

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 62-503.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
С.А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 19 ” 12 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки (код і назва спеціальності)

на тему: Система передачі даних для
безпілотного літального апарату

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи PI-81 мп
(шифр групи)

Чайка Євгеній Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Чайка
(підпис)

Науковий керівник проф. доктор техн. наук проф. Зінковський
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Зінковський
(підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каптанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Каптанов
(підпис)

Рецензент асистент, к.т.н. Товкач І.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Товкач
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент Чайка
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

За освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіoeлектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М. М. М.
(підпис)

Є. А. Нелін

(ініціали, прізвище)

02 вересня 2019р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Чайка Євгенія Олександровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації : Система передачі даних для
безпілотного літального апарату

науковий керівник дисертації Зінковський Ю.Ф. д.т.н. проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3881-с

2. Строк подання студентом дисертації 15.12.2019

3. Об'єкт дослідження процес передачі даних з
БПЛА до наземного сервера

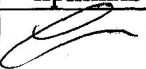
4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) методи передачі даних з БДІА до локального сервера

5. Перелік завдань, які потрібно розробити система передавання телеметричних даних з БДІА до локального серверу; розробити алгоритм програми передачі-прийому інформації

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу до презентації підготувати 10 слайдів інформації

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

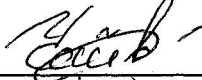
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих рішень	1.04.2019	вик.
2	Концепція та алгоритм роботи	1.05.2019	вик.
3	Конструкторська розробка	1.07.2019	вик.
4	Тестування передачі даних	1.08.2019	вик.
5	Охорона праці та безпека в НС	1.08.2019	вик.
6	Розробка і оформлення консп. док.	1.10.2019	вик.
7	Надання проекту на перевірку	1.11.2019	вик.

Студент


(підпис)

Є.О. Чайко
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

Ю.Ф. Золотковський
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації становить 108 сторінок, які включають в себе 7 розділів, 27 ілюстрацій, 37 таблиць, 29 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Ключові слова радіостанція, диспетчерська система, зв'язок, управління БПЛА, комунікація.

Актуальність теми дослідження. Завдяки новим регламентам ЄС та запуску космічної програми, кожен безпілотний літальний апарат (БПЛА) відтепер повинен транслювати телеметричні дані та ідентифікаційні дані на сервер, щоб забезпечити операції високої щільності з декількома автоматизованими БПЛА. Отже, вирішено створити стабільний багатоканальний зв'язок з безпілотником, для забезпечення можливості передачі даних в обидва боки на сервер без будь-яких втрат інформації на великих відстанях.

Мета та завдання. Створення стабільного багатоканального зв'язку сервера з безпілотником, для передачі даних в обидва боки на сервер без будь-яких втрат інформації на великих відстанях.

Об'єктом дослідження. Процес передачі даних з БПЛА до сервера за допомогою інтернет-з'єднання.

Предмет дослідження. Методи передачі даних з БПЛА до сервера.

Методи дослідження. В роботі використовувалися методи теорії ймовірностей, лінійної і нелінійної фільтрації в дискретному часі, статистичної теорії прийняття рішень і статистичного моделювання на ЕОМ, графічні методи визначення даних.

Наукова новизна одержаних результатів: Розроблено систему передачі даних для безпілотного літального апарата для визначення його місцезнаходження, керування польотом та синхронізації з іншими БПЛА для

уникнення зіткнень в цій системі на відмну від існуючих передача та отримання даних відбувається відразу з БПЛА на сервер через інтернет-мережу, а не через пульт керування, що в свою чергу дозволяє здійснювати, відслідковувати та корегувати польоти з будь-якої точки планети, що дозволяє експлуатувати БПЛА без задіяння пілотів у безпосередній близькості до нього.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Одержані результати показують можливість польотів БПЛА над досліджуваною територією без втрати даних, якими обмінюються літальний апарат та сервер за допомогою мережі інтернет

2. Конфігурація з трьох систем зв'язку та окремого контролера забезпечує можливість сталого обміну інформацією між БПЛА та сервером з достатньою швидкістю інтернет-з'єднання, що дозволяє передавати телеметричні дані, дані для керування дроном та відео з польотної камери.

3. Розроблений алгоритм програми використання модулів зв'язку не вимагає значних обчислювальних витрат і може бути реалізовано на сучасних мікропроцесорах в масштабі реального часу.

4. Використання готових технологій передачі даних (LTE, Wi-Fi, LoRa) знижує вартість системи без втрати надійності з'єднання

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації та основні положення, отримані в роботі, були використані у ході наукової діяльності у Празькому технічному університеті, м. Прага, Чехія;

ANNOTATION

The volume of the explanatory note of the master's thesis is 108 pages, which include 7 sections, 27 illustrations, 37 tables, 29 bibliographic names according to the list of sources of links.

Keywords: Keywords radio, control system, communication, UAV control, communication.

Relevance of the research topic. Thanks to the new EU regulations and the launch of the space program, every unmanned aerial vehicle (UAV) must now transmit telemetry and identification data to the server to provide high-density operations with several automated UAVs. Therefore, it is decided to create a stable multi-channel communication with the drone, in order to enable data transfer on both sides to the server without any loss of information over long distances.

Purpose and tasks. Creating a stable multi-channel communication server with the drone, for data transfer on both sides to the server without any loss of information over long distances.

The object of study. The process of transmitting data from a UAV to a server via an Internet connection.

Object of research. The object is the process of determining the location of RFID tags.

Subject of research. Methods of data transfer from UAV to server. Research methods. The methods of the theory of probabilities, linear and nonlinear filtering in discrete time, statistical decision theory and statistical modeling on computers, graphical methods of data determination were used in the work.

Research methods. The methods of the theory of probabilities, linear and nonlinear filtering in discrete time, statistical decision theory and statistical modeling on computers, graphical methods of data determination were used in the work.

Scientific novelty of the obtained results. A data transfer system for an unmanned aerial vehicle was developed to determine its mapping, flight control

and synchronization with other UAVs in order to avoid collisions in this system, as opposed to existing transmissions and receiving data from the UAV at server through the Internet, not through the control panel, which in turn allows you to perform, track and adjust flights from anywhere on the planet, which allows UAVs to operate without piloting into the no-holds-barred some closeness to it.

The practical significance of the results obtained.

The practical significance of the results obtained:

1. The results obtained show the possibility of UAV flights over the investigated territory without loss of data exchanged by the aircraft and server via the Internet.
2. The configuration of the three communication systems and the individual controller ensures the constant exchange of information between the UAV and the server with sufficient internet connection speed to transmit telemetry data, drone control data and video from the flight camera.
3. The developed algorithm of the program of use of communication modules does not require considerable computational cost and can be implemented on modern microprocessors in real time scale.
4. The use of ready-made data transfer technologies (LTE, Wi-Fi, LoRa) reduces the cost of the system without losing connection reliability

Testing the results of the thesis. The dissertation materials and the main provisions obtained in the work were used during the scientific activity at the Prague Technical University (Prague, Czech Republic 2018).

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської дисертації**

на тему: Система передачі даних для безпілотного літального апарата

Київ — 2019 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
1 ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ДЕКІЛЬКОМА БПЛА ТА НАЗЕМНИМ СЕРВЕРОМ	11
1.1 Система моніторингу DJI Aeroscope	11
1.2 Диспетчерська система UAS Traffic Management (UTM)	13
1.3 Автоматизована диспетчерська система для БПЛА у Китаї	15
1.4 Платформа для керування дронами – FlytGCS	15
1.5 Система зв'язку з дроном C-BAND	17
1.6 Висновки за розділом	18
2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	19
2.1 Аналіз каналів зв'язку	19
2.2 Висновки за розділом	20
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	22
3.1 Обґрунтування схемотехнічного виконання	22
3.2 Аналіз структурної схеми	23
3.3 Вибір компонентів.	24
3.4 Розрахунок масогабаритних характеристик приладу	30
3.5 Вибір способів електричного приєднання друкованої плати і розробка корпусу приладу	35
3.6 Можливі варіанти закріплення на корпусі БПЛА	36
3.7 Алгоритм роботи пристрою	38
3.8 Опис роботи програмної частини	39

