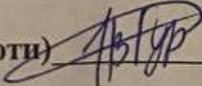
Студент



В.В. Колосовський

Підпис Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)


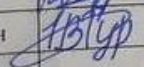

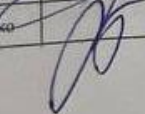


І.В. Гурман

Підпис Ініціали, прізвище

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екз	Примітка
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 190120.19.01.23 Е8	Блох-схема агоритму роботи пристрою	1		
3		КвРКІ 190120.19.01.23 Е8	Порівняльний аналіз Даних та компонентів	1		
4		КвРКІ 190120.19.01.23 Е8	Схема апаратних з'єднань Схема електрична принципова	1		

КвРКІ 190120.19.01.23 ВП

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Колосовський				У	1	1
Перевір.		Гурман				ХНУ, К12-19-1		
Н. контр.		Лисенко						
Затв.		Говорушенко		26.06				

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Політний контролер на базі платформи Arduino».

Автор роботи: Колосовський Віталій Володимирович.

Керівник роботи: Гурман Іван Васильович.

Пояснювальна записка: 55 с., 22 рис., 5 табл., 55 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

Arduino IDE, SigFox, технології Cat-M1, Лінійно - частотна модуляція, ESC 4 в 1 Hakkс, Arduino Nano, мікроконтролер, модуль RFM95W, станція Cisco.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування та розробка політного контролера на базі Arduino у квадрокоптері, встановлення найбільш ефективної роботи політного контролера у своєму ціновому діапазоні.

Об'єктом дослідження є програмно-технічний (апаратний) засіб, політний контролер на базі Arduino.

Предметом дослідження опис системи, графічні схеми політного контролера.

Практичне значення: має змодельований, спроектований та реалізований політний контролер для квадрокоптера на базі платформи Arduino. Зв'язок політного контролера з оператором дрона. Розміщення самого на пристрою на дроні.




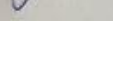
  
Підпис студента

07.08.2023

Дата

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ</b> .....	4
<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 ОГЛЯД ARDUINO IDE ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ОБМІНУ ДАНИМИ</b> .....	7
1.1 Arduino IDE, що собою представляє.....	7
1.2 Контроль території як необхідність теперішнього буття.....	10
1.3 Висновки.....	16
<b>2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОБМІНУ ДАНИМИ ТА АПАРАТНИХ СКЛАДОВИХ</b> .....	17
2.1 Загальні відомості про Arduino Nano.....	17
2.2 LPWA: технології обміну даними.....	21
2.3 Характерні особливості протоколу LoRaWAN на фізичному та мережевому рівнях.....	30
2.4 Застосування протоколу Cat-M1.....	33
2.5 Висновки.....	37
<b>3 ПРОЕКТУВАННЯ ПОЛІТНОГО КОНТРОЛЕРА ТА ПРОТОТИПУ КВАДРОКОПТЕРА</b> .....	38
3.1 Вибір компонентів для квадрокоптера.....	38
3.2 Політний контролер.....	45
3.3 Інтеграція модулів LoRaWAN / Cat M1 і мікроконтролера дрона.....	51
3.4 Способи обладнання радіомережі обміну даними.....	55
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	60

КвРКІ. 190120.19.01.23 ПЗ				
Змк.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Колосабський В.В.		
Перевір.		Гурман І.В.		
Н. Контр.		Лисенко С.М.		26.08
Затверд.		Говоріщенко Т.О.		
			Політний контролер на базі платформи Arduino	
				Літ.    Арк.    Акрушів
				2    55
ХНУ КІ2-19-1				

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	62
<b>Додаток А</b> .....	68
Код програми керування .....	68
<b>Додаток Б</b> .....	70
Копія креслення «Принципова схема з'єднань політного контролера» .....	70
<b>Додаток В</b> .....	71
Копія креслення «Принципова схема розпіновки Arduino nano» .....	71
<b>Додаток Г</b> .....	72
Копія креслення «Принципова схема з'єднань з модулем» .....	72

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

LPWA(N) —Low Power Wide Area

(LoRa)WAN—Long Range Wireless Area Network

БС — базова станція

БПЛА — безпілотний літальний апарат

CSS —Chrip Spread Spectrum

ЛЧМ—Лінійно — частотна модуляція

MAC—Media Access Control

ABP—Activation By Personalization

SRAM—Static Random Access Memory

EEPROM—Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Важливою задачею у теперішній час є відстеження порушень кордону контрольованої території. Основна задача охоронно-літальних комплексів полягає в можливості випередження проникнення порушників до заборонених зон. Завдяки стрімкому розвитку сучасних технологій можна оминати вже давно застарілі системи, що базуються лише на давачах периметральної охорони і відеокамерах. Розв'язком цієї задачі може бути створення системи моніторингу, яка буде дозволяти у режимі реального часу фіксувати порушника.

Разом з цим, можливість відслідковування незрозумілих осіб, після того як вони проникнули на заборонену територію зростає і дозволяє швидше реагувати охороні. Коли пошуки відбуваються на великих територіях то це відбувається доволі довго, їх можна пришвидшити за допомогою дрона. Але на сьогоднішній день таке обладнання не дозволяє тримати дрона в повітрі більше 40 хвилин, також можуть бути перешкоди в зв'язку, які будуть перебивати сигнал, а також перешкоджати передачі зображення на екран оператора дрона.

Метою кваліфікаційної роботи є полегшення організації повсякденної діяльності користувача шляхом проектування та розроблення політного контролера на базі Arduino у квадрокоптері.

Об'єктом дослідження є процес організації повсякденної діяльності користувача.

Предметом дослідження є інформаційна система є система, яка зможе виконувати роль спостереження та передачі даних у реальному часі на об'єкті.

Отже, зацікавилися розробкою дешевого безпілотного літального апарату, який зможе виконувати функцію охоронного дрона. Для нього в моєму проєкті буде створений політний контролер на базі Arduino Nano, оснащеним устаткуванням для виявлення порушника і передачі факта злочину диспетчеру.

Arduino Nano - це невелика, повна та дружня плата, що базується на ATmega328 (Arduino Nano 3.x). Він має більш-менш однакову функціональність Arduino Duemilanove, але в іншому пакеті. В ньому відсутній лише роз'єм

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення постійного струму, а замість стандартного USB-кабелю використовується міні-B-кабель. Arduino Nano має подібні функціональні можливості, як Arduino Duemilanove, але з іншим пакетом. Nano вбудований з мікроконтролером ATmega328P, так само, як і Arduino UNO. Основна відмінність між ними полягає в тому, що плата UNO представлена у форматі PDIP (Plastic Dual-In-Line Package) з 30 контактами, а Nano доступний у TQFP (пластиковий чотирьох ядерний пакет) з 32 контактами. Додаткові 2 пін Arduino Nano служать для функціональності ADC, в той час як UNO має 6 ADC портів, але Nano має 8 ADC портів. Порт USB. Цей порт використовується як для програмування, так і для послідовного моніторингу. Захоплююча особливість у Nano полягає в тому, що він вибере найсильніше джерело живлення з різницею потенціалів, а перемикач джерела живлення не діє.

Кожен мікроконтролер потребує програмного забезпечення для програмування. Мікроконтролер в Arduino має своє власне інтегроване середовище розробки (IDE).

Він безкоштовний і кожен може завантажити його з офіційного сайту, використовуючи платформу Windows, Mac OS або Linux. Це дозволяє Arduino Board отримати більше користувачів, і це також допомагає йому рости.

Також для цього БПЛА потрібно вибрати обладнання, яке забезпечить стійкий канал передачі сигналів та команд з дрону, а також можливість відправки зображень до оператора дрону.

Об'єктом дослідження є квадрокоптер з політним контролером на базі Arduino.

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ARDUINO IDE ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ОБМІНУ ДАНИМИ

## 1.1 Arduino IDE, що собою представляє

IDE (інтегроване середовище для розробки) — це програма (середовище), призначена для створення, налаштування, редагування, тестування та підтримки програмного забезпечення.

Дане середовище розробки характеризується тим, що має доволі не складний функціонал, в тому числі, редагування та компіляцію вихідного коду, створення програмних ресурсів, створення баз даних тощо (рис 1.1).

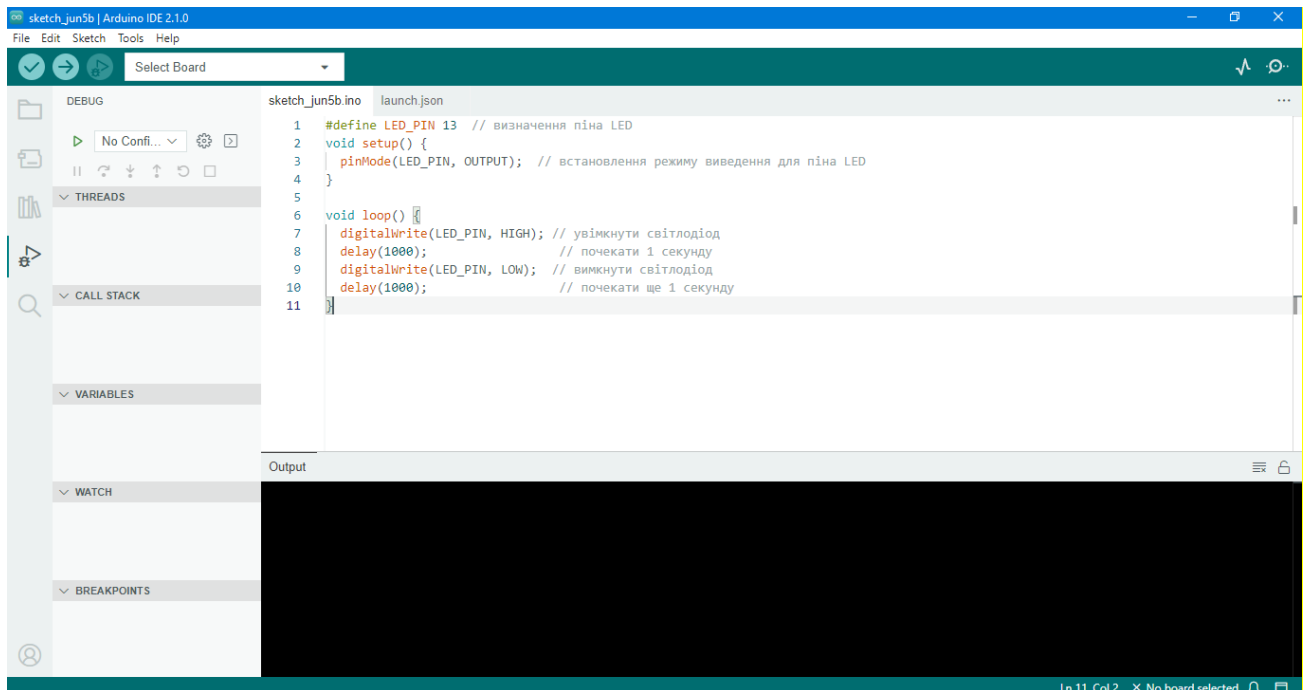


Рисунок 1.1 – Приклад простої програми в середовищі

В межах проєкту Arduino було створено програмне забезпечення, що відповідає основним вимогам типового середовища IDE. Це доволі таки проста функціональна програма, яка дозволяє писати, компілювати та завантажувати програму в мікроконтролер. Проста структура Arduino IDE є перевагою, завдяки цьому відбувається швидко вивчення програм і перехід до розробки програм для Arduino. Незважаючи на простоту та інтуїтивно зрозуміле управління, варто

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

звернути увагу на найважливіші елементи програми.

Після того як програма була запущена можна знайти чотири основні функціональні елементи:

- 1) програмне меню;
- 2) панель швидкого доступу до важливих функцій;
- 3) редактор (для розміщення програмного коду);
- 4) панель повідомлень і стан програми.

Функціонал який надає нам програма дозволяє керувати проектом, наприклад, створити новий проект, зберегти поточний, редагувати поточний, роздрукувати вихідний код на принтері. Великим плюсом цієї програми є те, що там вбудований набір прикладів програм. Це дуже зручно, тому що зразки програм можна відразу перевірити, завантаживши їх у мікроконтролер. При потребі, ви можете зберегти приклад і змінити його відповідно до ваших потреб. За допомогою Arduino IDE можна запрограмувати Bootloader для нового, чистого мікроконтролера Atmega, що дозволяє робити копії чіпів, що дозволяє просто замінити несправний мікроконтролер в Arduino.

У звичайній роботі з Arduino IDE використовують панель швидкого доступу, на якій розташовуються найбільш важливі кнопки. Це чудове рішення, що значно полегшує роботу з пакетом IDE, яке дає нам фактично прямий доступ практично до всіх параметрів які необхідні для написання та тестування програми. Додаткові команди знаходяться в меню: File, Edit, Sketch, Tools та Help. У цих меню завжди активні лише ті пункти, які можна застосувати до поточного елемента або фрагмента коду. Copy for Forum (Скопіювати для форуму)

Копіювати код програми в буфер обміну у спеціальному форматі, зручному для постінгу на форум (з підсвічуванням синтаксису).

Copy as HTML (Скопіювати як HTML).

Копіювати код програми у буфер обміну у вигляді HTML-коду, зручного для вбудовування у веб-сторінки.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Arduino IDE нам дозволяє:

- 1) скомпілювати програму;
- 2) завантажити програму в мікроконтролер, але перед прошивкою код програми компілюється;
- 3) розпочати роботу над новим проектом;
- 4) відкрити існуючий проект;
- 5) зберегти проект на диск;
- 6) увімкнути монітор послідовного порту.

Усі опції на панелі швидкого доступу продубльовані в меню програми.

Також є додатковий корисний елемент, що знаходиться під кнопкою включення монітора послідовного порту - це меню для керування вкладками. Вкладки Arduino IDE спрощують написання складних проєктів, а також дозволяють працювати з кількома проєктами одночасно (рис 1.2).

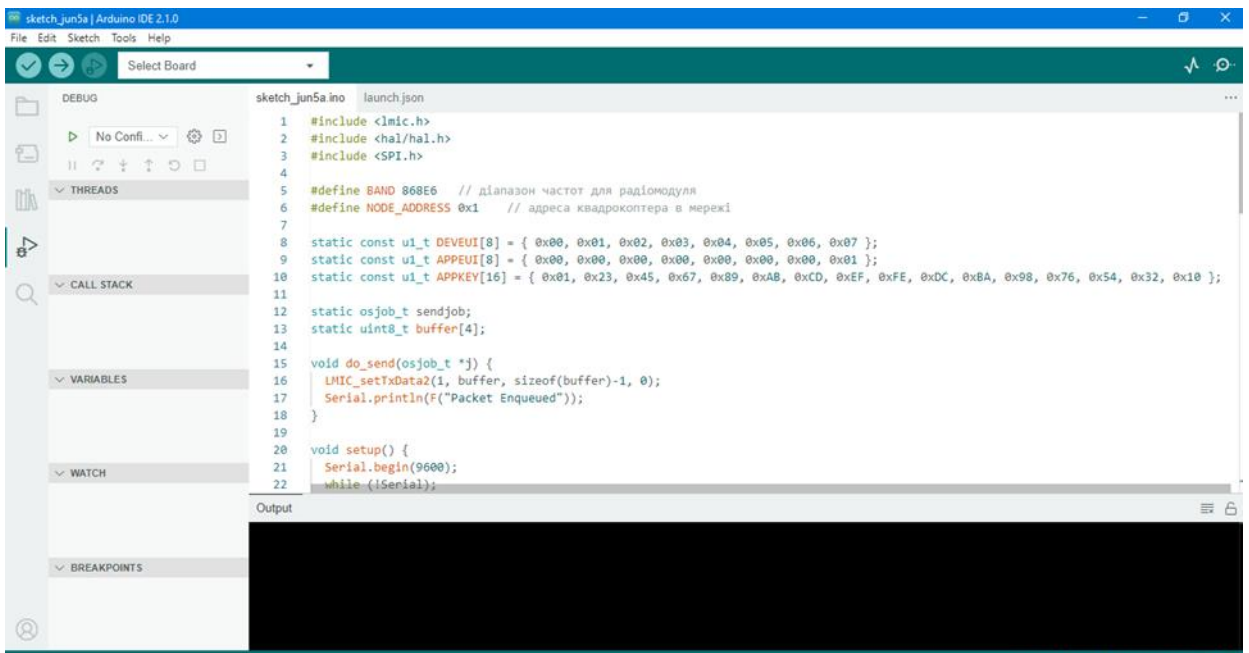


Рисунок 1.2 – Інтерфейс середовища Arduino IDE

## 1.2 Контроль території як необхідність теперішнього буття

Наразі фактично кожна будівля – як адміністративна, так і приватна – обладнана системою попередження і захисту. Те саме стосується випробувальних комплексів та закритих територій, які завжди оснащені приладами у боротьбі з несанкціонованими проникненнями.

Якщо говорити про мету встановлення такої техніки, то це, перш за все, профілактика втрати секретів фірми, яка в теорії може відбуватися або методом шахрайства, або в цілому викраданням необхідних документів, які містять таємну інформацію. Окрім цього, система захисту захищає власника будівлі від утрати носіїв цифрових даних, що є не менш небезпечно.

Варто зазначити, що такі прилади також здатні попереджувати викраденню різноманітних корисних ресурсів, які часто знаходяться саме на складах підприємств або прилеглої до них території. Системи попередження і захисту спрямовані й на профілактику втрати оснащення та інших технічних приладів компаній.

Для того, щоб забезпечити максимальну ефективність і користь, дані системі оснащені наступними засобами:

1. Камери відеоспостереження.
2. Оперативна охоронна група.
3. Прилади, які здатні детектувати факти проникнення або – інший варіант – втручання в роботу відповідних комунікаційних систем.

Цікаво зазначити, що через деякий час системи попередження і захисту можуть втратити свою ефективність, а точніше знизити її з максимального рівня. Це відбувається з декількох причин.

Перша з них – непередбачуваність ситуації, в якій зловмисник намагається здійснити крадіжку цінних паперів або інших не менш важливих ресурсів. Така життєва історія значно знижує користь, яку могла б надати система спостереження та її окремі компоненти, оскільки багато таких систем не створені для того, аби вміти передбачити дії порушника. У такому випадку варто згадати

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

воєнізовані комплекси, адже лише вони не дотримуються цього пункту. У таких комплексах майже завжди можна знайти систему сканування повітряного простору, яка й забезпечить вирішення даної проблеми.