	7
3.9 Серверна частина	40
3.10 Висновки за розділом	41
4 РОЗРАХУНОК, ЩО ПІДТВЕРДЖУЄ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ	42
4.1 Розрахунки теплового режиму та коефіцієнту витривалості при вібраційних навантаженнях	42
4.2 Висновки за розділом	43
5 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	44
5.1 Залежність швидкості Інтернету від параметрів радіосигналу	44
5.2 Експериментальне дослідження потужності опорного сигналу в залежності від розташування базових станцій (територія КПІ ім. Ігоря Сікорського)	50
5.3 Розрахунок зон покриття для мережі LTE на території.....	54
5.4 Розрахунок пропускної здатності мережі. Розрахунок кількості потенційних абонентів	60
5.5 Висновки за розділом	65
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
6.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи	66
6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	67
6.2.1 Електробезпека.....	67
6.2.2 Мікроклімат робочої зони	70
6.2.3 Виробниче освітлення.....	70
6.2.4 Виробничий шум.....	72
6.2.5 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ	73

	8
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	74
6.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС	74
6.3.2 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.....	77
6.3.3 Пожежна безпека.....	78
6.3.4 Основні вимоги щодо плану евакуації при пожежі.....	80
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	82
7.1 Опис ідеї проекту	82
7.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї	82
7.3 Технологічний аудит ідеї проекту	83
7.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	84
7.5 Визначимо потенційні групи клієнтів.	85
7.6 Розроблення ринкової стратегії проекту	90
7.7 Висновки за розділом	92
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	94
ДОДАТОК А.....	97
ДОДАТОК Б.....	98

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – безпілотний літальний апарат

LTE – Long Term Evolution

Wi-Fi – Wireless Fidelity

LoRa – Long Range

ДП – друкована плата

UTMISS – Unmanned Traffic Management Information Services System

ДК – дистанційне керування

UTM – Unmanned aircraft system *traffic management*

БС – базова станція

IP – Internet Protocol

МС – мобільна станція

ЄС – Європейський Союз

SESAR – *Single European Sky Air Traffic Management Research*

USB – Universal Serial Bus

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

CQI – Channel Quality Indicator

CINR – Carrier to Interference + Noise Ratio

RSRP – Reference Signal Received Power

UE – User Equipment

RB – Resource Blocks

MCS – Modulation Code System

ККД – коефіцієнт корисної дії

DL – Down Load

UL – Up Load

ВСТУП

З кожним роком безпілотні літальні апарати (БПЛА) набувають все більш широкого застосування у різних сферах послуг, господарства, та військовій справі. Польоти БПЛА стають все більш автоматизованими і через це з'являється потреба у контролі повітряного простору на малих висотах задля уникнення зіткнень та захисту стратегічно важливих об'єктів від несанкціонованих польотів на їх території.

Завдяки новим регламентам ЄС та запуску космічної програми, кожен безпілотник відтепер повинен транслювати телеметричні дані та ідентифікаційні дані на сервер, щоб забезпечити операції високої щільності з декількома автоматизованими дронами[1]. Отже, вирішено створити стабільний багатоканальний зв'язок з безпілотником, щоб було можливо передавати дані в обидва боки на сервер без будь-яких перерв та на великі відстані.

Але до таких систем збільшуються вимоги як по швидкості передачі та обробки даних так і їх стабільного безперебійного з'єднання з наземним сервером.

Метою даного дипломного проекту є розробка приладу системи передачі даних для безпілотного літального апарата на відносно великі відстані. Та дослідження параметрів зв'язку безпілотника з сервером за допомогою технології LTE на території кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського.

1 ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ДЕКІЛЬКОМА БПЛА ТА НАЗЕМНИМ СЕРВЕРОМ

Зі збільшенням кількості безпілотних літальних апаратів, з'явилася необхідність у контролі повітряного простору задля безпеки людей, самих апаратів та для дотримання певних норм законодавства, наприклад, з'являється потреба у забороні польотів дронів над певними територіями, у ідентифікації власників цих апаратів та ін.

У зв'язку з цим Європейська організація SESAR (Single European Sky ATM Research, «Дослідження в області організації руху у повітрі єдиного європейського повітряного простору») Joint Undertaking анонсувала на 2019 рік проведення випробування диспетчерської системи U-space, яка має за ціль керувати польотами БПЛА. Тобто кожен дрон має автоматично відправляти інформацію про політ на сервер і отримувати інформацію про польоти інших безпілотників. На основі отриманих даних сервер має виробляти рекомендації для операторів дронів по плануванню маршрутів. Крім того, ця система має забороняти польоти над певними територіями, які встановлюються владою регіону, та виконувати ще багато додаткових функцій для впровадження безпіотної авіації в повітряний простір країн.

Наразі SESAR потребують готових рішень для організації системи зв'язку. Тобто є потреба у системі, яка зможе безперебійно забезпечувати обмін інформацією в бездротовій ланці між сервером і дроном на відстанях обумовлених дальністю польоту конкретного безпілотного літального апарату (БПЛА).

1.1 Система моніторингу DJI Aeroscope

AeroScore – це комплексна платформа виявлення дронів, яка швидко ідентифікує лінії зв'язку між БПЛА і його пультом управління, збирає інформацію, таку як статус польоту, маршрути і іншу інформацію в режимі

реального часу. Цей потік даних моніторингу допомагає користувачам зробити аналіз якомога швидше.[3]

Рисунок 1.1 – Система моніторингу DJI AeroScope



У той час як популярність споживчих дронів продовжує зростати, вона створює потенційні проблеми безпеки і безпеки для таких областей, як аеропорти, в'язниці, атомні електростанції і різні державні об'єкти та інфраструктури. Традиційні заходи захисту в цих місцях можуть бути не в змозі адекватно виявляти і контролювати БПЛА для запобігання можливим інцидентам. DJI AeroScope здатний ідентифікувати переважну більшість популярних безпілотних літальних апаратів на ринку, аналізуючи їх сигнали, щоб отримати інформацію.

Портативний пристрій призначений для тимчасових подій, мобільного розгортання і подібних сценаріїв. Весь блок укладений в єдиний кейс, який

дозволяє користувачам швидко почати роботу в новому місці. Портативний блок може житися від вбудованих інтелектуальних батарей TB50 або від наявного джерела живлення. Він гнучко працює в русі, забезпечуючи зручні рішення для моніторингу аварійних ситуацій, надзвичайних ситуацій і всюди, де стаціонарні пристрої недоступні.

Особливості цього приладу:

- Сканування повітряного простору у радіусі до 20км на наявність дронів;
- Отримання телеметричних даних БПЛА;
- Для отримання даних про повітряну обстановку достатньо одного мобільного кейсу;
- Отримання координатів місцезнаходження пілота;
- Перхват керування деякими видами дронів.

Недоліки:

- Локальне застосування з неможливістю відслідковувати і керувати через інтернет;
- Не має можливості автоматичного корегування траєкторією польоту одночасно двох і більше БПЛА.

1.2 Диспетчерська система UAS Traffic Management (UTM)

Нова система, що отримала назву UAS Traffic Management (UTM), дозволяє організувати управління безпілотниками в єдиному повітряному просторі.

Система складається з центрального сервера і спеціальних пультів управління, кожен з яких передає на сервер дані про переміщення апаратів. Виходячи з них, система дає дозвіл на зліт або корегує маршрути БПЛА. [4]