Окрім цього, аеромобілі та дрони, які з кожним днем набувають все більшого розвитку та поширення у використанні як на приватних, так і на державних підприємствах, дають змогу запуснути на закриту територію деякі ресурси, серед яких роботизовані та людські, призначені спеціально для шпигунства.

Наступна причина, яка впливає на зниження ефективності від роботи систем попереджування і захисту – це звичайна застарілість техніки. Світ невпинно розвивається, нові технології з'являються буквально щоденно, тому камери, які були встановлені декілька років або навіть місяців – залежно від якості продукту, як правило, мають значно гірші показники певного функціоналу.

Наприклад, це може стосуватися кута охоплення контрольованої підприємством території – в старіших камерах відеоспостереження він, звичайно, менший, або передача зображень, чії характеристики в декілька разів відстають від більш сучасних приладів. Із цієї причини впливає, що для того, аби забезпечити свою територію, потрібно особливо ретельно вивчити план будівлі та приділити увагу технічним характеристикам того обладнання, яке там встановлено.

Третя причина – збільшення території. Унаслідок цього камери відеоспостереження можуть залишати так звані «білі плями». Так називаються ті участки, які вони не здатні помітити саме через дану причину. Також передумовою виникнення «білих плям» може бути перепланування будівлі або їх комплексу.

Четверта причина трактується як особливо відоме явище на шахрайському ринку. Через те, що системи спостереження і захисту можна проаналізувати через безліч електронних джерел, які в прямому сенсі дають відповіді на всі технічні запитання відвідувачів, вони стають доступними для кожного, таким чином становлячи небезпеку для тих, хто сподівається ними захиститися.

									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Окрім цього, Інтернет дає користувачам можливість навчитися перелаштовувати пристрої, призначені для охорони того чи іншого об'єкту, зламувати їх, міняти дані та робити інші небезпечні для безпеки маніпуляції.

Остання причина впливу на зниження ефективності від роботи систем попереджування і захисту – це стрімкий розвиток технологій. Саме в такому ключі він грає негативну роль, оскільки швидкий «скачок» у технічному світі стимулює на створення певних програмних алгоритмів. Вони здатні стати частиною роботи обладнання, яке вже давно застаріло, таким чином відкривши «вікна». Це часові проміжки, які відповідають роботі тих чи інших пристроїв. При цьому відкриття відбувається – важливий нюанс – без порушення кордону території, яка знаходиться під контролем. Іншим варіантом розвитку подій є цілковите припинення роботи певного технічного обладнання.

Виходячи з вищесказаного, розуміємо, що системи попередження і захисту об'єктів, які вважаються стандартними, не здатні повністю забезпечити їх власникам надійний рівень захисту, який збереже територію від проникнення злоумисників із різноманітними намірами.

Однак для вирішення цієї проблеми було запропоновано використовувати в якості охоронної діяльності безпілотний літальний апарат. Його основною задачею є надання оперативної інформації про стан безпеки, який відбувається тут і зараз на відповідній території. Тобто насправді такий апарат працює у режимі, який максимально наближений до реального часу і знаходиться на різних частинах досліджуваної території.

Проектування безпілотного літального апарату забезпечується об'єктивним визначенням технологій, які збирають, а згодом і передають дані про контрольовану територію, а також використанням компонентів, необхідних власне для нього самого.

Вважається, що однією з найбільших перепон для застосування безпосередньо аналогічних пристроїв для попередження і захисту об'єктів є виснаження акумулятора БПЛА, що розвивається досить стрімко. Це дійсно так, адже для того, щоб прилад підходив для даної діяльності, необхідно, щоб він не

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

втрачав обсяг охоплення території, а виснаження акумулятора є прямою завадою на шляху до цього. Для більшості саме описаний критерій є ключовим в аналізуванні корисності й необхідності для придбання приладу.

Аби вирішити дану проблеми, було запропоновано наступне: використовувати декілька дронів – їх кількість залежить від того, наскільки велика контрольована зона, себто від її розміру. Варто зазначити, що вони працюють за принципом синхронізованого обліту. Це означає, що в них налаштована програма керування, яка і здійснює автоматичним способом цей обліт.

Наведемо приклад такого явища. Перед тим, як розрахувати загальну кількість дронів, які необхідні нам для застосування, потрібно здійснити обчислення про час підзарядки акумулятора і повернення до політної бази лише одного дрону, якого ми взяли в застосування на територію відповідного підприємства.

Але варто також розглянути й інший варіант, коли кількість дронів з метою статистичного контролю буде надмірно високою. Це може статися в тому випадку, коли територія підпорядкованої цьому території вирізняється значною площею.

Через це, варто взяти до уваги іншу концепцію. Необхідно збільшити час польоту для кожного дрону. У свою чергу це сприятиме зменшенню їх кількості, яка буде необхідна для роботи.

Протокол обміну даними між контролером польоту і безпілотного літального апарату – це один із визначальних факторів, які мають певний вплив на безпосередню швидкість втрати енергії акумулятора дрона.

На сьогоднішній день неодноразово стикаємося з тим, що до бездротових мереж зв'язку – будь-то місто чи село - підключено чимало різних пристроїв. Останнім часом їх кількість лише збільшується. Це стає справжньою тенденцією сучасності.

Wi-Fi – це, безумовно, найпоширеніша мережа, яка вже чимало років вважається стандартом. Вона використовується переважно у сферах віддаленого

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

управління устаткування та автоматизації. Однак ми маємо до цього деякі заперечення.

Дана мережа задовольняє не всіх користувачів, адже вона стандартизована за допомогою широкополосного зв'язку, що не дає теоретичної так практичної можливості підключенню десятків – або, в більш широкому застосуванні, сотні різноманітних приладів. Тобто, ця причина є визначальною в тому, що підключення пристроїв до цієї базової станції неможливе без певних жертв, а саме втрата надійності, захищеності з'єднання та її швидкості.

Окрім цього, на шляху до такого з'єднання трапляються й інші перепони. Серед них місцеві нагромадження, зелені насадження, адміністративні та приватизовані будівлі тощо – їх може бути чимала кількість, однак усі вони не дають змоги нормально функціонувати інформаційній складовій корисного сигналу. Також варто зазначити про деякі пристрої, які несуть за собою електромагнітні колізії у каналі зв'язку. Незважаючи на це, робота приладів, які використовують таку ж радіочастотну технологію, забезпечується одночасно і проводиться у частотному діапазоні або 2.4 ГГц, або 5 ГГц.

Головною задачею є збільшення кількості точок доступу, яка буде відбуватися фактично пропорційно до кількості користувачів, які їх використовують. Її передумовами є, перш за все, низька кількість каналів зв'язку – тут варто підкреслити, що лише 3 канали не перетинаються в ефірі.

Другим фактором є відсутність гострої необхідності в тому, щоб ліцензувати різноманітні пристрої, чиїми задачами є обмін даних у вказаних нами раніше частотних діапазонах.

Попри все це, суміжність хоча б двох базових станцій все-одно сприяє зменшенню якості їх зв'язку. Було визначено, що причиною цього явища є те, що для кожної точки доступу характерний обмін даних іншої через шум, що носить назву канальний.

Із вище переліченого робимо тезу про те, що якщо перед нами стоїть мета захистити територію, то нам вкрай не варто використовувати для цього поширені (а їм характерна і відкритість) стандарти зв'язку.

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Для того, аби розробити вдалий прототип дрона-спостерігача, ми повинні врахувати всі зазначені вище проблемні питання, які зазвичай виникають між пунктом управління БПЛА та безпосередньо самим пристроєм. Ці проблеми носять більше комунікаційний характер.

Щоб проектування було ефективним, варто не ігнорувати сам вибір протоколу, який здійснюється за схемою передачі даних з контролеру дрона і датчиків до самого центру керування польотом і обробки даних.

З метою вирішення цього завдання ми пропонуємо використати широко відому концепцію під назвою «Інтернет речей».

Відповідно до досліджень компанії Cisco, 500 мільярдів підключених до мережі Інтернет пристроїв очікується лише до 2030 року. Цікаво зазначити, що кожен із таких пристроїв має певні датчики. Їх роль – збір інформації, при цьому відбувається це за допомогою взаємодії з оточуванням. Окрім цього, такі датчики мають безпосередній доступ до глобальної мережі. Саме така мережа називається Інтернетом речей. Тут техніка є джерелом інформації, яка використовується для аналізування того чи іншого оточення. Також ці пристрої визначають методи впливу на власне їх стан.

На даний момент існує безліч різноманітних оцінок на ринку Інтернету речей. Для прикладу, згадаємо IHS – аналітичну компанію, яка займається прогнозуванням стрімкого збільшення застосування даних пристроїв упродовж декількох наступних років. Результати дослідження нас вразили. Виявляється, база підключених до Інтернету користувачів становитиме понад 50 млрд таких пристроїв вже через два роки. До цього включається й постачання новітнього обладнання, яке, згідно з прогнозами цієї компанії, принесе їй понад 12 млрд дол. на рік. Маємо певні очікування на рахунок встановленої бази. Значна її частина буде належати промисловим галузям застосування. Загалом, орієнтовно поррахувавши кількість підключених до неї пристроїв, можна з'ясувати, що там їх буде близько 20 млрд. До цього ж, усі вони будуть розгорнуті у багатьох різноманітних індустріальних галузях.

									Арк.
									15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

### 1.3 Висновки

Отже, можна сказати, що Arduino IDE — це досить простий програмний пакет, який дозволяє запрограмувати будь-яку відому плату Arduino, спілкуватися з послідовним портом і легко керувати проектами. Прототип охоронного дрона створений спеціально для динамічної реакції на проникнення порушника на контрольовану територію, при цьому з можливістю ручного управління оператором. Він не обмежується статичним контролем стану середовища. У свою чергу, стандартні відеоспостереження зазвичай функціонують навпаки.

Завдяки проведеному дослідженню та методу порівняльного аналізу, ми з'ясували, що протокол LoRaWAN має певні переваги з метою обміну інформацією між центром обробки та дроном. Важливим є те, що за цим протоколом закріплюються команди, які працюють на переключення у режим ручного управління. Окрім цього, в ньому застосовуються такі функціональні аспекти, як відстеження місця розташування дрона та безпосередньо самого рівня заряду акумулятора.

Для того, аби передати зроблений знімок, якщо трапляється якась надзвичайна подія типу появи порушника на території, яка контролюється, потрібно застосувати стандарт зв'язку, який ми вже неодноразово згадували — eMTC (або, іншими словами, Cat-M1). Він є малопотужним, тому цілком підходить під відповідне завдання.

Отож, спираючись на вищесказане, було запропоновано розробити дрон охоронного типу на базі Arduino Nano, який забезпечує вирішення всіх описаних задач та відповідає певним вимогам.

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОБМІНУ ДАНИМИ ТА АПАРАТНИХ СКЛАДОВИХ

### 2.1 Загальні відомості про Arduino Nano

Arduino Nano - це доволі невелика, повна та дружня плата, що базується на мікропроцесорі ATmega328 (Arduino Nano 3.x). Він має більш-менш однакову функціональність з Arduino Duemilanove, але в іншому пакеті. В ньому відсутній лише роз'єм живлення постійного струму, а замість стандартного USB-кабелю використовується міні-B-кабель (див. рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Плата Arduino Nano

На таблиці 2.1 приведені всі основні характеристики плати Arduino Nano.

Таблиця 2.1 – Характеристики Arduino.

Мікроконтролер	ATmega328
Архітектура	AVR
Робоча напруга	5 V
Флеш-пам'ять	32 KB
SRAM	2 KB
Тактова частота	16 MHz
Аналогові вхідні піни	8

Кінець таблиці 2.1

EEPROM	1 KB
Вхідна напруга	7-12 V
ШІМ вихід	6
Споживання енергії	19 mA
Розмір друкованої плати	18 x 45 mm

Розпіновка приведена на рисунку 2.2.

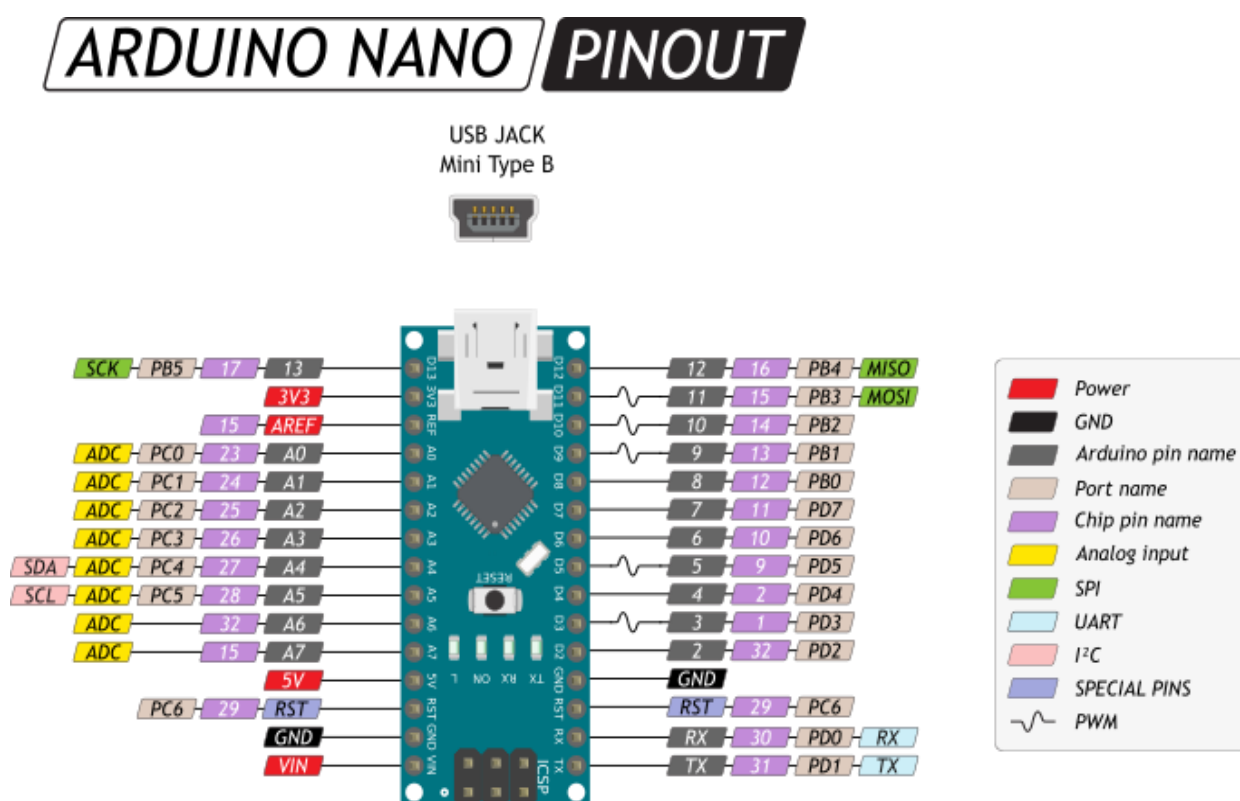


Рисунок 2.2 – Схема штифтів Arduino NANO

Arduino Nano має подібні функціональні можливості, як Arduino Duemilanove, але з іншим пакетом. Nano вбудований з мікроконтролером ATmega328P, так само, як і Arduino UNO. Основна відмінність між ними полягає в тому, що плата UNO представлена у форматі PDIP (Plastic Dual-In-Line Package) з 30 контактами, а Nano доступний у TQFP (пластиковий чотирьох ядерний пакет) з 32 контактами. Додаткові 2 піна Arduino Nano служать для функціональності

ADC, в той час як UNO має 6 ADC портів, але Nano має 8 ADC портів. Порт USB. Цей порт використовується як для програмування, так і для послідовного моніторингу. Захоплююча особливість у Nano полягає в тому, що він вибере найсильніший джерело живлення з різницею потенціалів, а перемикач джерела живлення не діє. Його було обрано через наступне:

Arduino Nano може житися через USB-підключення Mini-B, 6-20V нерегульований зовнішній блок живлення (штифт 30) або 5V регульований зовнішній блок живлення (контакт 27). Джерело живлення автоматично вибирається для джерела високої напруги.

ATmega328 має 32 Кб (також з 2 Кб для завантажувача). ATmega328 має 2 Кб SRAM і 1 Кб EEPROM.

Кожен з 14 цифрових контактів на Nano може використовуватися як вхід або вихід, використовуючи функції pinMode (), digitalWrite () і digitalRead (). Вони працюють на напрузі 5 вольт. Кожен висновок може забезпечувати або приймати максимум 40 мА і має внутрішній підтягувальний резистор (відключений за замовчуванням) Крім того, деякі шпильки мають спеціалізовані функції:

Послідовний: 0 (RX) і 1 (TX). Використовується для прийому (RX) і передачі (TX) послідовних даних TTL. Ці штири підключені до відповідних пінів чіпа FTDI USB-to-TTL Serial.

Зовнішні переривання: 2 і 3. Ці висновки можуть бути налаштовані для ініціювання переривання на низьке значення, зростання або падіння краю, або зміна значення. Докладніше див. Функцію attachInterrupt ().

PWM: 3, 5, 6, 9, 10 і 11. Забезпечують 8-бітовий вихід PWM з функцією analogWrite ().

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ці піни підтримують зв'язок SPI, яка, хоча і забезпечується базовим обладнанням, наразі не входить до мови Arduino.

LED: 13. Вбудований світлодіод, підключений до цифрового висновку 13. Коли штифт має велике значення, індикатор світиться, коли штифт LOW, він вимкнений.

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			19

Nano має 8 аналогових входів, кожен з яких забезпечує 10 біт дозволу (тобто 1024 різних значень). За замовчуванням вони вимірюються від землі до 5 вольт, хоча можна змінити верхній кінець діапазону за допомогою функції `analogReference()`. Аналогові виводи 6 і 7 не можуть бути використані в якості цифрових контактів. Крім того, деякі шпильки мають спеціалізовані функції:

I2C:A4 (SDA) і A5 (SCL). Підтримка зв'язку I2C (TWI) за допомогою бібліотеки `Wire` (документація на веб-сайті `Wiring`).