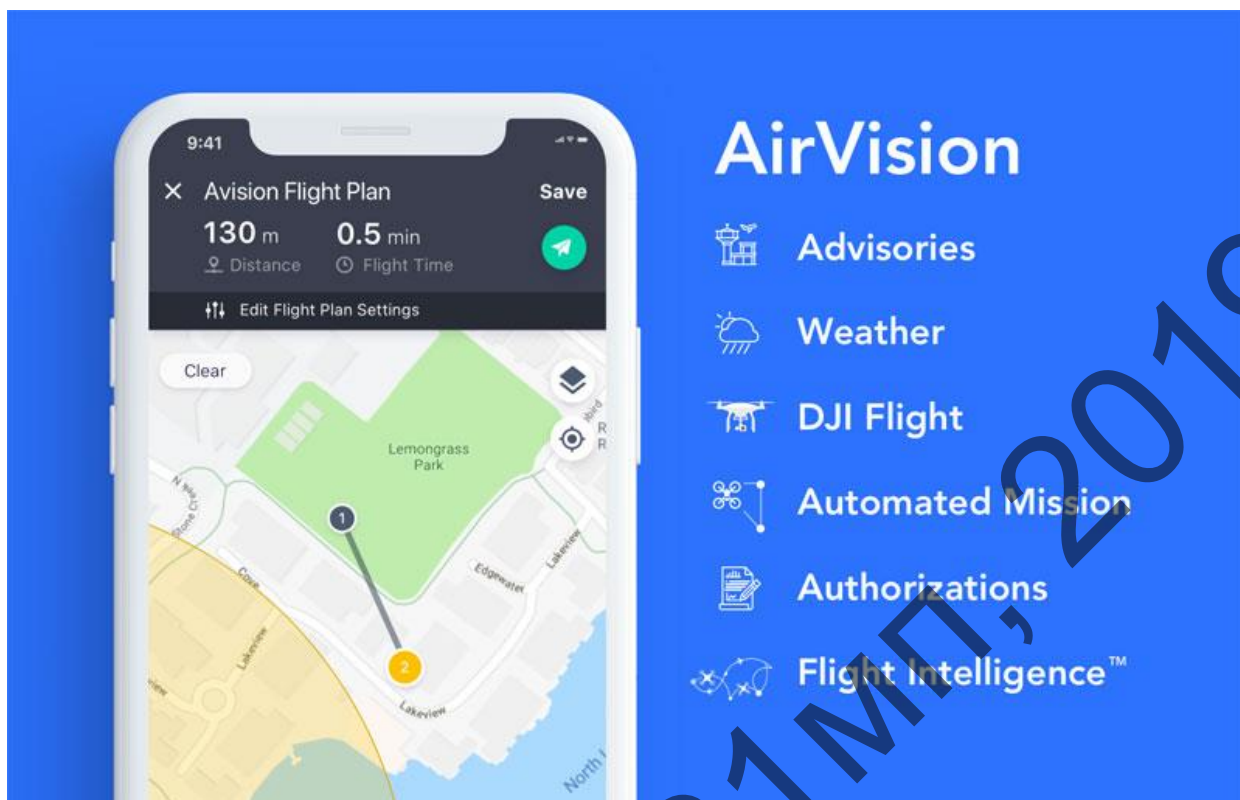


Рисунок 1.2 – Диспетчерська система UAS Traffic Management

Ця програма працює в США, Росії та Україні, у ній є офіційні дані про безпілотні зони в країні, так що з її допомогою можна планувати і здійснювати польоти згідно з чинними правилами в Україні. Особливості цього приладу:

- Інформація про повітряну обстановку на великій території;
- Корегування маршрутів в процесі польоту;
- Не потребує встановлення додаткової мережі стаціонарних точок підключення (якщо у пілота є інтернет з'єднання);
- Можливість роботи в єдиному повітряному просторі з цивільною авіацією.

Недоліки:

- Необхідність спеціальних пультів керування;
- Не робить польоти повністю автоматичними (без участі пілота).

1.3 Автоматизована диспетчерська система для БПЛА у Китаї

У Китаї в провінції Гуандун була запущена автоматизована диспетчерська система для БПЛА. Як повідомляє адміністрація цивільної авіації Китаю, система запущена в пілотному режимі. Вона дозволяє ідентифікувати судно, схвалити і скорегувати польотний план. Будь-який оператор дрону зможе пройти реєстрацію в системі та подати заявку на політ у порталі UTMIS (Unmanned Traffic Management Information Services System). Цей портал передбачає організацію управління не тільки БПЛА, а і іншими пристроями в містах, де реалізована автоматизована система «Розумне місто», що дозволяє синхронізувати та контролювати роботу усіх електронних засобів під'єднаних до неї.

На даний момент невідомо, чи буде потрібно зміна в конструкції або програмному забезпеченні дрона, для того що він зміг виконувати укази автоматизованого диспетчера. Однак відомо, що по зареєстрованим даним які надає пілот система буде обмінюватися інформацією з іншими системами, що відповідають за польоти цивільної та військової авіації.

Особливості цього приладу:

- Інформація про приблизну повітряну обстановку на великій території;
- Не потребує інтернет з'єднання;
- Не потребує додаткових налаштувань.

Недоліки:

- Необхідність заздалегідь реєструвати політ;
- Відсутнє корегування маршрутів в процесі польоту;
- Не автоматизує польоти.

1.4 Платформа для керування дронами – FlytGCS

З'єднується з вашим безпілотником у інтернет-хмарі за допомогою надійної платформи FlytBase. Завантажте програму FlytOS Mobile, щоб

підключити дрон DJI до FlytGCS. Для безпілотників Ardupilot / PX4 підключення через бортовий контролер.

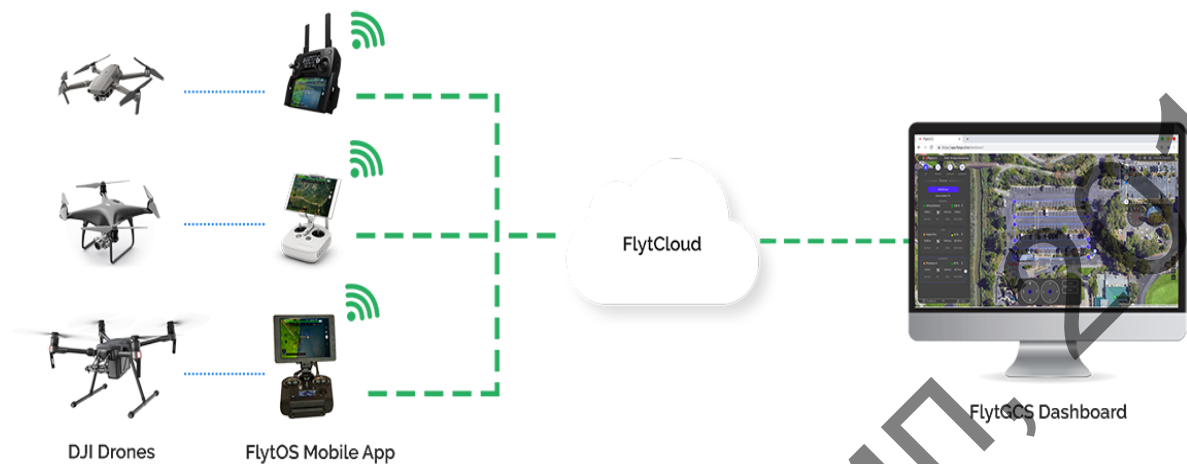


Рисунок 1.3 – Блок-схема роботи платформи для керування дронами – FlytGCS

За допомогою цієї системи можна локально організувати польоти дронами на підприємстві. Не є обов'язковим для всіх пілотів у конкретному регіоні тому не виключає можливості зіткнень з літальними апаратами, які не використовують цю систему.[6]

Особливості цього приладу:

- Точна інформація про повітряну обстановку зареєстрованих БПЛА;
- Не потребує додаткових пристроїв;
- Може записувати дані польоту, відео у інтернет-хмару (сховище).

Недоліки:

- Платний додаток;
- Корегує польоти тільки відносно зареєстрованих дронів у цій програмі;
- Не виключає можливість зіткнення з іншими не зареєстрованими дронами.

1.5 Система зв'язку з дроном C-BAND

Турецька компанія Meteksan яка спеціалізується на виготовленні продуктів спецзв'язку для оборонної промисловості систему управління і зв'язку з БПЛА.[7]



Рисунок 1.4 – Наземна станція зв'язку з дроном системи C-BAND

Інженерами цієї компанії було використано напрацювання схожих систем для протитанкових ракет OMTAS і UMTAS, зенітних ракетних комплексів Hırsar-O, а також крилатих ракет дальнього радіусу дії SOM.

Система передачі даних забезпечує прямий зв'язок між безпілотним літальним апаратом і наземною станцією управління. Система передає команди БПЛА з наземної станції управління, а також інформацію про стан і корисне навантаження дрона на наземну станцію.

Подібна система повинна володіти великою швидкістю передачі даних, бути надійною з точки зору безперебійності зв'язку та безпечною — з точки зору збереження конфіденційності даних.

Система виробництва компанії Meteksan володіє всіма зазначеними перевагами і являє собою одне із надійніших рішень. Але все ж таки має вагомі недоліки: великі габарити, що затруднює транспортування та відносно зі схожими системами потребує багато часу на приведення у робоче положення. Крім того систему у робоче положення має встановлювати, який складається з 4-х людей. Система має значно більшу ціну ніж у аналогів, та найпоширеніший недолік, це використання прямого каналу зв'язку між пілотом та БПЛА, що значно затруднює польоти на великі відстані в одну сторону.

1.6 Висновки за розділом

Загалом диспетчерські системи для БПЛА та їх аналоги у світі розвиваються, та існує різноманітність шляхів їх реалізації. Але все ж таки через їх новизну у світі вони мають багато недоліків: необхідність переобладнання пульта ДК, встановлення сторонніх програм, використання додаткових технічних засобів. Головний спільний недолік — залежність систем від пульта дистанційного управління. Тим самим, це не відмінняє необхідності організації стабільного радіо зв'язку між дроном та наземним пультом керування.

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Для організації зв'язку між БПЛА та сервером варто застосовувати радіоканал. Існує безліч бездротових технологій які можуть бути застосовані у розроблюваній системі, тому варто провести їх аналіз та обрати кращі варіанти згідно з поставленим технічним завданням.

2.1 Аналіз каналів зв'язку

Технологія мобільного зв'язку 5G має високу швидкість передачі даних (1Гбіт/с) з низьким рівнем шуму, але вона не може працювати на великих відстанях і крім того, ще не набула поширення в Україні та країнах Європи [8].

Wi-Fi з частотою 5,8 ГГц підтримує швидкість інтернет-з'єднання до 6.77 Гбіт/с, це є надзвичайно хорошим показником швидкості бездротової передачі даних, до того цей частотний діапазон менше завантажений іншими пристроями, тому присутньо менше завад, але через високу радіочастоту погано долають перешкоди і тому постають ті ж проблеми, що і у технології мобільного зв'язку 5g – погана дальність прийому і передачі даних (до 100м) [8].

Технологія Bluetooth ідеально підходить для коротких відстаней (до 15 м), має низьке енергоспоживання, але через малу дальність ця технологія не підходить для організації зв'язку між безпілотником і базовою станцією.

Технологія Wi-Fi на частоті 2,4 ГГц є загальною частотою для використання сучасними безпілотниками. Забезпечує дальність зв'язку у 5 км, має хороші показники електромагнітної завадостійкості. Але його недолік полягає в тому, що існує багато пристроїв, які працюють на такій частоті, що спричиняє погіршення зв'язку і як наслідок зменшує дальність дії цієї технології бездротового з'єднання. Але якщо в ході польоту використовувати гаряче перемикання між точками доступу Wi-Fi, буде

можливість мінімізувати затримку передачі даних та мати стабільний зв'язок з сервером.

Технологія Wi-Fi з частотою 1,3 ГГц через можливість організації зв'язку на великі відстані може бути кращим варіантом, але ця частота заборонено в ЄС [8].

LTE має достатнє покриття для організації польотів БПЛА майже по всій країні (Україна) (98%), тож можна отримати зв'язок у будь-якому населеному пункті. Але з негативного — це затримка, яка може досягати 500 мс. Швидкість LTE дозволяє нам передавати HD відео. Він має хороший захист від завад [9].

Використання технології LoRa характеризується низьким енергоспоживанням. Система має середню дальність 15 км від мобільної станції (МС) до базової станції (БС), працює аналогічно LTE (необхідне покриття на території, де планується використовувати дану технологію). При частоті 864 МГц забезпечується швидкість інтернет-з'єднання до 300 кбіт/с, що є достатньою швидкістю для передачі телеметричних даних та корегування маршруту БПЛА по точках [10].

Існують також інші технології (Zigbee, zwave тощо), але їм не вистачає ні швидкості, ні дальності передачі.

Критеріям які поставлені у технічному завданні відповідають технологія Wi-Fi з частотою 2,4 ГГц, LTE та LoRa. Тому для організації системи передачі даних для безпілотного літального апарата оберемо саме ці три технології бездротового зв'язку.

2.2 Висновки за розділом

Виходячи з критерій які були поставлені в ТЗ, у цьому розділі розглянуті і обрані технології для використання у розроблюваній системі зв'язку з безпілотними літальними апаратами. Такими важливими вимоги до системи є відстань, на якій слід забезпечити стійке з'єднання (15 км), захист передачі даних від затримки отримання інформації, (затримка менше 1 секунди), вага

та розміри приладу (до 200 г), діапазон робочої температури експлуатації (від -40 до +85 ° C), енергоспоживання (не більше 500mAh), сумісність з іншими компонентами системи та відповідність стандартам CE.

Відповідно до цих вимог обрано 3 технології (LTE, Wi-Fi, LoRa) для забезпечення стабільної роботи на різних відстанях та при різних радіоумовах. Через яку саме систему в конкретний момент часу треба здійснювати зв'язок буде обирати контролер зв'язку на основі програмного алгоритму.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Розглянувши можливі канали радіозв'язку та обравши ті, які відповідають оптимальним рішенням, необхідно визначити задачі для подальшої роботи над схемотехнічною частиною.

3.1 Обґрунтування схемотехнічного виконання

Завдяки новим регламентам ЄС [2] по запуску космічної програми кожен безпілотною повинен транслювати телеметричні дані та ідентифікаційні дані на сервер, щоб забезпечити операції з декількома автоматизованими БПЛА.

Тож першочергове призначення пристрою — стабільна передача телеметричних і ідентифікаційних даних БПЛА. Наступна — організація можливості прокладання та зміни маршруту польоту дрона по заданих координатах. Додатково, при стабільному високошвидкісному інтернет-з'єднання необхідно організувати можливість передачі відеосигналу з БПЛА.

Для виконання поставлених задач необхідно включити в систему наступні елементи:

- LTE модуль для організації інтернет-зв'язку з БПЛА за допомогою мережі стільникового зв'язку;
- Wi-Fi модуль для організації можливості з'єднання дрона з інтернетом за допомогою стаціонарних декількох базових станцій (точок) Wi-Fi, встановлених вздовж траєкторії польоту БПЛА;
- Модуль LoRa для організації з'єднання наземного сервера з БПЛА в польоті;
- Контролер зв'язку, за допомогою якого виконується формування пакетів даних для їх відправка, роботи алгоритмів організації комутації сигналів з модулями зв'язку;
- Польотний контролер дрона;
- Відеокамера.

3.2 Аналіз структурної схеми

Розглянувши існуючі аналоги та визначившись із функціями системи, розробимо структурну схему системи зв'язку з БПЛА.

Отже, актуально організувати стабільний багатоканальний зв'язок з безпілотником, аби передавати дані на великі відстані в обидва боки (на його вхід та його вихід) сервера без будь-яких перерв в часі. Основними функціями цієї програми є передача телеметричних даних, організація управління польоту та передача відеосигналу з дрона. Схема організації польотом та передачею відеосигналу представлена на рисунку 3.1