Є кілька інших контактів на платі:

AREF. Опорна напруга для аналогових входів. Використовується з `analogReference()`.

Reset. Приведіть цю лінію LOW для скидання мікроконтролера. Зазвичай використовується для додавання кнопки скидання до щитів, які блокують одну на дошці.

Arduino Nano можна запрограмувати за допомогою програмного забезпечення Arduino (завантажити). Обирається "Arduino Duemilanove або Nano w / ATmega328" з меню "Інструменти" > "Board menu" (відповідно до мікроконтролера на платі). ATmega328 на Arduino Nano приходить попередньо з завантажувачем, що дозволяє завантажувати новий код до нього без використання зовнішнього апаратного програміста. Він здійснює зв'язок за допомогою оригінального протоколу STK500. Також можна обійти завантажувач і запрограмувати мікроконтролер через заголовок ICSP (In-Circuit Serial Programming), використовуючи Arduino ISP або подібне.

Arduino Nano розроблений таким чином, щоб його можна було просто скинути до заводських налаштувань за допомогою програмного забезпечення, запущеного на підключеному комп'ютері. Одна з апаратних ліній управління потоком (DTR) FT232RL підключена до лінії скидання ATmega328 через конденсатор на 100 нанофарадів. Коли ця лінія затверджена (прийнята низька), лінія скидання падає досить довго, щоб скинути чіп. Програмне забезпечення Arduino використовує цю можливість, щоб користувач зміг завантажувати код просто натисканням кнопки завантаження в середовищі Arduino. Це значить, що

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

завантажувач може мати коротший тайм-аут, оскільки зниження DTR може бути добре узгоджено з початком завантаження. Ця установка має інші наслідки. Коли Nano під'єднана до комп'ютера, на якому запущено Mac OS X або Linux, він скидає кожен раз при підключенні до нього програмного забезпечення (через USB). Протягом наступної половини секунди завантажувач працює на Nano. Хоча це за програмовано ігнорувати неправильно сформовані дані (тобто що-небудь, окрім завантаження нового коду), воно перехоплює перші кілька байт даних, надісланих до дошки після сполучення відкривається. Якщо ескіз, що виконується на платі, отримує одноразову конфігурацію або інші дані під час її першого запуску, переконайтеся, що програмне забезпечення, з яким він спілкується, чекає секунду після відкриття з'єднання і перед відправкою цих даних.

## 2.2 LPWA: технології обміну даними

З метою забезпечення статичного контролю певного середовища, дрон має можливість знаходитися під управлінням стандартної програми обліту території. Через це надається вибір самостійно обрати стандарт управління, який забезпечується не надто потужним протоколом обміну інформацією та іншими даними.

Для забезпечення швидкого реагування камери пристрою і передачі зображення до центру обробки, в чому, насправді, полягає гостра необхідність, за допомогою архітектури обміну даними варто використовувати два стандарти зв'язку.

Один з них призначений для швидкого переключення дрона в ручний режим керування. Окрім цього, він здатний на те, щоб віддавати команди польоту, при цьому роблячи це через захищений канал зв'язку. Завдяки цій особливості можна безпроблемно отримувати певні дані. Для прикладу, це може бути інформація про місце знаходження або скільки відсотків залишилося в заряді акумулятора та інші.

Другий же застосовується для передачі зображень з дрона якщо необхідно

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буде миттєво реагувати оператором, яке відбувається як подразник на певну подію, яка пов'язана з проникненням на контрольовану територію. Є й інший варіант – коли потрібно пришвидшити керування дроном.

Для вибору технологій, які зможуть працювати інтегровано і задовольняти вимогам дрона, виконується порівняльний аналіз переваг і обмежень протоколів обміну даними між давачами і центром обробки. Варто зазначити, що до вимог цього пристрою належать:

1. Передача зображення до центру обробки.
2. Динамічне управління.
3. Статистичне управління та інше.

Було вирішено розглянути протоколи обміну даними у LPWA (Low Power Wide Area) мережах. Цей вибір напряду пов'язаний з тим, що саме у них найбільш доцільно розглядати положення про безпосередню необхідність роботи дрона в цілому, в особливості якщо це стосується певного дефіциту енергоресурсів, що, безумовно, сильно відображається на загальному стані і функціоналі даного пристрою.

Якщо говорити про найбільш розповсюджені такі протоколи, то це SigFox, LoRaWAN, NB-IoT і Weightless-P. Пропонуємо більш детально ознайомитися з ними і з'ясувати найбільш яскраві особливості кожної мережі.

Ця мережа особлива тим, що дозволяє комунікувати з відносно невеликими енергозатратами на відносно великій відстані. У цьому значенні мається на увазі до 10 кілометрів, якщо брати місто. Завдяки вузькій смужці частот у SigFox, рівень потужності передавача стає низьким, тим самим забезпечивши підключення різноманітних пристроїв до конкретної мережі.

Розпочнімо з SigFox (Рис 2.3).

Неліцензований діапазон – це обов'язкова умова для обміну даних, який буде здійснюватися між пристроями (868, 8 МГц). Він дає змогу використовувати приватними користувачами певні технології, які, в свою чергу, застосовують певні алгоритми шифрування, такі як алгоритми AES, які йдуть із безпосереднім застосуванням HMACs.

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

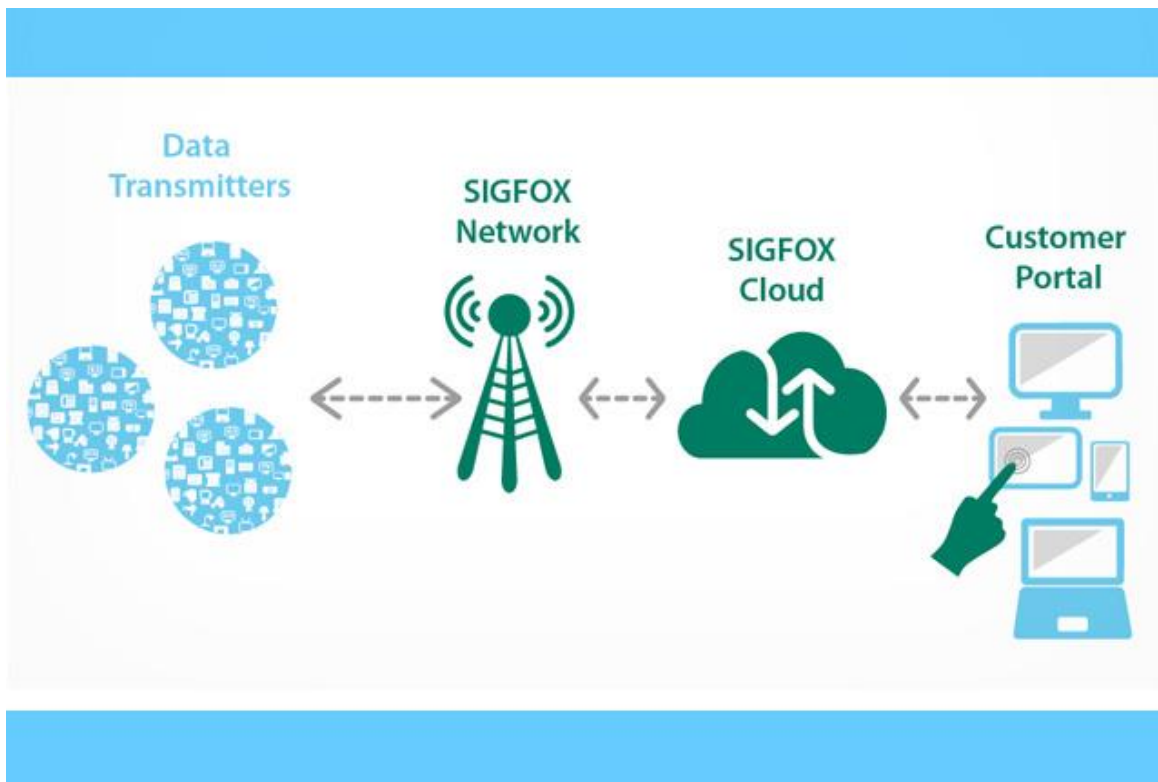


Рисунок 2.3 – Технології передачі даних SigFox

Однак варто пам'ятати, що існують певні обмеження для цього протоколу. Серед них виділяють наступні:

1. 12 байт як довжина-максимум для одного повідомлення.
2. 140 повідомлень uplink – максимальна їх кількість на день.
3. Недозволенність застосування давачів, які не є ліцензовані.
4. Закрита технологія впровадження тощо.
5. Відсутня мобільність.

Продовжуючи п'ятий пункт, зазначимо, що пристрої у мережі SigFox нереально використовувати для відстеження місцезнаходження тієї чи іншої цілі. Також хочемо нагадати про те, що обмеженість численності технічних, а саме повідомлень типу downlink, яка має в своєму арсеналі всього 4 штуки на день, напряму впливає на можливості конфігурації (віддаленої) пристроїв. Вони спрямовані на зворотній зв'язок на ті зміни, які відбуваються в вимірювальних параметрах.

Long Range Wireless Area Network (або скорочено LoRaWAN) – це частина LPWA мереж, а саме їх протокол, метою якого є обмін об'ємами невеликих за

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміром на порівняно невисокій швидкості. У загальному розумінні, такий об'єм коливається у межах до 254 байт. Існує певна закономірність в тому, щоб користуватися енергоресурсами давачів. Вона полягає у тому, що між швидкістю передачі повідомлень та її дальністю існує певний компроміс, який і забезпечує таку закономірність.

Задля того, аби технологія була практичною, у роботі використовується кодування даних широкосмуговими імпульсами, яка, в свою чергу, функціонує з використанням ЛЧМ. Через це значно знижуються вимоги, поставлені до тактового генератора та сприяє стійкості приймача до такого явища, як девіація частоти. Усе це забезпечує використання в роботі відносно дешевих кварцових резонаторів.

Для України, як і для Європи, існує певний частотний стандарт, за яким вони функціонують. Він становить 868 МГц, однак зазначимо, що ця цифра не є ліцензованою ЗУ. Окрім цього, згідно з визначеним стандартом, загальноприйнята частотна смуга каналу складає до 500 кГц.

Для мереж LoRaWAN характерно застосування дворівневих шифрувань даних, а саме AES-128. Вони використовуються для того, аби:

1. Змогти зберегти цілісність повідомлень.
2. Перешкодити перехопленню даних.

Друге забезпечується унікальністю та оригінальністю ключа, який під'єднується до мережі. Він зашифровується до алгоритму AES-64, і саме це є основою виконання цього пункту.

Щодо особливостей цього протоколу, то це:

1. Більше 10 років – тривалість роботи давачів, які використовуються від батареї.
2. 5 км – відстань покриття у міському середовищі.
3. Необмеженість користувачами використання параметрів швидкості та кількості повідомлень, тобто відкритість протоколу.
4. Вибір користувачів може бути власноручний на користь налаштувань, запропонованих стандартно.

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Наступна технологія, яку було розглянуто, стала NB-IoT. Завдяки ній значно розширюються можливості станцій мобільного зв'язку. Це працює для того, аби об'єднати користувачів стільникового зв'язку і пристроїв Інтернету речей.

NB-IoT має кілька переваг, таких як:

1. Наявність покриття у місті.
2. Висока швидкість передачі даних, а саме до 200 кбіт/с.
3. Значний строк роботи пристроїв (зазначимо, що це близько 7 років).

Відбувається це завдяки використанню низького рівню потужності передавача і вузької смуги частот.

Проте, використання ліцензованого спектру, а також вартість оновлення програмного забезпечення стільникових станцій не дозволяють приватним особам і організаціям використовувати NB-IoT. Крім того, через високу швидкість передачі даних, витрачається набагато більше енергоресурсів, ніж при використанні LoRaWAN.

Weightless-P - це технологія LPWA, яка призначена для використання у системах з високою щільністю кінцевих пристроїв і довготривалою роботою батареї, що має двосторонній зв'язок між давачами і шлюзами. Ця технологія працює у неліцензованому діапазоні (ISM) і забезпечує покриття до 2 км у місті зі швидкістю передачі даних від 0,1 до 100 кбіт на секунду. Для шифрування даних використовується алгоритм AES-128, а для автентифікації пристроїв - AES-256. Однією з головних переваг Weightless-P є можливість масштабування - у порівнянні з іншими технологіями LPWAN у діапазоні до 1 ГГц, Weightless-P дозволяє обслуговувати на 30% більше передавачів однією базовою станцією.

Однак і в такій технології є недоліки. Головний з них – обмеженість ліцензією виробника використання компонентів. Це стосується всіх рівнів топології системи.

Підмічено, що Weightless P є синхронною технологією, натомість LoRaWAN, SigFox та NB-IoT – асинхронні. Для того, аби було легше відстежити характеристики зазначених протоколів, вище наведена таблиця 2.1

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик мереж LPWAN

Технічні характеристики	SigFox	NB-IoT	LoRaWAN	Weightless P
Діапазон	ISM	Ліцензований	ISM	Ліцензований
Швидкість	100 біт/с	1-200 кбіт/с	0,3-50 кбіт/с	0,2-100 кбіт/с
Смуга	Вузька	Вузька	Широка	Вузька
Частотний діапазон	868,8 МГц 915 МГц 433 МГц	700 МГц 800 МГц 900 МГц	868,8 МГц 915 МГц 433 МГц	868,8 МГц 915 МГц 433 МГц
Максимальна дальність передачі даних у місті, км	10	-	2,5	2

Проведений аналіз (таблиця 2.1) вказує на те, що найбільш підходящою технологією для розробки квадрокоптера є LoRaWAN. Для інтегрованого прототипу контролера незамінно важливим є те, щоб приймально-передавальні чипи не піддавалися електромагнітному впливу. З встановленим стандартом у мережі LoRaWAN збір інформації з передавачів здійснюється з мінімальним випромінюванням (менш за 25 мВт), що є цілком безпечним для людини.

Якщо зрівнювати LoRaWAN та інші протоколи, то саме він має наступні переваги у використанні:

1. На відміну від SigFox, LoRaWAN ДАЄ дає змогу надсилати необмежену кількість повідомлень, а також має таку ж швидкість їх передачі. Це дійсно важливо для того, аби між оператором та дроном відбувалася якнайшвидша

										Арк.
										26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

взаємодія, однак варто пам'ятати, що ця швидкість вказана у межах можливостей технологій LPWAN.

2. LoRaWAN не потребує ліцензування пристроїв і є відкритим для вивчення і модернізації.

3. У порівнянні з Weightless-P, LoRaWAN має більшу дальність покриття у місті та довшу автономність кінцевого пристрою.

4. Наявне шифрування ключів приєднання пристроїв до мережі і повідомлень. Завдяки цьому канал зв'язку захищається від будь-якого виду втручань злоумисника.

5. Якщо порівнювати LoRaWAN та NB-IoT, то в перших навіть в умовах безпосереднього дефіциту енергоресурсів пристрої в мережі можуть працювати значно довше. Окрім цього, вони є мобільними, а давачі NB-IoT такої функціональної можливості не мають. Завдяки цій особливості ми можемо з стовідсотковою точністю відправляти ті координати, які стосуються загального позиціонування дрона. Це дозволяє локалізувати проникнення, якщо воно виконується порушником на контрольованій території, а також контролювати і саму якість виконання програми статичного обліту периметру.

6. Ще однією перевагою LoRaWAN є те, що у ній можна використовувати спектр, який є неліцензійний.

Хочемо зазначити, що LoRaWAN дає можливість одночасно приймати кілька сигналів із різною швидкістю передачі даних, але, тим не менш, однаковою частотою, що дозволяє збільшити кількість оброблюваних повідомлень незалежно від стандартної кількості каналів прийому. Таким чином встановлюється базова станція, але лише одна, яка, в свою чергу, регулює взаємодію кількох дронів із центром обробки даних та робить це одночасно.

Завдяки результатам, які були отримані шляхом порівняльного аналізу, а також вищезазначеним перевагам LoRaWAN, нами було визначено, що саме цей протокол та його технології доцільно використовувати для передачі даних про місце знаходження дрону та контролю його польоту.

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак для передачі цифрових зображень до центру обробки терміново необхідний швидкий обмін даними, який може забезпечити стандарт NB-IoT. Простежуємо цю тенденцію в таблиці. Зазначимо, що при цьому річний ресурс енергії для передачі даних буде витрачено на два рази більше, ніж LoRaWAN. Існує й стійкий канал передачі даних, який забезпечується цією функціональною особливістю.

По цій причині задля того, аби оперативно реагував оператор та передавалися якісні цифрові зображення, використовується стандарт LTE-M. Для реалізування його призначення застосовується міжмашинний зв'язок під назвою eMTC. За допомогою нього для передачі мультимедійних даних використовується частотна смуга, яка сягає аж до 1,4 МГц. Окрім цього, вона здатна забезпечити й параметри швидкості, які кращі в порівнянні з NB-IoT.

NB-IoT, хоч і є ефективним для передачі телеметричних даних, не може забезпечити ефективної передачі мультимедійних даних через вузьку ширину частотної смуги (згідно з таблицею 1.1, вона становить 200 кГц) і обмежений розмір контейнеру з передачі даних. Однак є стандарти вузькосмугового Інтернету речей, що використовують подібні до NB-IoT технології передачі даних і дозволяють працювати з мультимедійними даними, залишаючи малу напругу живлення передавача сталою.

Такою технологією є LTE-M (LTE-MTC, Machine Type Communication), а вона, в свою чергу, забезпечує в собі стандарт eMTC. Він є розширеним типом міжмашинного зв'язку.

Для eMTC головна відмінність полягає у тому, що в ньому присутня більш розширена частотна смуга в діапазоні до 1.4 МГц. Завдяки ній забезпечується значно більша швидкість передачі даних, якщо порівнювати її з швидкістю NB-IoT. Зазначимо, що сюди також варто включити й забезпечення двонаправленої швидкості передачі даних до 1 Мбіт/с та можливості передачі голосових повідомлень.