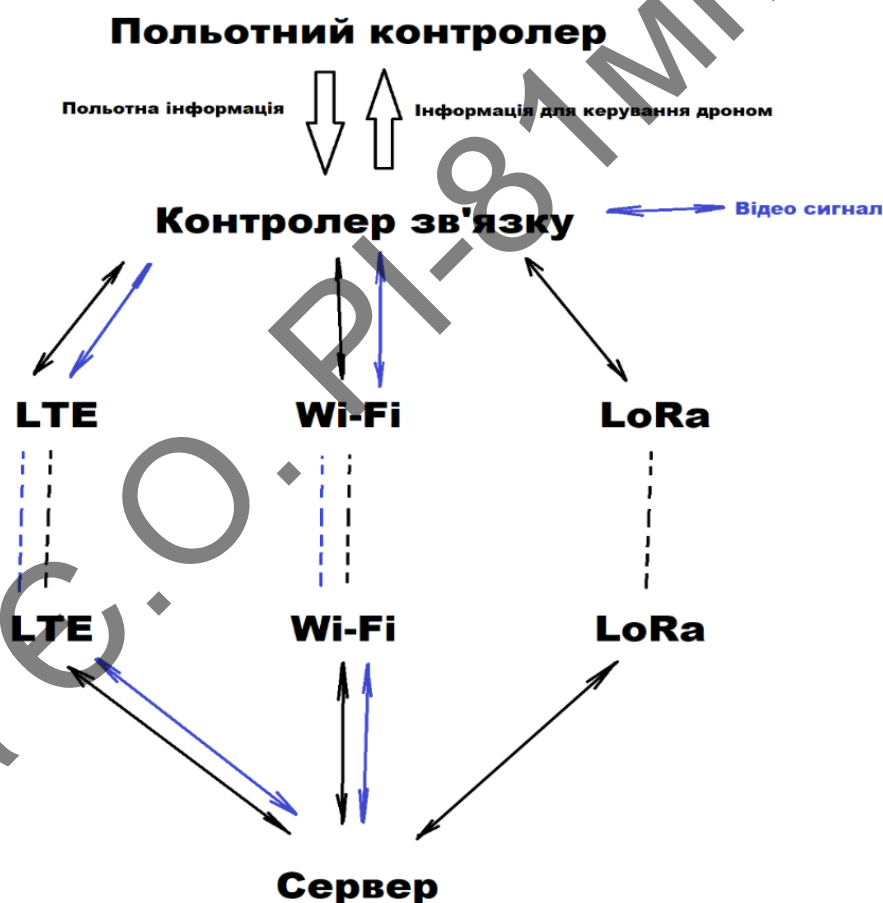


Рисунок 3.1 — Схема роботи компонентів

Схема містить логічні зв'язки між польотним контролером, контролером зв'язку та наземним сервером. Основою будь-якого БПЛА є польотний контролер, який керує роботою усіх систем: двигунів, дальномірів, отримує

інформацію з модулів системи глобального позиціонування, акселерометрів, гіроскопів, давачів ультразвукового та візуального позиціонування, отримує та оброблює сигнал з модуля радіозв'язку і т.д. Тому розроблена схема організації польотом та передачею відеосигналу включає в себе польотний мікроконтролер для управління усіма системами та прийняття рішень щодо польоту. Саме з цього мікроконтролеру необхідно транслювати телеметричні дані на сервер та передавати на нього команди щодо польоту. Отримувати телеметричні данні та віддавати польотну інформацію має контролер зв'язку, до якого під'єднуються усі модулі зв'язку (LTE, Wi-Fi, LoRa) та відеокамера.

Цей контролер в залежності від швидкості з'єднання має визначати канал зв'язку яким варто здійснювати прийом та передачу даних. Крім передачі телеметричних даних на сервер передбачена передача відео з бортової камери, а також організація можливості корегування маршруту по точкам, що забезпечується під'єднанням контролера зв'язку до польотного контролеру.

3.3 Вибір компонентів.

Для побудови приладу використаємо компоненти (модулі), які скомпоновані в єдину систему. На сучасному ринку представлено декілька варіантів кожного з модулів, але всі вони мають ті чи інші відмінності, переваги і недоліки. Тому для того, щоб обрати компоненти, які оптимально підходять до системи, що розробляється, проведемо огляд існуючих рішень, оцінюючи принципово важливі критерії, такі як потужність, швидкість передачі даних, розміри модулів, їх вагу, вартість.

Нижче наведена таблиця модулів LTE та їх критеріїв на основі яких оберемо кращий модуль для побудови системи передачі даних для безпілотного літального апарата.

Таблиця 3.1 — Вибір модулю LTE

LTE модуль							
№	Назва	Номер частотних груп	Вага, г	Розмір, мм	Швидкість, Мбіт/сек	Ціна, \$	Живлення В/мА
1	HOT CATM1 EMTС NB	3	8	24×24×2,6	M1 (up to 0,375 , down to 0,3)	33	3.3/150
2	NL-SW-LTE-TEUG	3; 7; 20; 38	8	29×33.6×10,7	3 (up to 100, down to 50)	182	3.9/1500
3	SIM7600E-H LTE	1; 3; 5; 38	8	24×24×2,6	4 (up to 150, down to 50)	44	4.2/500
4	Huawei E3372h USB модем 4G LTE	3; 7; 20	50	88×28×11,5	4 (up to 150, down to 50)	49	5/500

Модуль LTE був обраний відповідно до наступних критеріїв:

- 1) Можливість працювати в європейських частотних групах (3; 7; 20)
- 2) Розміри і вага (88×28×11,5 мм; 50г)
- 3) Швидкість (до 10 Мбіт/с, до 5 Мбіт/с)

Найкращим, що відповідає всім критеріям, є USB-модем Huawei E3372h 4G LTE (рисунок 3.2). Він має наступні характеристики: працює в частотних групах, які прийняті в Україні та Європі, а саме 3; 7; 20, має вагу 50г, забезпечує швидкість інтернет-з'єднання до 150 Мбіт/сек, потребує живлення вольт зі струмом 500 мА, що забезпечується живленням від контролеру зв'язку і серед розглянутих варіантів має помірну ціну у 49 доларів США.



Рисунок. 3.2 — USB-модем Huawei E3372h 4G LTE

Для побудови приладу нижче представлені характеристики модулю LoRa який обрано нами для організації радіозв'язку в системі, що розробляється.

Призначення модулю – забезпечення інтернет-з'єднання БПЛА з сервером за допомогою технології LoRa.

Таблиця 3.2 — Вибір модулю LoRa

Модуль LoRa						
№	Назва	Дальність, км	Ціна \$	Швидкість, кбіт/сек	Вага, кг	Розмір, мм
1	GAMMA-868	16	25	9.6	0.026	51×20×5
2	NiceRF LoRa611AES 100mW TTL	5	35	17	0.05	62×32,6× 9,3

Продовження таблиці 3.2

Модуль LoRa						
№	Назва	Дальність, км	Ціна \$	Швидкість, кбіт/сек	Вага, кг	Розмір, мм
3	PICTAILPLUS LORA BOARD RN2483	15	66.95	300	0.02	50.8×24.5
4	DEMO BOARD RN2483 LORA MOTE	15	72.09	300	0.02	17.8×26.7×3

Модуль LoRa був обраний відповідно до наступних критеріїв:

- 1) Дальність (більше 10 км)
- 2) Швидкість (50 кбіт/с)
- 3) Розміри і вага (100×80 мм, 30г)

Найкращий, який відповідає всім критеріям – модуль RN2483 LORA MOTE.



Рисунок. 3.3 — модуль RN2483 LORA MOTE

Найкращим, що відповідає всім критеріям, є модуль RN2483 LORA MOTE (рисунок 3.3). Він має наступні характеристики: радіус дії до 15км, швидкість інтернет-з'єднання до 300 кбіт/с, вага 0.02 кг, розміри 17.8×26.7×3 мм

Для побудови приладу нижче представлені характеристики модулю Wi-Fi який обрано нами для організації радіозв'язку в системі, що розробляється. Даний канал зв'язку є резервним на випадок погіршення або унеможливлення здійснення передачі інформації за допомогою модуля LTE.

Призначення модулю – забезпечення інтернет-з'єднання БПЛА з сервером за допомогою технології Wi-Fi

Таблиця 3.3 – Вибір модулю WiFi

Wi-Fi модуль							
№	Назва	Потужність дБм	Швидкість, Мб/сек	Ціна, \$	Вага, г	Споживання, В/мА	Розміри, мм
1	ESP8266 WIFI Modul ESP-07	20	72.2	5	3	3.3/80	16×21.2×3
2	XB2B- WFUT-001	16	72.2	29	3	3.3/309	24.3×32.94×3
3	ISM43362- L36-U	17	72.2	10	1	3.3/350	24.38×15.26×3

Модуль Wi-Fi був обраний відповідно до критеріїв підключення:

- 1) Вихідна потужність (20 дБм)
- 2) Швидкість (5 Мбіт / с)
- 3) Розміри і вага (100х80, 30г)
- 4) Споживання енергії 3.3в/80мА

Найкращим, що відповідає всім критеріям, є модуль Wi-Fi ESP8266

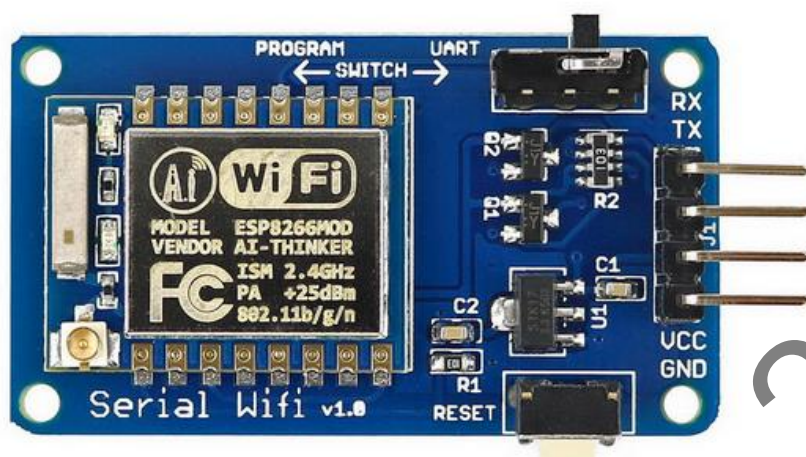


Рисунок 3.4 – ESP8266 Wi-Fi модуль ESP-07

На відміну від інших модулів, які під'єднуються до контролеру за допомогою USB інтерфейсу, цей модуль необхідно приєднувати через порт UART.[11]