Технологія LTE-M, що є дочірнім стандартом LTE, розроблена спеціально для забезпечення тривалішої автономної роботи підключених пристроїв.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зважаючи на перераховані переваги технології Cat-M1, розумно буде використовувати цей стандарт для передачі цифрових зображень за допомогою якого буде відбуватися ідентифікація порушника кордону території та швидкого реагування оператора у режимі ручного управління дроном до центру обробки охоронного пункту.

Отож, повертаючись до переваг технології Cat-M1 (рис 2.4), вважаємо, що варто використовувати саме даний стандарт, оскільки таким чином забезпечується швидка передача цифрових зображень ідентифікації того, хто забрався на контрольовану територію та в цілому ручне управління дроном.



Рисунок 2.4 – Модуль Cat-M1

Забезпечуючи масове розгортання недорогих пристроїв IoT нового покоління, що обчислюється сотнями тисяч або мільйонами, ME910G1 є еволюцією категорії M1/NB2 абсолютно нового сімейства продуктів Telit xE910. Пристрої Cat M1/NB2, що перевершують потреби ринку в оптимізованому енергоспоживанні та покращеній якості покриття, спеціально розроблені для додатків IoT з низькою пропускнуою здатністю. Ця модель доповнює поширене сімейство Telit xE910, що складається з модулів LGA 28 x 28 мм.

						КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Ідеальне рішення для глобальних додатків IoT, таких як інтелектуальні вимірювання, безпека та спостереження, точки продажу, моніторинг стану, управління автопарком, відстеження активів та пристроїв, що носяться.

Сумісність із 3GPP Release 14 Cat M1/NB2, адаптована для пристроїв IoT.

### 2.3 Характерні особливості протоколу LoRaWAN на фізичному та мережевому рівнях

LoRa (Long Range) – стек, який відповідає за фізичний рівень радіозв'язку в модулях. Для її функціонування застосовується Semtech – модуляція (рис 2.5), запатентована французьким виробником. Для неї характерний розширений спектр. Ми порівнюємо її з ще одною модуляцією, що носить назву CSS (Chirp spread spectrum).

Отож, модуляція CSS є розширенням спектра, де відбувається кодування. Воно реалізується завдяки певним широкосмуговим імпульсам, які притаманні лінійно-частотній модуляції. Іншими словами – ЛЧМ.

Він використовується для бездротових персональних мереж (LPWAN) із малою швидкістю передачі даних згідно стандарту IEEE 802.15.4a.

Використання параметра розширення спектру SF (spread factor), що може змінюватися від 7 до 12, дозволяє знайти компроміс між чутливістю пристрою та швидкістю передачі даних (таблиця 2.2), зберігаючи при цьому пропускну здатність каналу фіксованою.

Кожний шлюз (базова станція) зареєстрований у мережі LoRaWAN і напряму пересилає отримані пакети даних на мережевий сервер (Network Server), використовуючи найбільш відповідний варіант підключення до мережі (3G, 4G, Wi-Fi, Ethernet, по оптоволокну або радіолінійному зв'язку).

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

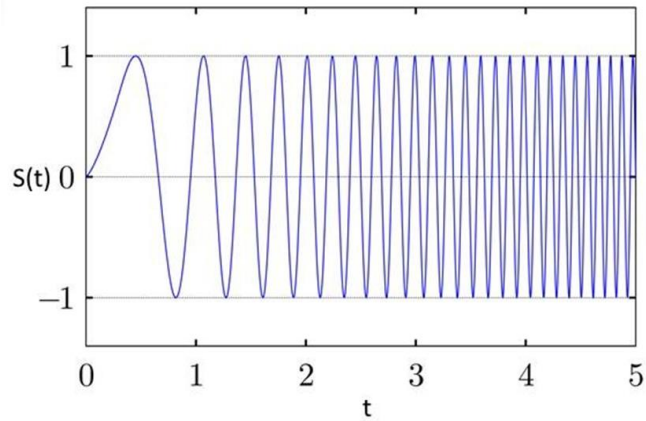


Рисунок 2.5 – Лінійно - частотна модуляція за певний період часу

Таблиця 2.2. – Залежність параметрів швидкості передачі повідомлень і їх максимальної довжини від параметру SF

Параметр SF/смуга каналу	Швидкість передачі, біт/с	Чутливість приймача у складі БС	Чутливість приймально-передавального пристрою
DR0 (SF12/125 кГц)	293	-147 дБ	-138 дБ
DR1 (SF11/125 кГц)	540	-144,5 дБ	-135,5 дБ
DR2 (SF10/125 кГц)	980	-142 дБ	-133 дБ
DR3 (SF9/125 кГц)	1760	-139,5 дБ	-130,5 дБ
DR4 (SF8/125 кГц)	3125	-137 дБ	-128 дБ
DR5 (SF7/125 кГц)	5470	-134,5 дБ	-125,5 дБ
DR6 (SF7/250 кГц)	11000	-131,5 дБ	-122,5 дБ

У застосуванні розширеного спектру існують певні переваги. Зазначимо їх нижче:

1. Для забезпечення стійкості до каналного шуму, сигнал передається з використанням повної ширини смуги пропускання.

2. Застосування ширококутового сигналу з лінійним характером імпульсів ЛЧМ забезпечує пасивну стійкість до багатопроменевого завмирання, навіть при низькій потужності сигналу.

3. Виділення сигналу з каналних шумів здійснюється за допомогою імпульсного маніпулювання ЛЧМ.

4. Ширококутовий спектр сигналу має високу стійкість до ефекту Доплера.

Окрім цього, LoRa як метод передачі даних користується способом кодування. Його метою є значне покращення стійкості до тих чи інших перешкод. Зважаючи на функціонування фільтрованого модему безперервного шуму, який знаходиться в каналі, цілком можливий варіант додаткового покращення якості та виділення обробки сигналу, а відбувається це тоді, коли за допомогою базової станції обробляється саме повідомлення.

Прембула (іншими словами, пілот-сигнал) – те, що після спеціального підготування застосовується з метою розділити передачі сигналу та режими прийому. Він завершується тоді, коли виконується подача на вихід з ціллю отримати зворотній сигнал. Однак хочемо зазначити, що довжина преамбули нестабільна. Вона залежить від того, яка кількість символів застосовується в роботі. Її використання визначає одразу декілька параметрів: часу роботи прийому та передачі.

Для приймально-передавального модуля ми можемо застосовувати відносно дешеві генератори тактової частоти, оскільки маємо спеціальну комбінацію сигналів із декількома преамбулами та, звичайно ж, інформаційною складовою. До речі, такі модулі мають можливість досягати досить високої чутливості – в загальному розумінні, вона становить до -148 дБ. Якщо ж додатково використовувати підсилювач, то тоді чутливість збільшиться ще більше – до -168 дБ.

Зазначимо, що такий стандарт, як LoRaWAN є протоколом, який слідує за рівнем доступу MAC (media access control), що не скажеш про LoRa та його

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фізичного рівня. Якщо говорити про застосування протоколу з таким доступом, то MAC-протокол має мережеві рівні моделі OSI, які використовуються для управління зв'язком між кінцевим пристроєм і БС, а також з метою маршрутизації.

Зважаючи на все це, протокол зв'язку визначається LoRaWAN. Сюди ж відноситься архітектура системи, яка має на меті побудову розподіленої мережі. Окрім цього, швидкість передачі даних, потужність всіх пристроїв мережі, управління частотами зв'язку – все це також властиво цьому протоколу. Зазвичай для кінцевих пристроїв характерна передача даних після їх накоплення та асинхронний режим.

Для фізичного рівня LoRa характерно злегка інше. Він відповідає, перш за все, за передачу повідомлень на далекі відстані.

## 2.4 Застосування протоколу Cat-M1

Коли було обговорено технологію стільникового зв'язку, яка характерна глобальним мережам і при цьому має низьке енергоспоживання, то був на увазі протокол Cat-M1 (або LTE-M). Його розробка була направлена спеціально на проекти, метою яких є використання концепції Інтернету речей задля того, аби мати змогу обмінюватися повідомленнями між конкретними пристроями з конкретними умовами. Тобто, таку змогу мають лише ті користувачі, які застосовують стільникову мережу для того, аби передавати данні.

Якщо порівнювати Cat-M1 та протокол зв'язку NB-IoT, то помітимо таку тенденцію: перший дає змогу використовувати його у більш широкій смузі пропускання, хоча NB-IoT аналогічно застосовує існуючі стільникові мережі. Завдяки цій особливості розміри наповнення передаточного контейнеру з даними і його швидкість набирають обертів. Виходячи з цього, можна зробити таке узагальнення: Cat-M1 поступається NB-IoT в енергоефективності.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також хочемо нагадати про те, що вже було зазначено, однак саме ці аспекти ми вважаємо визначальними:

1. Для швидкого реагування на можливості передавати зображення порушника під час фіксації критичної події та ручне управління дроном пропонуємо використовувати лише протокол зв'язку Cat-M1 [10]. Але сюди також варто додати те, що літальний апарат, а саме управління ним, є автономним, тобто незалежним, і відбувається це за можливості перемикання на режим ручного керування. Обов'язковою умовою цього є стаціонарний режим.

2. Cat-M1 можна назвати певним стандартом Інтернету речей, навіть попри те, що вимоги до ємності акумулятора збільшуються і збільшуються. Цікаво зазначити, що мережу «Інтернет речей» відносять до таких, в якому енергія споживається мало. Для того, аби зрозуміти цінність конкретного протоколу, пропонуємо звернутися до таблиці 2.2, де він розглянутий разом із аналогами.

Як згадувалося раніше, завдяки «розумному» апаратному забезпеченню та встановленому програмному забезпеченню пристрій здатний «відчувати» те, що відбувається навколо нього, і передавати це користувачеві через певний канал зв'язку.

Платформа IoT – це місце, де всі ці дані зібрані, керовані, обробляються, проаналізовані і представлені в зручному для користувача вигляді.

Таким чином, те, що робить таке рішення особливо цінним, — це не лише можливості збору даних та керування пристроями IoT, а скоріше його здатність аналізувати та знаходити корисні відомості з частин даних, які надаються пристроями через рівень комунікацій.

Знову ж таки, на ринку існує досить багато платформ технології інтернету речей, вибір яких залежить від вимог конкретного проекту IoT і таких факторів, як архітектура та стек технологій IoT, надійність, властивості налаштування, використовувані протоколи, апаратна агностика, безпека та вартість. ефективність.

#### Порівняння технологій LTE-M

Згідно з таблицею 2.3, можна зробити певні висновки про деякі переваги Cat-M1

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

над його аналогами. Серед них:

1. Дозвіл на користування тими пристроями, які можуть переміщатися.
2. Висока швидкість передачі даних.

Таблиця 2.3–Порівняння протоколу Cat-M1 із аналогами

Параметр	eMTC (LTE Cat. M1)	NB-IoT (Cat NB1)	EC-GSM
Частотний діапазон	Смуга ліцензованих частот FDD, TDD LTE (in-band)	Варіанти розміщення: 1. in-band LTE; 2. guard-band; 3. LTE	Тільки на частотах GSM (standalone)
Покриття, дБм	155,7	164	164
Радіус покриття базової станції, км	До 11	До 15	До 15
Ширина частотної смуги	1,08 МГц	180 кГц	200 кГц на канал, сумарна смуга – 2,4 МГц
Швидкість передачі даних, макс., кбіт/с	1000	200	70
Режим роботи	Дуплекс, напівдуплекс	Напівдуплекс	Напівдуплекс
Мобільність пристрою	Допустима	Обмежена	Обмежена
Режими енергозберігання	PSM, DRX, eDRX	PSM, DRX, eDRX	PSM, DRX
Потужність антени	23 і 20	23	33 і 23
Необхідність модернізації мережі оператора	Необхідна	Тільки оновлення програмного забезпечення	Необхідна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Повертаючись до NB-IoT, простежуємо, що даний протокол не впливає на ємність мережі, і відбувається це за рахунок того, що в ньому присутня значно вужча смуга пропускання. Завдяки цьому використовуються захисні інтервали.

У такій особливості не можна не знайти переваг. Деякі виробники обладнання можуть спокійно застосовувати в роботі те устаткування, яке вже було встановлено. Мається на увазі базові станції, про які ми вже зазначали. Ці устаткування встановлюються як для пристроїв NB-IoT, так і для мережі LTE. Необхідно сказати про те, що, попри все вище перелічене, неможливо користуватися NB-IoT, якщо хочете використати його для тих додатків, які мають мобільні пристрої, і це дійсно важливий нюанс. Некомфортність такого функціонування полягає в тому, що кожного разу, заходячи туди, вам потрібно буде знову реєструвати кінцевий пристрій у новій соті, а для цього треба з'єднати передавач із базовою станцією.

Станом на 2023 рік, ці стандарти досить поширені і мають неабияку кількість прихильників у різних куточка світу (рис. 2.6), але, на наше переконання, найбільш вигідним варіантом для проектування охоронного дрона стане саме LTE Cat M1. Адже вона насамперед споживає не багато енергії, працює навіть якщо інші пристрої перестали надсилати дані.

Отже, це ще раз доводить, що для проектування нашого прототипу потрібно вибрати саме LTE Cat M1.

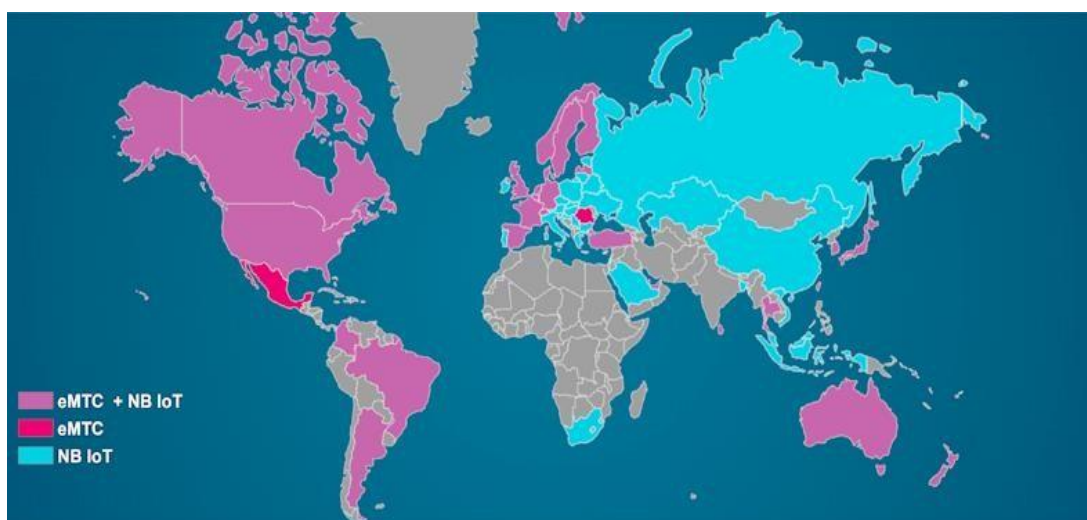


Рисунок 2.6 – Розподіл технологій Cat M1 і NB-IoT

Деякі з інших переваг Cat M1 не вказані в таблиці 2.4. Туди відносяться:

1. Автоматичний перехід у гібернацію. Іншими словами, так називається перехід у режим енергозбереження. Він продовжує працювати у випадку, якщо ті чи інші пристрої перестають активно надсилати дані та, в свою чергу, не отримують нових.

2. Ліцензування частотного діапазону. В ньому працюють такі кінцеві пристрої, які відповідають за підвищену конфіденційність та безпеку.

Виходячи з цього, можна стверджувати, що всі переваги Cat M1 дають нам змогу впевнитися в тому, що для проектування охоронного дрону дана технологія є найкращим варіантом.

## 2.5 Висновки

В цьому розділі описано характеристики та можливості Arduino Nano. Стало зрозуміло скільки плата споживає енергії, скільки має пінів, а також який за що відповідає. Програмування відбувається за допомогою середовища Arduino IDE, де попередньо створюється код. Потім через програматор записується на саму плату. Стек LoRa (тобто Long Range) є відповідальним за конкретний напрямок – фізичний рівень радіозв'язку модулів. Для нього застосовується розроблена Semtech, французьким винахідником, модуляція, яка характеризується розширеним спектром. Говорячи про LoRaWAN, а саме про його стандарт, зазначаємо, що це протокол рівня доступу MAC (media access control), у той час, як LoRa має фізичний рівень. Cat-M1 - технологія стільникового зв'язку, яка характерна глобальним мережам і при цьому має низьке енергоспоживання. Її перевагами є: автоматичний перехід у гібернацію, дозвіл на користування тими пристроями, які можуть переміщатися, ліцензування частотного діапазону, висока швидкість передачі даних та інші.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ПРОЕКТУВАННЯ ПОЛІТНОГО КОНТРОЛЕРА ТА ПРОТОТИПУ КВАДРОКОПТЕРА

#### 3.1 Вибір компонентів для квадрокоптера

Розроблений прототип призначений для організації спостереження за виділеною територією з метою цивільного моніторингу. З метою забезпечення ефективної роботи системи охорони, розроблено наступні функціональні можливості:

- 1) статичний облiт контрольованого району;
- 2) передача інформації про залишок заряду акумулятора дрона;
- 3) надсилання даних про місце розташування і стан завершення програми моніторингу;
- 4) зворотній сигнал на команди диспетчера малопотужним стандартом зв'язку;
- 5) перехід у ручне керування дроном (за допомогою команди, надіслані малопотужним стандартом);
- б) передача інформації для розпізнавання порушника зони контрольованої території, швидким каналом зв'язку на основі протоколу Cat M1.

Для того щоб виконувалися перші чотири вимоги потрібно встановити на прототип дрона модуль приймально – передавального пристрою. Нам потрібно щоб він працював за стандартом LoRaWAN. Для реалізації останніх двох можливостей (ручне керування і передача даних відео) необхідно встановити на прототип модуль, що підтримує передачу даних за стандартом Cat M1.

Для такого дрону бажанно використовувати камеру з тепловізором

ІЧ (інфра-червоні) камери відрізняються від звичайних камер відеоспостереження тим, що вони працюють на основі інфрачервоного випромінювання об'єктів, що дозволяє їм фіксувати порушника периметру навіть у темноті та працювати ефективно у складних погодніх умовах без додаткового джерела світла.

						КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Однак, через високу вартість тепловізійних камер, їх застосування для створення прототипу охоронного дрона є неефективним, тому можна скористатися звичайною FPV (firstperson view) камерою, що зменшить витрати на створення такого прототипу. Наприклад:

Eachine TX02 — AIO (All in One) FPV камера з передавачем на 5.8 ГГц і антенною вагою менше 5 грам (рис 3.1). Випромінювальна потужність становить 200 мВт. Підтримує стандарти 40 каналів діапазонів А, В, Е, F і RaceBand. Чудово підійде для легких квадрокоптерів.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд камери Eachine TX02

Квадрокоптери – це доволі новий винахід. Безпілотний літальний апарат, котрий керується із землі людиною, або ж попередньо встановленим програмним забезпеченням. Взагалі назва квадрокоптер відноситься до безпілотних літальних апаратів, які складаються щонайменше з чотирьох несучих гвинтів. Однак дрони,

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які мають 6 і більше гвинтів також можуть називатися квадрокоптерами. У загальному кожен дрон складається з наступних компонентів (рис. 3.2).

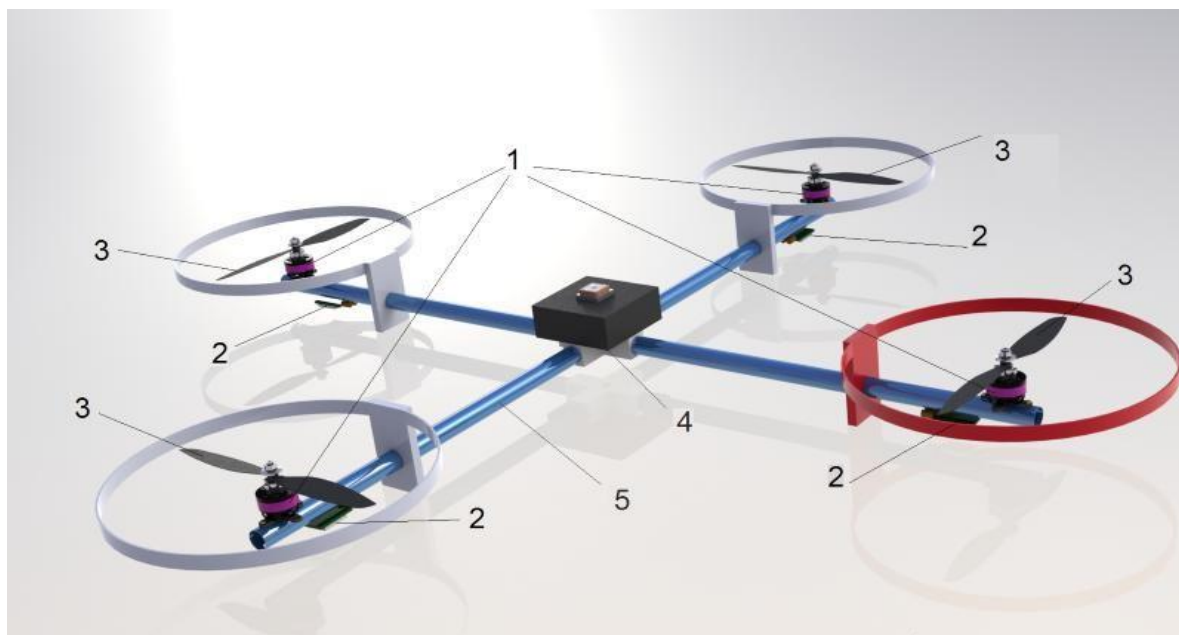


Рисунок 3.2 – Складові дрона: 1 – двигуни, 2 – регулятори обертів, 3 – гвинти, 4 – політний контролер, 5 – рама

Для того щоб реалізувати працездатність дрону потрібно вибрати такі компоненти, які забезпечать йому підйомну силу. Насамперед, це – двигуни, яких зазвичай 4 штуки, але може бути й інша кількість. Двигуни з'єднуються з пропелерами і приводять їх до руху із визначеною швидкістю, що змінюється за допомогою регулятора обертів.

Регулятори обертів задають швидкість двигунам, виходячи з команд, які поступають від польотного контролера. Для проектування прототипу дрона було вирішено скористатись комплектом з 4 двигунів Sky RC X2208 ( вони мають 2000 KV – обертів), який складається з попарних двигунів із різною направленістю обертання (рис 3.3).

В комплекті є необхідні кабелі і гвинти для того, щоб можна було змонтувати на раму.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд двигунів Sky RC X2208

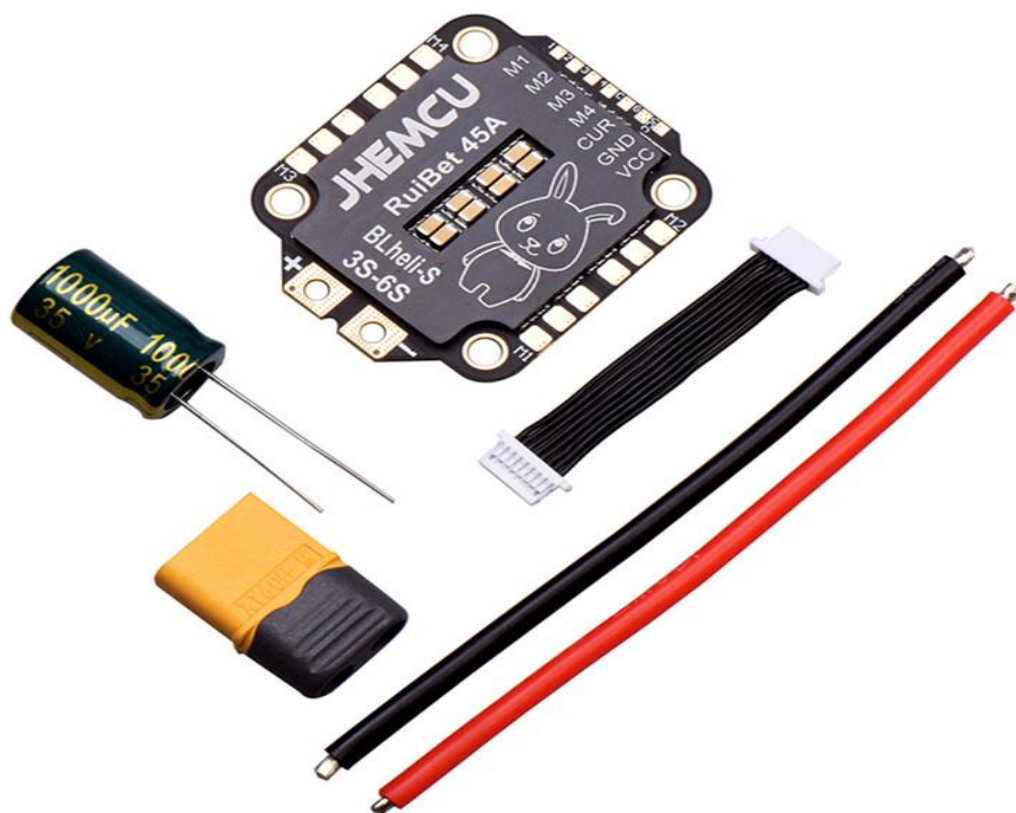
Їхні технічні характеристики наступні:

- діаметр - 28 мм;
- довжина без валу - 34 мм;
- потужність - 234 Вт;
- кількість обертів/вольт - 2400;
- максимальна напруга живлення - 14.8 В;
- вага - 28 грамів/шт.

Регулятори обертів закріплюються на рамі квадрокоптера для контролю подачі живлення від акумулятора до безколекторних двигунів. Їх необхідність полягає в тому, що акумулятор видає постійну електричну напругу, а двигуни працюють зазвичай від трьохфазної напруги, яка змінюється. На ESC (Electric Speed Controller) надходить напруга живлення від акумулятора і сигнали керування, які передаються від політного контролера, а вже на виході регулятор обертів передає двигуну напругу яка потрібна для правильної роботи. Звичайно, регулятор обертів повинен бути підібраний за максимальним споживанням енергії опираючись на напругу живлення акумулятора, вона поділена на кількість двигунів – у нашому випадку їх 4. Для застосування у проектуванні дрона обрано

						КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ESC 4 в 1 Накрс(рис 3.4). Він сумісний із типом акумулятора 2-4S (у якості джерела живлення було обрано літєвий акумулятор Fullmax(рис 3.5) 14.8 В ємністю 1300 мА, він виготовляється спеціально для квадрокоптера із довжиною рами 180-220 мм). Гвинти, що крутитиме двигун виготовляються компанією HQProp, і мають наступні характеристики: кількість лопастей – три, довжина 5 дюймів.



FLYMOD  
PERSONAL SYSTEMS

Рисунок 3.4 – Регулятор обертів ESC 4 в 1 Накрс

Характеристики:

- 1) Вхідна напруга - 3-6S (11-27V).
- 2) Максимальний постійний струм - 45А\*4.
- 3) Датчик струму – є.
- 4) Монтажна схема - 30.5мм/М4.
- 5) Прошивка - BLHELI\_S J\_H\_15\_REV16\_7.HEX.

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

6) Розмір - 39.5\*41мм.

7) Вага - 14.5г.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд акумулятора Fullymax 14.8 В

### 3.2 Політний контролер

Фізично контролер польоту — це не що інше, як друкована плата з електронними чіпами на них. Ви можете порівняти їх з материнською платою та процесором вашого ноутбука. Контролер польоту - це мозок дрона. Невелика коробка, наповнена інтелектуальною електронікою та програмним забезпеченням, яке відстежує та контролює все, що робить дрон. І так само, як мозок різних організмів, диспетчери польоту також відрізняються за розмірами та складністю. Контролер польоту підключений до набору датчиків. Ці датчики передають диспетчеру польоту інформацію про його висоту, орієнтацію та швидкість. Загальні датчики включають інерційний вимірювальний блок (IMU) для визначення кутової швидкості та прискорення, барометр висоти та датчики відстані для виявлення перешкод. Подібно до того, як ми сприймаємо як люди, дрон фільтрує велику частину цієї інформації та об'єднує частину, щоб отримати

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

більш ефективну та точну інформацію. Удосконалені контролери польоту можуть точніше сприймати та швидше виявляти відмінності.

Окрім визначення того, що відбувається, диспетчер польоту... як не дивно, контролює рух дрона. Дрон може обертатися та прискорюватися, створюючи різницю у швидкості між кожним із чотирьох двигунів. Контролер польоту використовує дані, зібрані датчиками, щоб обчислити бажану швидкість для кожного з чотирьох двигунів. Контролер польоту надсилає бажану швидкість до електронних контролерів швидкості (ESC), які перетворюють цю бажану швидкість у сигнал, який можуть зрозуміти двигуни. Розрахунок рухів, об'єднання та фільтрація сенсорної інформації, а також оцінка безпеки та довговічності польоту виконується за допомогою алгоритму. Вигадливе слово, яке часто використовується в наш час, по суті, не що інше, як набір суворих правил, яким повинен відповідати кожен мікрочіп на платі.

Алгоритм керування польотом, який найчастіше використовується, називається ПІД-регулюванням: пропорційно-інтегрально-похідне керування. У цій галузі проводиться багато досліджень, результатом яких є INDI: Інкрементальна нелінійна динамічна інверсія. Цей алгоритм набагато швидше зчитує та реагує на вхідну інформацію, завдяки чому політ дрона стає більш стабільним.

Звісно, якість збірки також дуже важлива. Від неї залежить стійкість до зіткнень або падінь з висоти, які досить часто трапляються з дронами. Пластикові компоненти досить сприйнятливі до різних пошкоджень. Вони зазвичай використовуються в більш дешевих пристроях(рис 3.6).

У створенні дронів розробники активно застосовують різні методи віброізоляції елементів, оскільки стабільність всього польоту значно залежить від роботи польотного контролера.

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

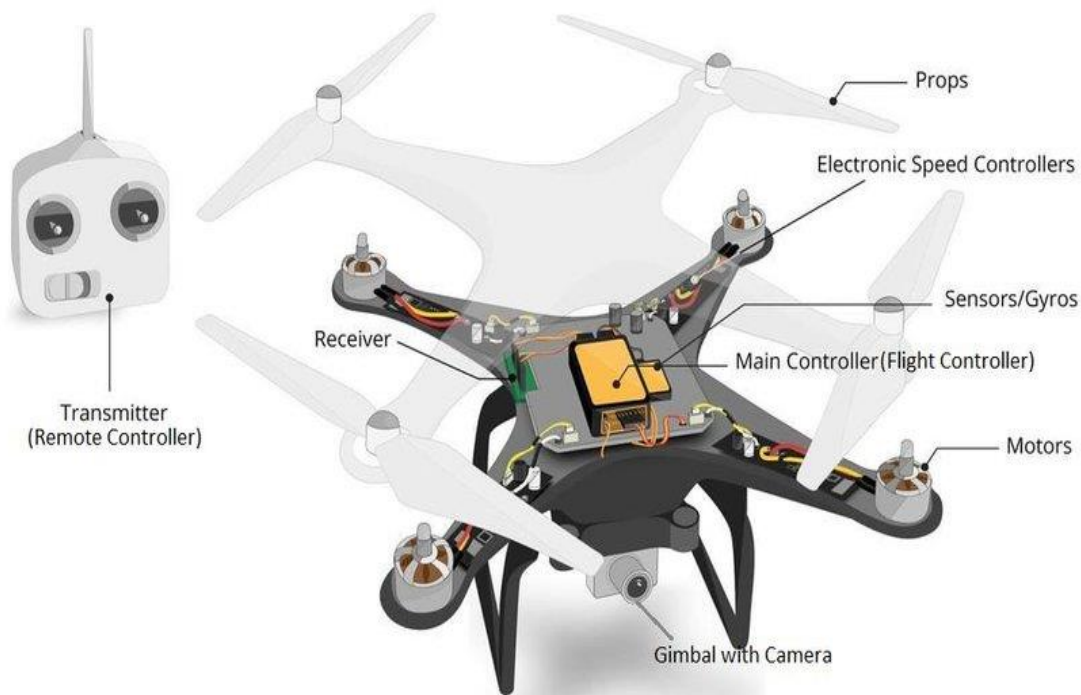


Рисунок 3.6 – Стандартне розташування компонентів дрона

Зазвичай, контролери з кращою віброізоляцією забезпечують більш стабільний польот дрону. Сучасні висококласні польотні контролери вже мають вбудовану віброізоляцію... До польотного контролера підключають набір різних датчиків, таких як GPS, гіроскопи, акселерометр і т.д., які передають значення сенсорів контролеру. Зворотний зв'язок з оператором здійснюється через спеціальний передавач, який встановлений на корпусі дрона і працює на основі стандартів LoRaWAN і Cat M1. Оператор може змінювати параметри польоту дрона в залежності від отриманих показань. Якщо польотний контролер має вбудовану можливість здійснювати периферійні обчислення, то він може самостійно змінювати параметри польоту безпілотної, не залучаючи оператора. У запропонованому варіанті будуть використовуватися обидві можливості.

Базовий склад польотного контролера складається з:

- 1) головного процесора;
- 2) гіроскопа;

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- 3) барометра;
- 4) акселерометра;
- 5) стрілки напрямку;
- 6) GPS-навігатора;
- 7) оперативної пам'яті;

та запам'ятовуючого пристрою для збереження інформації у "чорному ящику" на випадок неможливості передачі даних про стан обладнання чи завад у каналі передачі мультимедійних даних. Для забезпечення поставлених до системи вимог і підтримки необхідних відкритих бібліотек мікропроцесором використовується Arduino Nano. (рис 3.7).

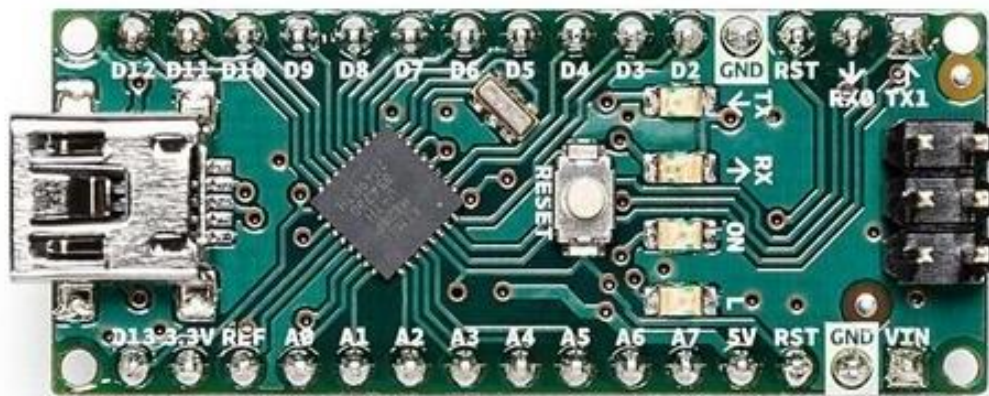


Рисунок 3.7 – Плата мікроконтролера Arduino

Він підходить для цього проектування через такі характеристики:

- 1) мікроконтролер ATmega328(рис 3.8);
- 2) живлення - 5В;
- 3) флеш-пам'ять 32 кб;
- 4) EEPROM 1 кб;
- 5) RAM 2 кб;
- 6) тактова частота 16 МГц;
- 7) режим зниженого енергоспоживання;
- 8) підтримка SPI інтерфейсу;

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- 9) наявний I2C інтерфейс;
- 10) UART TTL інтерфейс і віртуальний COM-порт;
- 11) наявні цифрові та аналогові виходи (22);
- 12) напругу живлення 19 мА;
- 13) вага 7 грамів.

Раму, на якій кріпляться усі необхідні компоненти для прототипу охоронного БПЛА можна змоделювати у середовищі 3ds max (рис.3.8), що пропонує для новачків місяць безкоштовного ознайомлення із функціоналом цієї програми.

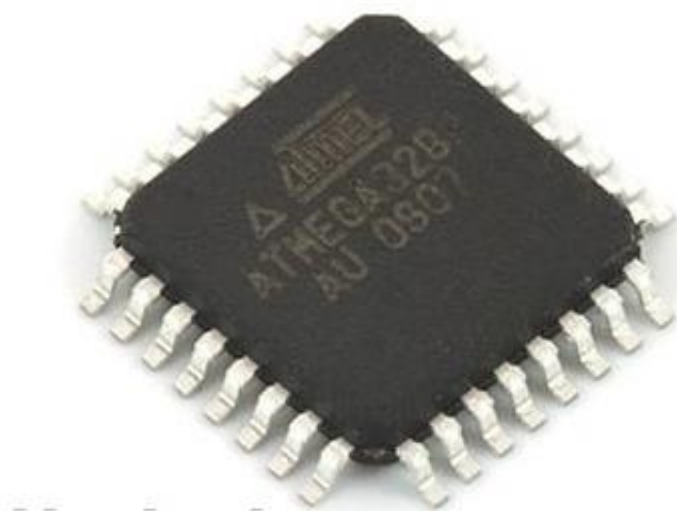


Рисунок 3.8 – Мікроконтролер АТmega328

Початкову версію рами дрона (див. рис. 3.9) було надруковано за допомогою друкувального 3D принтера і використання ударостійкого пластику ABS.

Після експериментальних випробувань було вирішено, що потрібно доопрацювати захист для пропелерів при посадці, а також змінити конфігурації розташування кріплень для розподілення ваги компонентів, насамперед акумулятора та FPV-камери, згідно з моделлю.

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

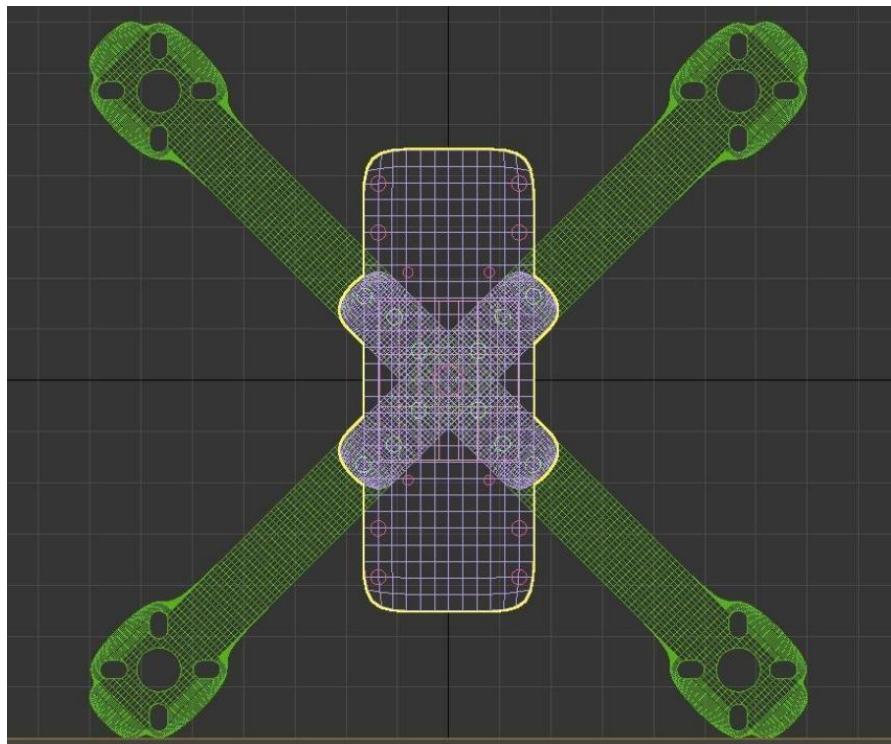


Рисунок 3.9 – Перша версія рами дрона

Завдяки можливостям, які надає середовище, було розроблено тривимірну модель рами, на якій будуть триматися компоненти, такі як політний контролер, двигуни, регулятори обертів і т.д., дрона разом.. Результат показано на рисунку 3.10.

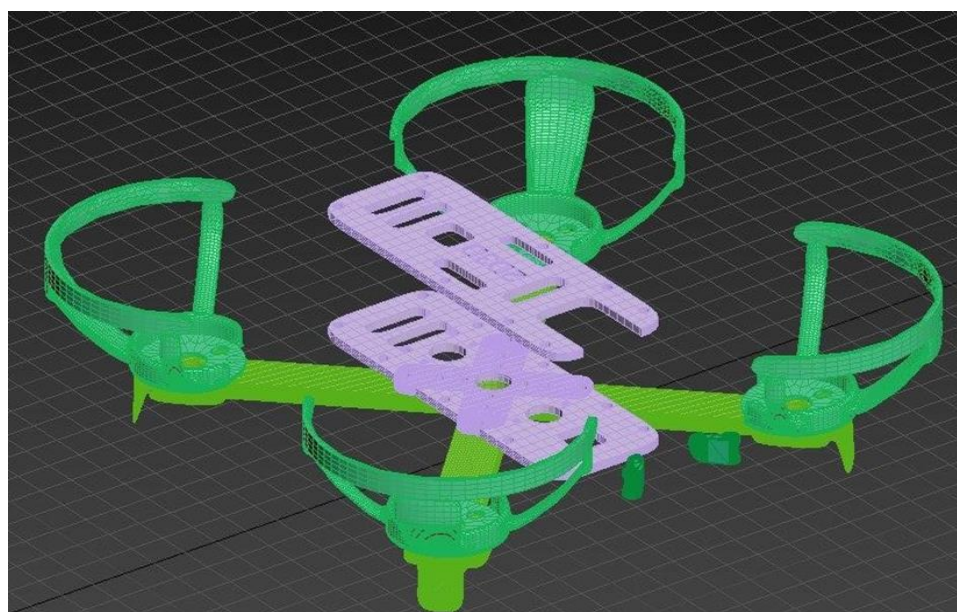


Рисунок 3.10 – Кінцева модель дрона

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

### 3.3 Інтеграція модулів LoRaWAN / Cat M1 і мікроконтролера дрона

Сьогодні розробка і виробництво інтегральних мікросхем знаходяться в активному розвитку, що дозволяє вибирати компоненти пристрою з широкого спектру комбінованих виробів, що відповідають усім технічним потребам користувачів. Поступове поєднання декількох радіокомпонентів в один модуль зменшує загальну кількість елементів у виробі, що дозволяє налаштовувати параметри надійності, гнучкості, собівартості, енергоефективності та розмірів пристрою. Окрім того, за допомогою патентованої інтегрованої мікросхеми можна зберегти розробку в цілому від використання та копіювання, що не відповідає стандартам LoRaWAN / Cat M1. Тому приймач, передавач і модем об'єднані в один виріб. Мета модему – це декодування інформації, що надходить до приймача, а також для кодування інформації, що передається від нього. Модем забезпечує роботу в асинхронному та синхронному режимах пристрою. Окрім цього, він виконує певні перетворення сигналу, які є необхідними, залежно від обраного методу модуляції.

У неліцензованому діапазоні, де діє Європейський стандарт LoRaWAN, на частоті 868 МГц можна використовувати такі інтегровані модулі передачі: SI4463, NRF905, SI4432, RFM95W, CC1101, , RFM12B, RFM69HW, SX1276. Ці моделі мають низьке споживання енергії під час передачі та прийому даних, а також високу чутливість (-120 дБ і більше).

Проте модулі RFM12B, CC1101, SI4463, NRF905, SI4432, RFM69HW не підтримують модуляцію LoRa, замість цього вони використовують MSK, FSK, GMSK, GFSK та OOK.

Отож, задля того, аби спроектувати прийнятно-передавальний пристрій зв'язку між оператором та дроном, необхідно використовувати модулі виключно з такою модуляцією, як LoRa.

					КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Право застосування модуляції LoRa належить лише двом виробникам передавачів: компанії HoreRF (чіп RFM95W), яка має ліцензію та Semtech (чіп SX1278), який є винахідником модуля.(рис 3.11).

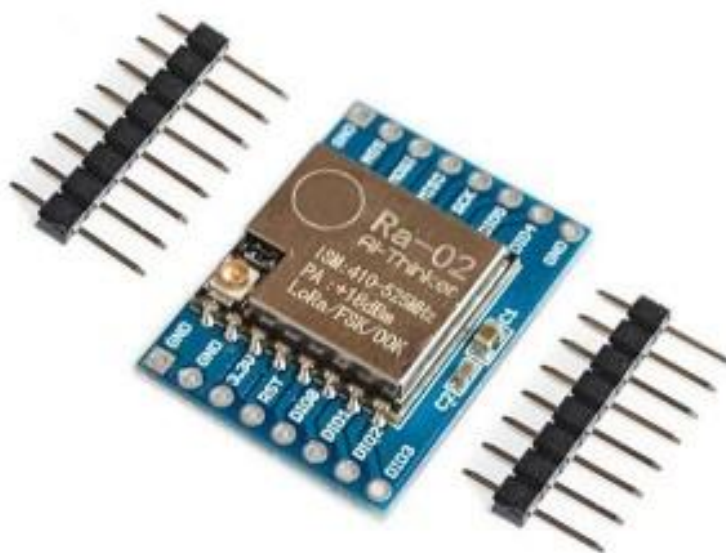


Рисунок 3.11-Модуль SX1278

Між модулями передачі немає ніякої різниці, тому можна використовувати будь-який з них задля розробки прототипу передавача.

Як було зазначено раніше, чіп RFM95W поєднує приймач, передавач та модем. Окрім цього, він має виходи з кожного боку, в загальній кількості 8. Додамо, що з цих виходів 6 контактів застосовуються в якості цифрових виходів таких, як DIO0-DIO5. У теорії, їх можна підключити до мікроконтролера Arduino Nano. RFM95W може працювати при напрузі живлення від 1,8 до 3,9 В, однак зазвичай використовується напруга живлення 3,3 В. Також необхідно обов'язково підключити антену до модуля передачі-приймача, оскільки відсутність антени може пошкодити модуль через вихідну напругу живлення.

Модуль можна заземлити, застосовуючи будь-який з виходів GND. Наприклад, вихід DIO0 є відповідальним за безпосередній прийом команд з базової станції та передачу даних (рис. 3.12).

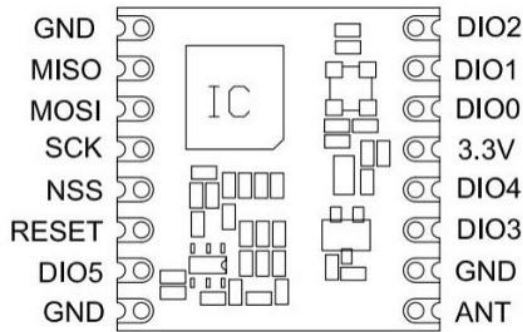


Рисунок 3.12 – Виходи модуля RFM95W

Основне сполучення між модулем передачі та отримання повідомлень і процесором відбувається за допомогою SPI (Serial Peripheral Interface) інтерфейсу. SPI – це синхронний протокол низького рівня, що використовується для передачі послідовних даних із мікроконтролера на один або кілька периферійних пристроїв на короткій відстані. Він також застосовується для того, щоб отримати зв'язок між двома мікроконтролерами.

У з'єднанні за протоколом SPI завжди присутній головний пристрій. Ми з'ясували, що, в основному, це мікроконтролер, що керує периферійними пристроями.

Зазвичай в інтерфейсі SPI існують три основних контактних виходи, які є спільними для всіх пристроїв:

1. SCK (Serial Clock) – генератор типу тактовий, який забезпечує формування тактових імпульсів для синхронізації передачі даних між периферійними пристроями та головним пристроєм.

2. MISO (Master In Slave Out) – вихід для передачі даних від пристроїв, що підпорядковуються, до головного пристрою.

3. MOSI (Master Out Slave In) – магістральна лінія з метою керуючих команд і передачі даних від головного пристрою до периферійних.

Чіп RFM95W і мікроконтролер Arduino Nano підтримують інтерфейс SPI, що дозволяє поєднати ці два модуля. У таблиці 2.2 наведено пропозицію щодо з'єднання виходів зазначених модулів.

Таблиця 3.1 – Рекомендоване з'єднання чіпу RFM95W і Arduino Nano

Reset	D5
Модуль LoRa RFM95W	Мікроконтролер Arduino Nano
3,3 В	3,3 В
Ground	Ground
NSS (сигнал закінчення передачі пакету даних)	D10
DIO0	D2
DIO1	D3
SCK	D13
MISO	D12
MOSI	D11

Поєднання мікроконтролера Arduino Nano і модуля RFM95W дозволяє керувати вихідними даними. Середовище розробки Arduino IDE використовується для програмного забезпечення мікроконтролера. Підключення комп'ютера до мікропроцесора ATmega328 здійснюється через USB-кабелю типу А-В1.

На мікроконтролерах активно застосовується бібліотека LMIC. LoRaMAC-in-C є реалізацією розширення фізичного рівня LoRa за допомогою медійного протоколу доступу MAC. За сприяння компанії IBM, була створена бібліотека LMIC. Вона та ще декілька інших – Cisco, Actility та Semtech – є тими, хто вирішив заснувати LoRaWAN Alliance. Система «подій-переривань» - це та система, яка лежить в основі цієї бібліотеки. З її допомогою стають підконтрольними такі модулі передачі, як RFM95W або ж – інший варіант – SX1276.

Відзначимо, що LoRaWAN має три класи кінцевих пристроїв, які працюють з передавачами. Ця класифікація визначає направленість пристроїв на різні сценарії моніторингу. Наприклад, для сільськогосподарського моніторингу (або ж екологічного), достатнім є передавати актуальні дані. Відбувається це декілька

разів на годину. Опісля конкретний пристрій стає в режим очікування, який перебуває там до наступної передачі даних. Це дозволяє значно зменшити енергоспоживання при використанні тих чи інших автономних джерел живлення.

Було визначено, що передавачам необхідні чималі енерговитрати. Відбувається це у зв'язку з безперервною передачею зібраних даних. У загальному, для початку кінцевий користувач з'ясовує клас конкретного пристрою. Важливою умовою є те, що він повинен обов'язково відповідати тим вимогами, які висуває його мережа. Наступним етапом стане те, що кінцевий користувач має обрати певний датчик. Той, в свою чергу, з'єднається з модулем передачі.

### 3.4 Способи обладнання радіомережі обміну даними

Повертаючись до таблиці 2.1, в якій було описано залежність параметрів швидкості передачі повідомлень від їх максимальної довжини, а також від параметру SF, нагадаємо, що згідно з стандартом LoRa, швидкість такої передачі варіюється від 0,3 кбіт до 50 кбіт/с. До цього варто зазначити й те, що існує певний компроміс, який стосується тривалості передачі повідомлення та дальності безпосередньо самого зв'язку. Він впливає на сам вибір швидкості передачі даних.

Було з'ясовано, що на таке явище прямо впливає SF-фактор розширення спектру, тобто завдяки цьому й реалізовується даний компроміс. Воно закладається в тому, ширина спектру представлення закодованих даних змінюється. Відбувається це через безпосередні межі заданої пропускної здатності.

У той момент, коли було обрано більший SF, то отримує наступний результат: дальність передачі повідомлення збільшується, і, звичайно, разом із цим зростають витрати енергоресурсів. Безумовно, неможливо, аби цей процес відбувався навпаки, адже збільшення часу передачі має на енергоресурси прямий

						КвРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

вплив.

Тепер з'ясуємо, яка роль у цьому адаптивної швидкості передачі даних (ADR). Насправді ж, вона використовується в тих ситуаціях, коли потрібно зробити правильний розрахунок між швидкістю передачі повідомлень та часом.

На наше переконання, умови навколишнього середовища напряду впливають на те, як буде визначатися оптимальний коефіцієнт розширення спектру SF між БС та комунікаційним пристроєм. Він застосовується й за допомогою мережевого сервісу. Підкреслимо, що цей коефіцієнт використовується з конкретною ціллю – робота з надійністю та захищеністю передачі повідомлення, а також задля того, аби контролювати енергоресурси і їх використання давачами.

У мережевій інфраструктурі LoRaWAN є одна особливість, пов'язана з акумуляторами. Якщо потрібно змінити термін служби акумулятора, а саме покращити до його максимальних можливостей, LoRaWAN користується своїми перевагами – наявністю схеми адаптивної швидкості передачі даних ADR, про яку ми вже говорили. Завдяки ній стає підконтрольною вихідна потужність кінцевого пристрою та сама швидкість передачі даних. Із цього робимо висновок про те, що коли коефіцієнт SF низький, то, відповідно, покриття краще.

Тепер перейдемо до активації ADR. Вона здійснюється за допомогою пристрою, що є кінцевим. Важливим нюансом в активації є те, що цей пристрій допомагає ADR забезпечити безпроблемне користування обчислювальними ресурсами мережевого серверу.

Говорячи про ADR, неможливо не згадати за його надзвичайно корисну функцію під назвою «Стаціонарний моніторинг». Вона полягає у тому, що певна частина енергоресурсів, які наявні в автономного пристрою, не витрачається. У загальному розумінні, ця частка складає приблизно 25%.

Алгоритм ADR визначає медіанне значення, яке стосується відношення сигналу безпосередньо до самого шуму (SNR) та пов'язаний з 10 пакетами, які були отримані останніми. Для кожного такого відношення характерні свої

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

граничні значення SNR, які можна зрівнювати з коефіцієнта розширення спектру SF. Зазначимо, що низький рівень SNR, а саме  $-25\text{dB}$  характерний тим пакетам, які є втраченими. Завдяки такому способу ефективний коефіцієнт помилок (Packet Error Rate) вправно узгоджується з розподілом SNR. Хочемо додати до характеристики втрачених пакетів й те, що їм властивий нижчий рівень граничного SNR, який застосовується до поточного фактора розширення спектру SF. Це означає, що забезпечення стабільного зв'язку може бути в тому випадку, якщо SF для пристрою буде підвищеним. Таким чином його пакети стануть на регулярній основі втрачатися. Якщо говорити про ще одну перевагу алгоритму розрахунку ADR, то це, безумовно, врахування згасання тих сигналів, які існують в кожному SF.