Таблиця 3.4 — Вибір польотного контролеру

Мікроконтролер зв'язку							
№	Назва	Тактова частота, МГц	Флеш пам'ять, кбіт	швидкість USART/UART, Мбіт/сек	Ціна, \$	Вага, кг	Пам'ять SRAM, кбіт
1	STM32F410RB	100	128	3 (2×12.5, 1×6.25)	13.83	0.078	32
2	STM32F411RE	100	512	3 (2×12.5, 1×6.25)	13.83	0.078	128
3	STM32F401RE	84	512	3 (2×10.5, 1×5.25)	13.83	0.077	96
4	STM32F446RE	180	215	4 (11.25)	14.90	0.077	128

Щодо мікроконтролера є два варіанти. По-перше, розробляємо цей пристрій як незалежний, який можна встановити в безпілотник. Для цього

найкращим мікроконтролером буде STM32F4 або з використанням Nucleo-F401RE.

Але також є можливість інтегрувати цей пристрій у безпілотник, щоб все управлялося одним мікроконтролером. У цьому випадку найкращим варіантом є Raspberry Pi.



Рисунок 3.5 — Raspberry Pi

Raspberry Pi є кращим рішенням через можливість використовувати різні модулі, та додавати нові функції. Цей принцип гнучкості вможливорює пристосування виробничого процесу до змін економічних, організаційних умов, а також конструктивно-технологічних вимог до продукції, що виготовляється. Він забезпечує скорочення часу і витрат на переналагодження устаткування під час випуску деталей і виробів широкої номенклатури.[12]

3.4 Розрахунок масогабаритних характеристик приладу

Згідно технічного завдання габарити пристрою мають бути не більше ніж $70 \times 70 \times 100$ мм. Для розрахунку габаритів обираємо розташування модулів у пристрої з врахуванням товщини стінок корпусу.

Розташуємо модулі у корпусі за схемою, коли модулі знаходяться над мікроконтролером. Це мінімізує об'єм гаджету та оптимізує теплообмін

модулів (рисунок 3.4). 3D модель корпусу змодельована за допомогою програми SolidWorks [13].

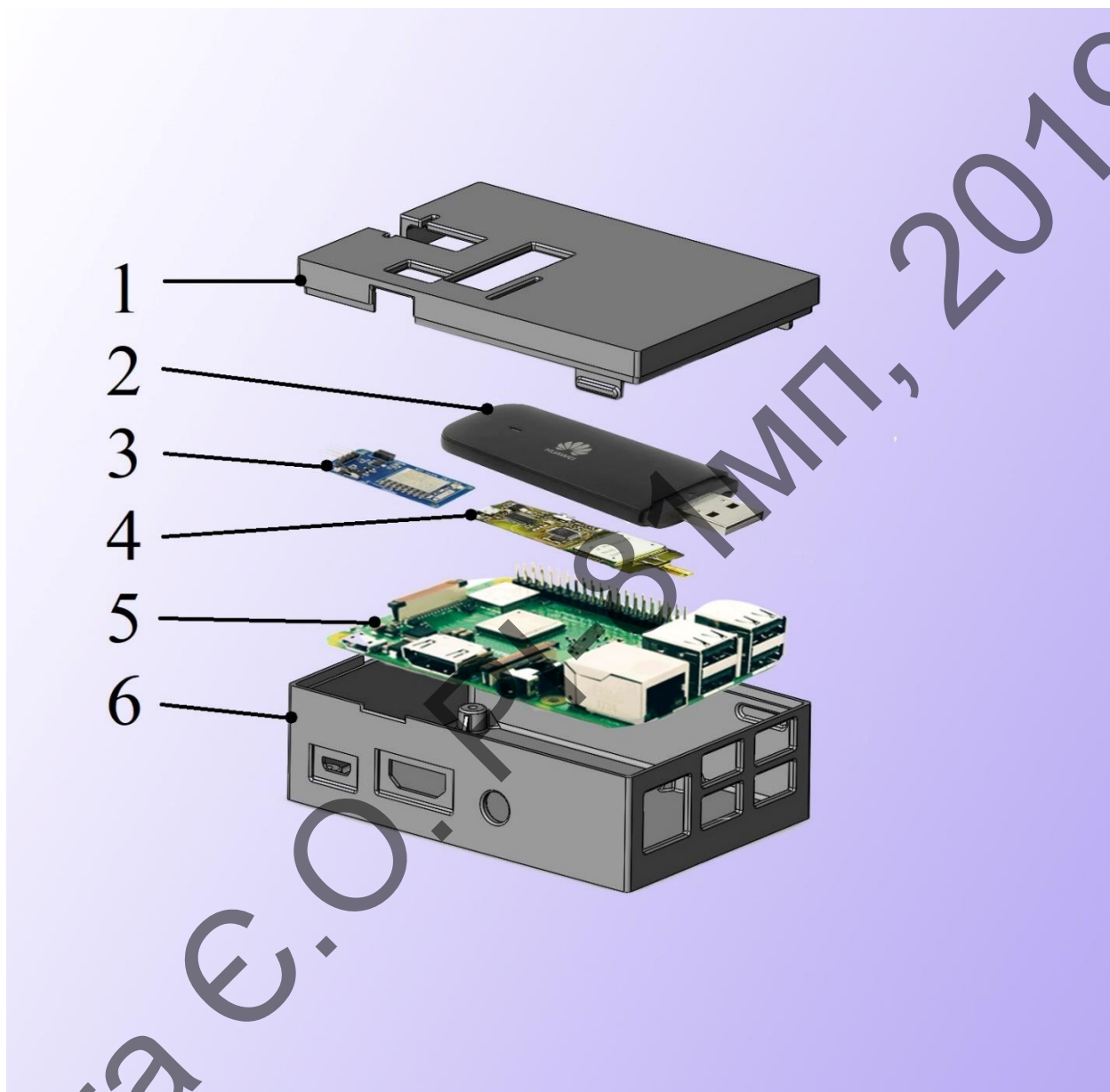


Рисунок 3.4 — Схема розміщення елементів, де 1 – кришка корпусу;

2 – LTE модуль; 3 – модуль Wi-Fi; 4 — модуль LoRa;

5 – мікроконтролер зв'язку raspberry pi; 6 – корпус.

Контролер фіксується до корпусу за допомогою шурупів 3,5x16 мм, модуль LoRa, Wi-Fi, LTE до верхньої кришки за допомогою кліпс які знаходяться під нею. Модулі LTE та LoRa під'єднуються за допомогою

проводів до портів USB, а Wi-Fi модуль за допомогою роз'єму KK 254 UART. Нижче представлена схема розташування внутрішніх модулів пристрою.