Cisco Wireless Gateway for LoRaWAN – це та базова станція, яку ми обрали для роботи (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Базова станція Cisco

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб пояснити причину такого вибору, опишемо декілька характеристик цієї станції на технічному рівні:

1. Наявність декількох (двох) модулів приймопередавачів типу SX1301.
2. Наявність FPGA-модуля. Важливість цього фактору зумовлена тим, що встановлення цього модулю означає, що користувач може працювати з ПЛІС, а воно, в свою чергу, і керує пристроєм.
3. Наявність тих компонентів програми, які працюють на захист операційної системи.
4. Наявність здійснення автоматичного переключення каналів.
5. Наявність можливості налаштувати адаптивної швидкості передачі.
6. Наявність GPS-позиціонування, який дозволяє притримувати рівень акумулятора на мінімумі. Відбувається це завдяки RSSI (Received Signal Strength Indicator) та TDoA (Time of Arrival).
7. Наявність SF, які є стандартними.
8. Наявність підтримки всіх пристроїв таких класів, як А, В та С.
9. Наявність каналів прийому повідомлень загальною кількістю в 16 одиниць.
10. Наявність синхронізації типу NTP (Network Time Protocol).

Важливо зазначити, що напруга живлення силою, яка варіюється в межах 48-60 В, важлива саме для станції Cisco Wireless Gateway for LoRaWAN. Однак ми переконані, що кращим варіантом для такої функція стане саме PoE (Power over Ethernet). Можемо обґрунтувати цей вибір тим, що таким чином базова станція отримує енергоресурси завдяки використанню кабелю типу RJ-45, разом із цим замінюють на цифрові радіосигнали передавачів, щоб потім у результаті надіслати на мережевий сервер пакети повідомлень.

Найголовніше, що ми повинні відзначити для роботи – це взаємозв'язок між підключенням підсилювачів приймача та зоною покриття БС, оскільки перше має значний вплив на зону покриття, і саме це я причиною, чому варто використовувати антени.

						КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
							58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Результат виконаної роботи зображено на рисунках 3.14, 3.15:

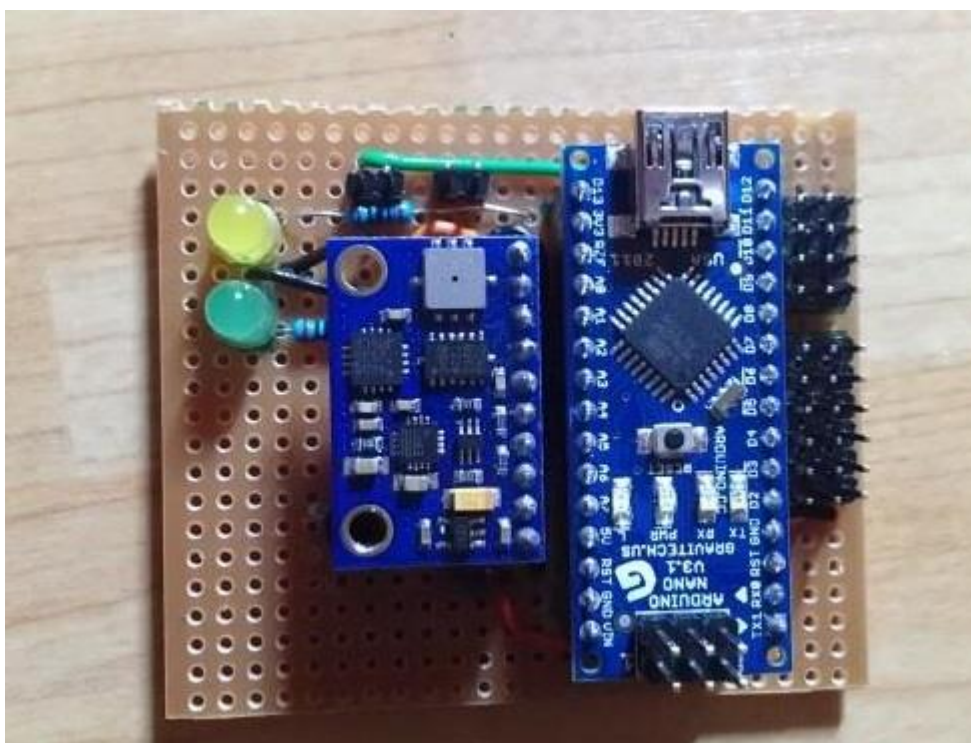


Рисунок 3.14 – Фото зверху

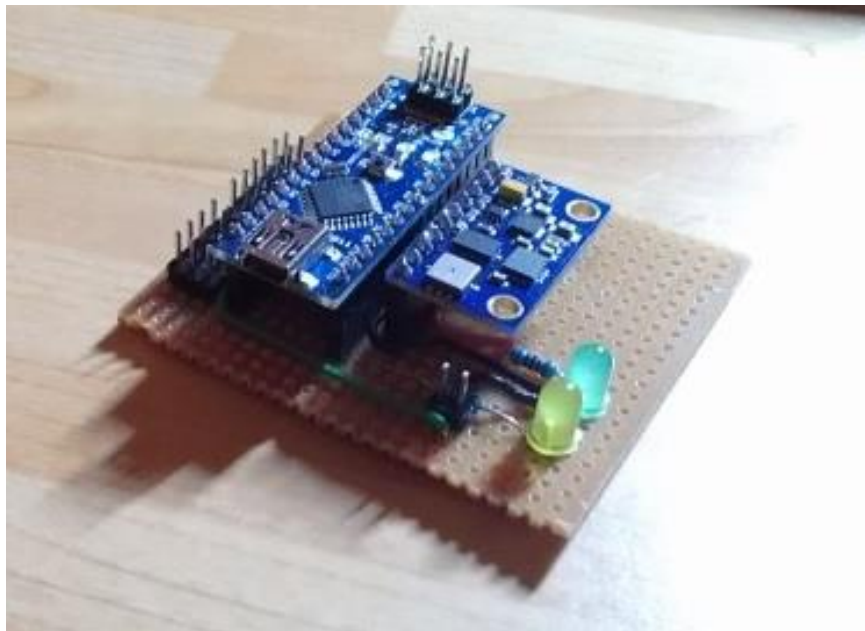


Рисунок 3.14 – Фото збоку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## ВИСНОВКИ

У даній роботі описано проектування політного контролера, а також варіант проектування охоронного дрона. Проаналізовано поширення технологій обміну даних у малопотужних мережах загального значення. З таким підходом було підвищено результативність використання акумулятора БПЛА за час польоту, збільшився також радіус охоплення території. Разом з цим збільшилась надійність керування БПЛА і використання захищеного каналу зв'язку та мультимедійної передачі зображення. Після того як було вибрано технології обміну даними проведено аналіз необхідних для дрона компонентів. Розроблено політний контролер.

Обрано регулятори обертів(ESC), змодельовано і надруковано на 3D-принтері раму для закріплення складових пристрою. Написано програму для керування літальним апаратом, що за замовчуванням є автономною, проте вона дозволяє надсилання команд для редагування руху дрона, а також перехід у режим ручного керування. Запропонована система демонструє стабільне виконання умов щодо статичного моніторингу контрольованого периметру, швидке реагування на критичну подію – проникнення, також передачу даних про злочинця і місце розташування проникнення на територію захищеним каналом. Система передає інформацію з БПЛА у режимі, близького до реального часу і має екстренний канал для зв'язку якщо почне падати напруга живлення акумуляторів чи відбудеться атака порушника території на дрон.

Було вивчено та досліджено характеристики та якості цих носіїв інформації, та виявлено, що майже всі вони мають досить легкий спосіб доступу до них, це можуть бути або габарити носія, або вимога до підключення сторонніх модулів, або тип даних які можна зчитувати (записувати).

Використовуючи Arduino Nano, було виготовлено аналог прихованого носія інформації, в який можна загрузити інформацію та при цьому скритно її використовувати помістивши компактний носій в будь яке місце, де до нього

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можно буде спілкуватися використанням кнопки. Цим було показано та доведено, що для розробки компактних та прихованих носіїв інформації зовсім не потрібно багато деталей та якихось новітніх технологій скривання інформації, адже сам пристрій має досить маленьку форму та можливість доступу до інформації одним дотиком.

Таким чином, можна стверджувати доцільність використання спроектованого політного контролера для управління прототипом охоронного дрона, а також виконання поставлених вимог системі. Подальша робота буде зосереджуватись на удосконаленні проєкту та розширенні можливостей БПЛА за рахунок збільшення кількості технічних та інформаційних датчиків.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1.Бабешко Є. В. Функційна безпека. Життєвий цикл інформаційної та функціональної безпеки. Київ, 2019. Т. 6. 167 с.
- 2.Баранов О. А. Інтернет речей і штучний інтелект: витoki проблеми правового регулювання. IT-право: проблеми та перспективи розвитку в Україні. 2018. 230 с.
- 3.Баранов О. А. Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання. Київ, 2018. 53 с.
- 4.Биковська А. А. Концепція «Інтернет речей». Мелітополь : ТДАТУ, 2019. 120 с.
- 5.Болінова М. М. Аналіз захищеності інформації в бездротовій мережі LoRaWAN . *матеріали 23 Міжнар. молодіж. форуму*, 16–18 квітня 2019 р. Харків : ХНУРЕ, 2019. Т. 3. С. 148–149.
- 6.Горбовський А. І., Войтович О. П. Дослідження безпеки у інтернеті речей. Дослідження безпеки у інтернеті речей. Вінниця, 2018. 98 с.
- 7.Гребенков Д. В. Огляд сучасних безпілотних літальних апаратів. Харків, 2023. Т. 1. 101 с.
- 8.Жураковський Б. Ю., Зенів І. О. Технології Інтернету речей. Київ, 2021. 158 с.
- 9.Збруцький О. В., Горбачек Д. О. Система автоматичного керування рухом центру мас безпілотного літального апарату. Київ, 2019. 198 с.
- 10.Іваненко Ю. В., Ляшенко О. С., Філімончук Т. В. Огляд методів керування безпілотними літальними апаратами. Полтава, 2023. 150 с.
11. Інтелектуалізація сучасних систем автоматичного керування безпілотними літальними апаратами / Гриценко, В. І., Волков, О. Є., Комар М. М., Богачук Ю. П. Київ, 2018. 88 с.
12. Інтернет магазин з продажу Arduino та інших елементів. URL: <https://advertexa.biz/ua/> (дата звернення: 01.05.2023)

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Карасьов П. І. Автоматизація структури систем керування безпілотними літальними апаратами : зб. матеріалів доп. учасн. XVI Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 8–9 грудня 2020 р. Київ, 2020. С. 84–85.

14. Класифікація безпілотних літальних апаратів / Тимочко О. І., Голубничий Д. Ю., Третяк В. Ф., Рубан І. В. Харків, 2018. 62 с.

15. Копанєв М. М. Бездротова система зв'язку давачів периметральної системи охорони на основі протоколу LoRaWAN *Всеукр. наук.-практ. конф.* : зб. матеріалів доп. учасн., 25–26 квітня 2019 р. Київ, 2019. С. 56–79.

16. Копанєв М. М. Гібридна система контролю дрона із захищеним каналом екстреного зв'язку. *XVI Всеукр. наук.-практ. конф.* : зб. матеріалів доп. учасн., 20 грудня 2020 р. Київ, 2020. С. 66–68.

17. Копанєв М. М. Зв'язок бездротових давачів для моніторингу. Стан робочих місць на основі протоколу LoRaWAN. *IV Міжнар. конф. з інформ.-телеком. технол. та радіоелектроніки*: зб. матеріалів доп. учасн., 9–13 вер. 2019 р. Одеса, 2019. С. 120–125.

18. Копанєв М. М., Прогонов Д. О. Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики і інформатики. Київ, 2019. 156 с.

19. Копанєв М. М. Прототип системи управління «Smart Street» на основі протоколу LoRaWAN. *Міжнар. наук.-техн. конф. «Перспективи телекомунікацій – 2020»*: зб. матеріалів доп. учасн., 13–17 квітня 2020 р. Київ, 2020. С. 45–52.

20. Копанєв М. М. Розробка автоматизованої системи моніторингу із застосуванням технології LoRaWAN. *XIX Всеукр. наук.-практ. конф.*: зб. матеріалів доп. учасн., 29 лист. 2018 р. Київ, 2018. С. 66–67.

21. Копанєв М. М. Розробка макету міської вулиці під управлінням системи збору даних : зб. матеріалів доп. учасн. Міжн. дослідн. журн., 23 жовтня 2019 р. Київ, 2019. С. 22–28.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Малеева Ю. А., Самко М. О. Розробка IoT системи збору і передачі даних з використанням протоколу LoRaWAN : тези доп. 13 Міжнар. наук.-техн. конф., 26-27 квітня 2023 р. Баку–Харків–Жиліна, 2023. С. 35–36.

23. Міщук А. С. Огляд сучасних систем керування, які використовуються на безпілотних літальних апаратах. Київ, 2018. 202 с.

24. Огірко І. В. Технології мереж для інтернету речей. *Наук.-практ. конф.* : зб. матеріалів доп. учасн., 24 жовтня 2018 р. Київ, 2018. С. 44–50.

25. Денисов Ю. О., Шаповалов О. Л., Серeda О. В., Куц Є. В. Оптимізація енергодинамічних процесів у системі керування приводом стабілізації польоту безпілотного літального апарата / Київ, 2018. №3. 195 с.

26. Офіційний магазин Arduino. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> (дата звернення: 01.05.2023).

27. Офіційний сайт Arduino IDE. URL: <https://www.arduino.cc/> (дата звернення: 01.05.2023)

28. Пилявський В. В., Патлаєнко М. О., Таран А. П. Система моніторингу на базі технології LoRaWAN. Одеса, 2020. 95 с.

29. Рибак О. О., Міночкін Д. А. Аналіз технологій та параметрів функціонування ІОТ мереж : матеріали 15 Міжн. наук.-практ. конф., 12–16 квітня 2021 р. Київ, 2021. С. 1–3.

30. Рибак О. О., Міночкін Д. А. Дослідження схеми Adaptive Data Rate в протоколі передачі даних LoRaWAN. 15 Міжн. наук.-практ. конф. : матеріали, 12–16 квітня 2021 р. Київ, 2021. С. 4–6.

31. Слободюк В. М. Дослідження потенційних можливостей технології LoRaWAN в умовах міської забудови : матеріали 23 Міжн. молод. форуму, 16–18 квітня 2019 р. Харків, 2019. С. 18–25.

32. Шакуров Є. О., Балюк О. С. Поняття «Інтернет речей», способи застосування та технології побудови «Інтернету речей». XX Всеукр. наук.-метод. конф. : зб. тез доп. учасників здобувачів вищ. освіти та молодих вчених, присвяч.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

300-річчю з дня народж. Г. С. Сковороди, 3–4 листоп. 2022 р. Харків, 2022. С. 191–193.

33. Юхименко-Назарук І. А., Копанєв М. М. Перспективи використання 5G для покращення міських систем відеоспостереження. *XXI Всеукр. наук.-практ. конф.*: зб. матеріалів доп. учасн. 20 грудня 2020 р. Київ, 2020. С. 145–147.

34. Яровий О. В. Вибір оптимальних моделей безпілотних літальних апаратів та систем управління для виконання задач щодо моніторингу наземних об'єктів. Київ, 2018. 196 с.

35. Adelantado F. Understanding the Limits of LoRaWAN. Barcelona : IEEE Communications Magazine, 2019. Volume 55, Issue 9. 56 с.

36. Analysis and assessment of LoRaWAN / Phung K. H., Tran H., Nguyen Q., Huong T. T. Ho Chi Minh City, 2018. 200 с.

37. Banzi M., Shiloh M. Getting Started With Arduino. New York, 2022, 137 с.

38. Bor M., Edward J., Roedig J. LoRa for the Internet of Things. Lancaster, 2023. 89 с.

39. Butun I., Pereira N., Gidlund M. Security risk analysis of LoRaWAN and future directions. Sundsvall, 2019. 105 с.

40. Capuzzo M., Magrin D., Zanella A. Confirmed traffic in LoRaWAN: pitfalls and countermeasures. Capri : 2018 17th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net), 2018. С. 27–33.

41. Comparison of LoRaWAN classes and their power consumption / Cheong P. S., Bergs J., Hawinkel C., Famaey J. Leuven : IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology (SCVT), 2018. С. 22–27.

42. Emami S. A., Castaldi P., Banazadeh A. Neural network-based flight control systems: present and future. Tehran, 2022. 58 с.

43. Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks / Wixted A. J., Kinnaird P., Larijani H., Tait A., Ahmadinia A., Strachan N. Orlando : IEEE SENSORS, 2018. С. 36–77.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

44. Formal security analysis of LoRaWAN / Eldefrawy M., Butun I., Pereira N., Gidlund M. Östersund, 2018. 158 c.

45. Haxhibeqiri J., Poorter E. D., Moerman I., Hoebeke J. A survey of LoRaWAN for IoT: from technology to application. Ghent, 2018. 93 c.

46. Lavric A., Petrariu A. I. LoRaWAN communication protocol: the new era of IoT. Suceava : 2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS), 2018. C. 20–23.

47. LoRaWAN – A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities / Silva J. D. C., Rodrigues J. P. C., Alberti A. M., Solic P. Split : 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech), 2018. C. 1–33.

48. LoRaWAN: evaluation of link- and system-level performance / Feltrin L., Buratti Ch., Vinciarelli E., Bonis R. D. Bologna : IEEE Internet of Things Journal, 2018. Volume 5, Issue 3. 2258 c.

49. Marais J. M., Malekian R., Abu-Mahfouz A. M. Evaluating the LoRaWAN protocol using a permanent outdoor testbed. Pretoria, 2019. 199 c.

50. Morande A., Bansod M., Nagne K. Review analysis internet of things (IoT) using Lora Technology. Maharashtra, 2021. 420 c.

51. Mukarram A. M., Jabbar W. A., Abdulmalek S. A survey on LoRaWAN technology: recent trends, opportunities, simulation tools and future directions. Pekan, 2022. 84 c.

52. Pratt R. Flight control systems: practical issues in design and implementation. London, 2020. 123 c.

53. Routing in LoRaWAN: overview and challenges / Osorio A., Calle M., Soto J. D., Candelo-Becerra J. E. London : IEEE Communications Magazine, 2020. 243 c.

54. Security Vulnerabilities in LoRaWAN / Yang X., Karampatzakis E., Doerr C., Kuipers F. Orlando : 2018 IEEE/ACM Third International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI), 2018. C. 14–17.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

55. Wireless sensor network for precision farming and environmental protection / Palagin O. V., Romanov V. O., Galelyka I. B., Voronenko O. V. Kyiv, 2018. Vol. 24. №1. 156 с.

					КВРКІ 190120.19.01.23 ПЗ	Арк.
						67
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

**Додаток А**  
(обов'язковий)  
Код програми керування

```
#include <lmic.h>
#include <hal/hal.h>
#include <SPI.h>

#define BAND 868E6 // діапазон частот для радіомодуля
#define NODE_ADDRESS 0x1 // адреса квадрокоптера в мережі

static const u1_t DEVEUI[8] = { 0x00, 0x01, 0x02, 0x03, 0x04, 0x05, 0x06, 0x07 };
static const u1_t APPEUI[8] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01 };
static const u1_t APPKEY[16] = { 0x01, 0x23, 0x45, 0x67, 0x89, 0xAB, 0xCD, 0xEF,
0xFE, 0xDC, 0xBA, 0x98, 0x76, 0x54, 0x32, 0x10 };

static osjob_t sendjob;
static uint8_t buffer[4];

void do_send(osjob_t *j) {
    LMIC_setTxData2(1, buffer, sizeof(buffer)-1, 0);
    Serial.println(F("Packet Enqueued"));
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);
    Serial.println(F("Starting..."));

    LMIC_reset();
    LMIC_setClockError(MAX_CLOCK_ERROR * 1 / 100);

    LMIC_setSession (0x1, DEVEUI, APPEUI, APPKEY);
    LMIC_setupChannel(0, BAND, 5);
    LMIC_setLinkCheckMode(0);
    LMIC.dn2Dr = DR_SF9;
    LMIC_setDrTxpow(DR_SF9, 14);
    buffer[3] = NODE_ADDRESS;

    Serial.println(F("Setup Complete"));
}

void loop(){
```

```

os_runloop_once();

// Отримання даних з квадрокоптера
float roll, pitch, yaw; // визначення кутів крену, тангажу та рингу
// Код отримання даних - входить до сфери вашого досвіду в програмуванні

// Перетворення даних в масив байт
uint8_t payload[4];
payload[0] = (uint8_t)round(roll);
payload[1] = (uint8_t)round(pitch);
payload[2] = (uint8_t)round(yaw);
payload[3] = NODE_ADDRESS;

memcpy(buffer, payload, sizeof(payload));

os_setCallback(&sendjob, do_send);
LMIC_startJob(&sendjob);

delay(5000);
}

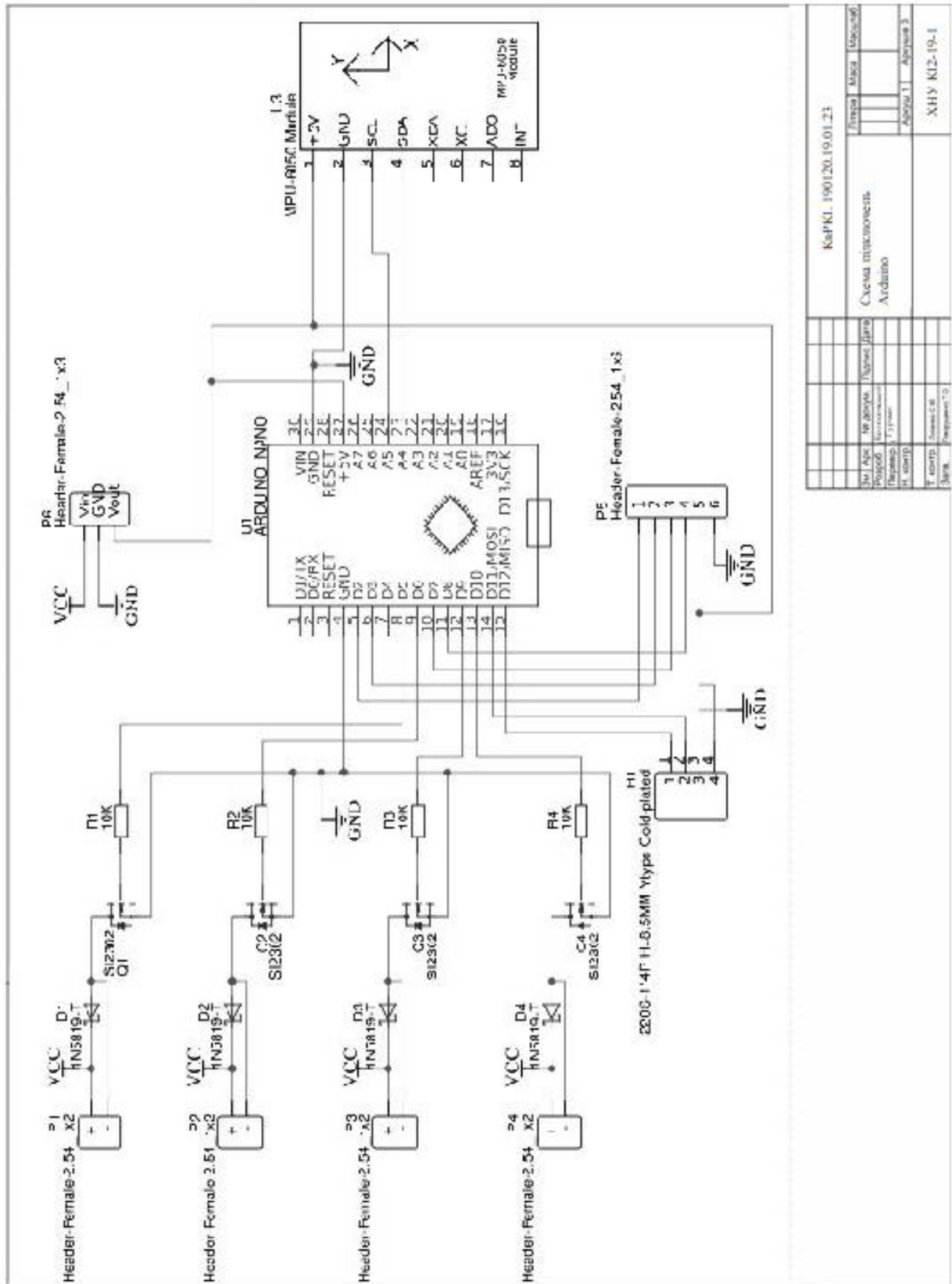
void onEvent(ev_t ev) {
  Serial.print(os_getTime());
  Serial.print(": ");
  switch(ev) {
    case EV_JOINING:
      Serial.println(F("EV_JOINING"));
      break;
    case EV_JOIN_TXCOMPLETE:
      Serial.println(F("EV_JOIN_TXCOMPLETE:"));
      break;
    case EV_JOINED:
      Serial.println(F("EV_JOINED"));
      break;
    case EV_TXCOMPLETE:
      Serial.println(F("EV_TXCOMPLETE"));
      break;
    default:
      Serial.println(F("Unknown event"));
      break;
  }
}
}

```

## Додаток Б

(обов'язковий)

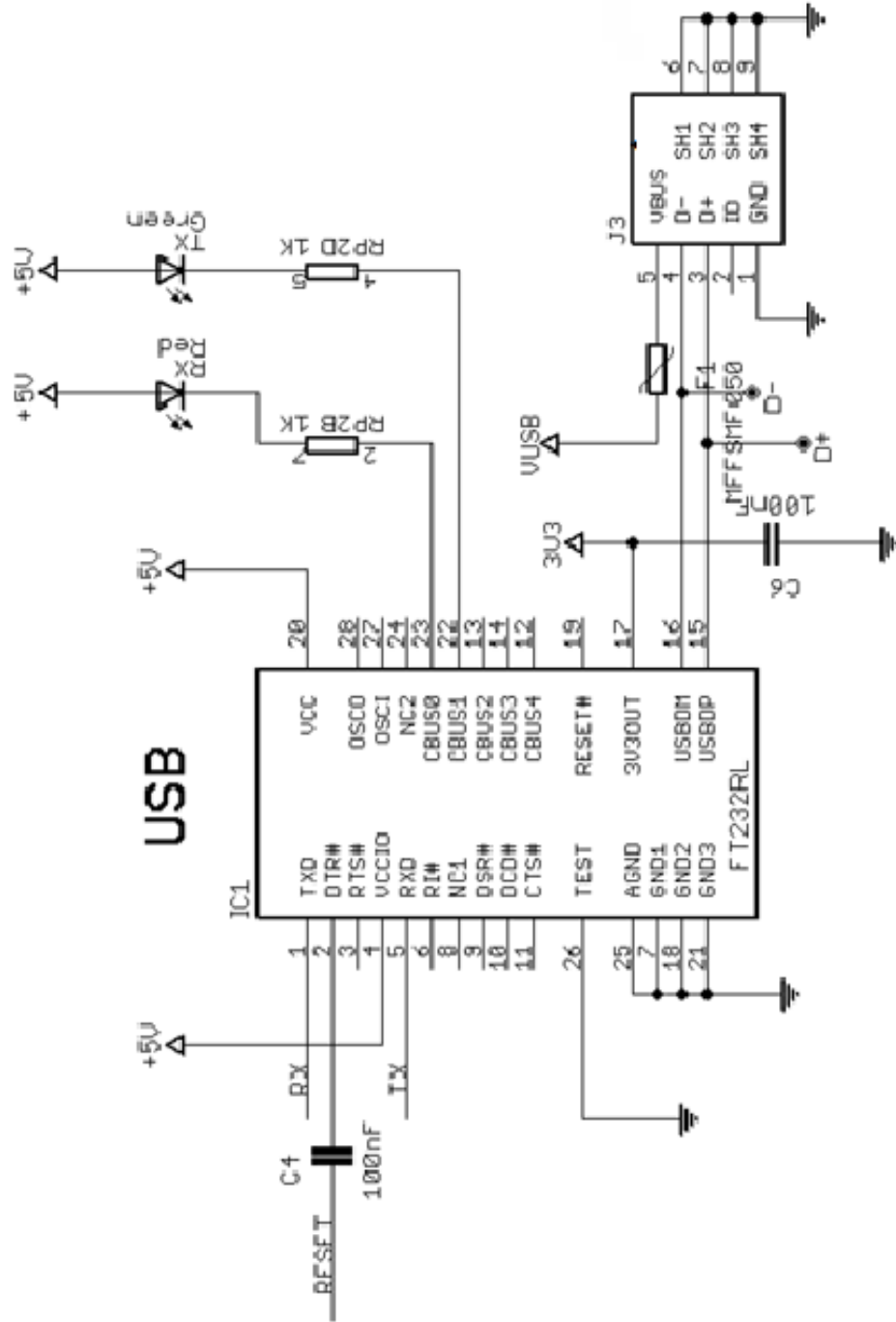
Копія креслення «Принципова схема з'єднань політного контролера»



## Додаток В (обов'язковий)

Копія креслення «Приципова схема розпіновки Arduino nano»

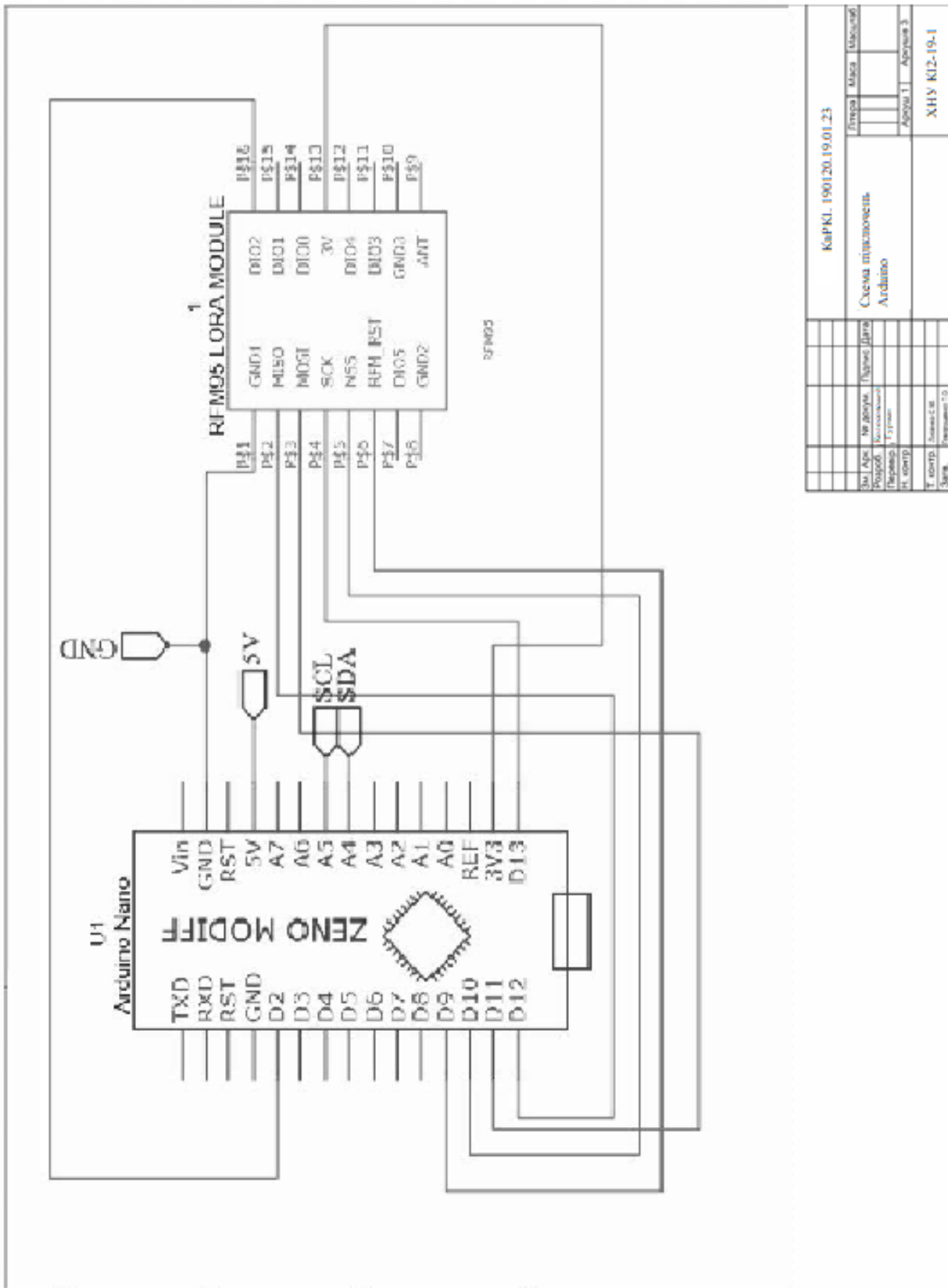
Приципова схема виходів Arduino



КаРКІ. 190120.19.01.23		Дата	Місяць	Рік
Схеми підключень		Arduino		
№ документа	Підпис (імя)	Arduino 1		
Версія	Підпис (імя)	Arduino 3		
№ розробки	Підпис (імя)	Arduino 1		
№ зміни	Підпис (імя)	Arduino 3		
Т. констр.	Листок №	XHV K12-19-1		
Зміст	Розмір	1:1		

## Додаток Г (обов'язковий)

Копія креслення «Принципова схема з'єднань з модулем»



## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

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

ID: 115100 Назва: БКР Політний контролер на базі платформи Arduino Додано в БД: 2023-06-07 Автора: В.В. Колосовський Керівники: І.В. Гурман Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	73573	648	751 (1%)	13 (2%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
07.06.2023 17:20:15 EEST

Дата звіту:  
07.06.2023 17:20:36 EEST

ID перевірки:  
1015487278

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Колосовський Політний контролер на базі платформи Arduino

Кількість сторінок: 66 Кількість слів: 11760 Кількість символів: 86953 Розмір файлу: 2.14 MB Файл: 1015144

## 8.41% Схожість

Найбільша схожість: 5.39% з Інтернет-джерелом (<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49818/1/...>)

8.24% Джерела з Інтернету 109

1.89% Джерела з ЕБЛ/бібліотеки 81

## 0.16% Цитат

Цитати 5

Посилання 1

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн звіті

Замінені символи 12

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Колосовський Віталій Володимирович

Тема: Політний контролер на базі платформи Arduino

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки     

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: У кваліфікаційній роботі було обгрунтовано актуальність задачі, проаналізовано середовище програмування та технології обміну даними безпілотного літального апарату з центром оброблення даних. Було обгрунтовано вибір апаратних складових, протоколів передачі даних, спроектовано пристрій та створено відповідне програмне забезпечення.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Кваліфікаційна робота загалом відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі дипломної роботи обгрунтовано актуальність задачі, проаналізовано середовище програмування та технології обміну даними контролера з центром оброблення даних. В другому розділі дипломної роботи обгрунтовано вибір апаратної платформи та протоколів передачі даних для реалізації завдання дипломної роботи. В третьому розділі здійснено підбір апаратних складових та спроектовано безпілотний літальний апарат на базі платформи Arduino Nano.
4. Позитивні сторони роботи: Тема дипломної роботи є актуальною з огляду на широке використання безпілотних літальних апаратів як в мирний час, так і під час проведення військових дій.
5. Негативні сторони роботи: В межах дипломної роботи варто було приділити увагу аналізу відомих комерційних рішень.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:  
Оформлення пояснювальної записки відповідає діючим стандартам оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на задовільному інженерно-технічному рівні.

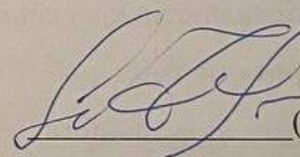
8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3.00/Е)

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

Морозук Крістіна Вікторівна, доц. проф. ІІІЗ

"22" червня 2023 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІПС  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Колосовського Віталія Володимировича  
ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-19-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

06.06.2023



**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Політний контролер на базі платформи Arduino

Автор: Колосовський Віталій Володимирович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Гурман Іван Васильович к.т.н доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розмішені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розмішені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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


- 1) Запозичення, що виявлені в кваліфікаційній роботі відносяться до вмісту титульної сторінки та переліку джерел посилань
- 2) Також виявлені запозичення відносяться до опису характеристик компонентів розроблюваної системи, таких як напруги живлення, розміри, інтерфейси.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 8.41% і адресується до 190 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІІС



І. В. Гурман

С. М. Лисенко

Т. О. Говорушенко