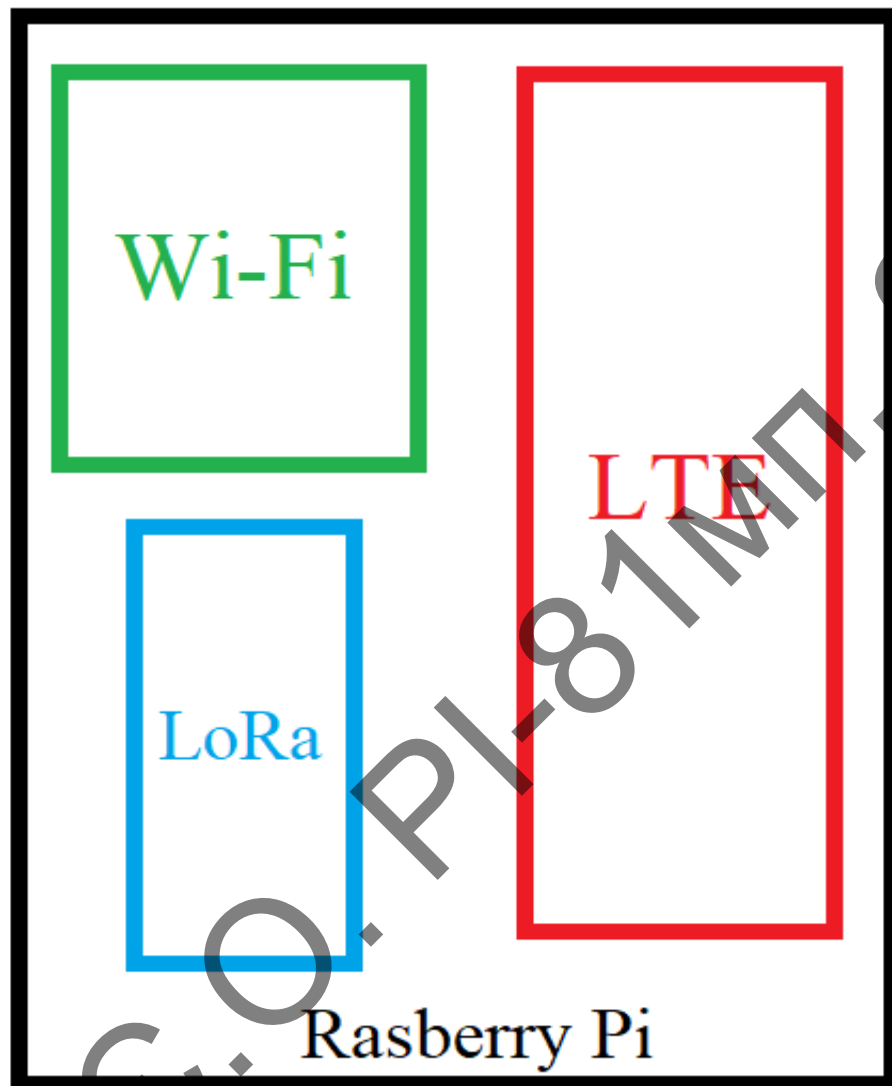


Рисунок 3.5 — Схема розташування внутрішніх модулів

Через те, що найбільший компонент – мікроконтролер raspberry Pi, для розрахунку довжини та ширини корпусу за основу беруться розміри плати контролера, а за висоту прийняти суму висот мікроконтролера та найвищого модуля зв'язку (LTE) і додати товщину стінки корпусу і відстаней для кріплення компонентів. Лінійні розміри компонентів представлені у таблиці нижче (Таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 — лінійні розміри модулів

Назва	Ширина, мм	Довжина, мм	Товщина, мм
Модуль LTE	78	28	11,5
Модуль Wi-Fi	21,2	16	3
Назва	Ширина, мм	Довжина, мм	Товщина, мм
Модуль LoRa	26,7	7,8	3
Контролер зв'язку	85,6	54	17

Тому при обраних розмірах конструкцій $85,6 \times 54 \times 17$ мм – розміри Raspberry Pi і $78\text{mm} \times 28\text{mm} \times 11.5\text{mm}$ – розміри найтовщого компоненту з тих які лишилися — модуля LTE. Товщину стінки корпусу приймемо за 1 мм і товщину простору між компонентами 5мм. Крім того плата не повинна щільно прилягати до стінок корпусу. Тому візьмемо 0.5мм на простір між краями плати та стінками корпусу.

$$85,6 + (1,5 + 0,5) * 2 = 89,6 \text{ мм};$$

89.6 мм — розрахункова довжина корпусу;

$$53,98 + (1.5 + 0.5) * 2 = 57,98 \text{ мм}$$

57,98 мм — розрахункова ширина корпусу;

$$17 + 11,5 + 5 * 3 = 33,5 \text{ мм}$$

33,5 мм — розрахункова товщина корпусу.

Для мікроконтролера Raspberry Pi доцільно використати рішення яке відповідає раніше визначеним масогабаритним характеристикам. У корпусі за допомогою додаткових стійок кліпс та шурупів передбачені кріплення для мікропроцесора та додаткових модулів. Розміри корпусу: 96 мм х 70 мм х 35 мм, що цілком задовольняє допустимим параметрам, вказаним у технічному завданні.



Рисунок 3.6 — Корпус пристрою

Розроблена конструкція приладу являє собою сучасний корпус, який не має жалюзі для охолодження. Має 7 технологічних отворів для роз'ємів та передбачено 2 отвори які можливо утворити при необхідності шляхом видавлювання пластин у боковій стінці корпусу. Не має активних засобів охолодження, що зумовлено тепловим та механічними розрахунками, які наведені у розділі 4

Вагу пристрою розрахуємо сумуючи вагу усіх компонентів, включаючи корпус і додамо 10% на масу елементів кріплення та з'єднувальних проводів.

$$0,05 + 0,02 + 0,003 + 0,064 + (0,05 + 0,02 + 0,003 + 0,064) \times 0,1 = 0,146 \text{ кг}$$

Розрахункова вага пристрою складає 146г, що на 164г менше максимально допустимого згідно ТЗ.

3.5 Вибір способів електричного приєднання друкованої плати і розробка корпусу приладу

Всі з'єднання необхідно виконувати спеціальними роз'ємами для мікроконтролера з фіксуючою «лапкою» для запобігання випадкового роз'єднання. Під'єднувати обрані елементи рекомендується згідно наступної структурної схеми.

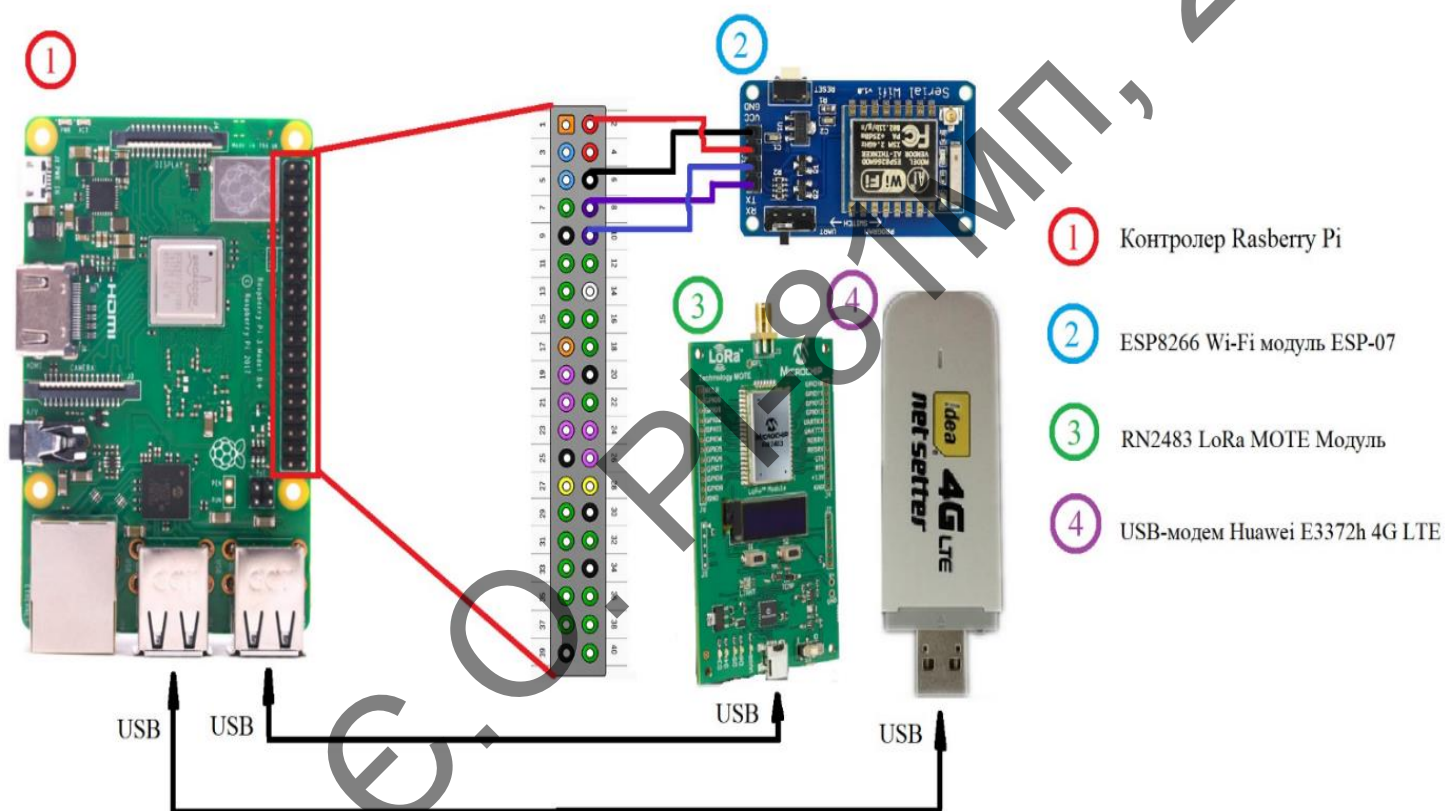


Рисунок 3.7 — Структурна схема приладу

В конструкції використано 3 типи роз'ємів: штирьовий роз'єм KK 254 з кроком контактів 2,54мм; USB type A, micro USB. Роз'єм KK 254 використовується для з'єднання мікроконтролера з модулем Wi-Fi, роз'єм micro USB для електричного з'єднання модуля LoRa, роз'єм Type A для з'єднання модуля LTE з контролером.[14]

3.6 Можливі варіанти закріплення на корпусі БПЛА

Так як в світі існує багато варіантів дронів з різними масогабаритними характеристиками, різними за конструкціями, формами корпусу та матеріалами з яких вони виготовлені, слід передбачити якомога універсальний варіант закріплення пристрою на дрон. За приклад дрону була взята одна з найпоширеніших на даний момент моделей — Dji mavic [15].



Рисунок 3.8 – БПЛА Dji mavic

Цей безпілотник виготовлений з міцного пластику, має знизу сенсори висоти та перешкод. Тому при закріпленні розробленого приладу не можна їх затуляти кріпленнями.

Має наступні масогабаритні характеристики: $322 \times 242 \times 84$ мм (довжина $\times$ ширина $\times$ висота) у розкладеному стані та розміри самого «тіла» — $214 \times 91 \times 84$ мм (довжина $\times$ ширина $\times$ висота). Одним з універсальних, міцних та тих, що займає мінімум місця є кріплення за допомогою стяжок. Тому вирішено використовувати саме цей вид кріплення. Довжина стяжки має бути трохи більшою за периметр двох суміщених

корпусів(корпусу БПЛА та корпусу розробленого пристрою). Тому порахуємо периметр спряжених корпусів і оберемо довжину стяжки серед стандартних типорозмірів.

$$91+84\times 2+70+35\times 2= 399 \text{ мм}$$

Серед стандартних розмірів є стяжка з максимальним периметром охопту 45 см, з максимальним робочим навантаженням 35кг. Нам не потрібна така потужна стяжка, але це найменше робоче навантаження для таких довгих стяжок. [16]



Рисунок 3.9 – Стяжка Fortisflex

Для запобігання сповзання варто кріпити прилад за допомогою трьох стяжок (по краях та у центрі) з використанням резинової прокладки між пристроєм і дроном товщиною 1-2 мм для більш щільного прилягання та зменшення вібраційного впливу. У разі виготовлення БПЛА власноруч, слід передбачити окремий відсік для компонентів системи передачі даних від БПЛА до серверу, або передбачити варіант закріплення запропонованого варіанту корпусу. Нижче показана схема розміщення стяжок для закріплення пристрою на поверхні БПЛА Dji mavic.



Рисунок 3.10 – схема розміщення стяжок для закріплення пристрою на поверхні БПЛА Dji mavic

На рисунку 3.10 зображено варіант розташування стяжок для кріплення приладу на поверхні корпусу БПЛА Dji mavic. Після закріплення пристрою залишок стяжки треба відрізати для запобігання потрапляння цих частин у лопасті при роботі БПЛА.

3.7 Алгоритм роботи пристрою

Одна із основних задач магістерської роботи — це організація неперервного зв'язку під час польоту дрону. Для цього доцільно (необхідно) використовувати кілька систем зв'язку, методи роботи яких базуються на різних принципах та обов'язково на різних радіочастотах. Відповідно до цих вимог нами обрано 3 технології (LTE, Wi-Fi, LoRa) для забезпечення стабільної роботи на різних відстанях та для різних радіоумов. Ця особливість роботи системи в умовах реального польоту дрону викладає додаткові важливі вимоги до інтегральної конструкції всієї системи. Це пов'язано частково з тим, що для оптимального безперебійного зв'язку з

вищевказані технології повинні під час роботи дрону послідовно використовуватися в залежності від радіостану реального повітряного середовища в даний момент польоту. Вибір необхідного варіанту технології зв'язку (LTE, Wi-Fi, LoRa) здійснюється автоматично за допомогою мікроконтролера.

Ці 3 технології організації зв'язку обрані таким чином, аби «охватити» діапазон частот, характерний для місцевостей, де використовується дрон (наприклад центральна частина України) та їх функціональні параметри за швидкість передачі даних, вид кодування та ефективне забезпечення покриття території.

Wi-Fi на частоті 2,4 ГГц є загальною частотою, широко використовується іншими безпілотниками. Забезпечує дальність 5 км, хороші показники електромагнітної завадостійкості. Але його недолік полягає в тому, що існує багато пристроїв, які працюють на такій частоті. Але, якщо використовується Wi-Fi з частотою 2,4 ГГц для підключення до гарячих точок, буде можливість перепідключитися до іншої точки доступу, якщо вона має потужніший сигнал, буде можливість мінімізувати затримку передачі даних та мати стабільний зв'язок з сервером.

LTE має дуже достатнє покриття по всій країні (Україна) (98%), тож можна отримати зв'язок навіть на відстані 30 км (радіус міста). Але з негативного — це затримка, яка може досягати 500 мс. Швидкість LTE дозволяє нам передавати HD відео. Він має хороший захист від завад.

LoRa має низьке енергоспоживання (акумулятор 2000mAh). Система має середню дальність 15 км, працює аналогічно LTE. Забезпечується швидкість з'єднання до 300 кбіт/с.

Алгоритм роботи програмної частини наведений у додатку А.

3.8 Опис роботи програмної частини

Основний принцип це перемикання на інший канал зв'язку, якщо пропадає зв'язок. Для відправки телеметричних даних достатньо швидкості

30 кбіт/сек тоді як для керування польотом і трансляції відео у якості 480p потрібне з'єднання з сервером на швидкості не менше 2 Мбіт/с. Тому головна задача програмного алгоритму обирати найшвидший канал зв'язку шляхом оцінювання швидкості через відправку одиночних перевірочних пакетів даних на сервер і вимірювання швидкості їх передачі.

3.9 Серверна частина

Сервер являє собою комп'ютер під'єднаний до інтернет-мережі і має закріплену за собою статичну IP-адресу. На комп'ютері має бути встановлений програмний продукт Ardupilot Ground control station (GCS), а на мікроконтролер програма для польотів – Ardupilot, за допомогою якої і проводяться налаштування дрону саме його поведінка у разі втрати з'єднання з сервером, режими польоту, режими передачі телеметричних даних [17].



Рисунок 4.1 — інтерфейс програми Ardupilot з програмуванням маршруту польоту

В цій програмі відбувається спостереження за польотом та виводиться зображення з бортової відеокамери.

3.10 Висновки за розділом

У процесі конструювання пристрою прийнято рішення використовувати контролер Raspberry Pi, через можливість підлаштування системи під різні задачі шляхом додавання інших модулів.

Вага пристрою на 167г менше ніж максимально дозволена згідно технічного завдання, що значно зменшить навантаження на двигуни та збільшить час польоту БПЛА.

Завдяки універсальному методу кріплення пристрою до БПЛА значно розширюється спектр дронів, які зможуть використовувати розроблену систему.

Розроблений програмний алгоритм, який відповідає за взаємодію компонентів і систем пристрою, забезпечуючи безперервний зв'язок із сервером без участі оператора БПЛА (за рахунок заміни активних протоколів зв'язку) якісно відрізняється від принципів організації зв'язку серед інших аналогічних пристроїв та систем представлених на ринку.

4 РОЗРАХУНОК, ЩО ПІДТВЕРДЖУЄ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

Для перевірки надійності роботи пристрою потрібно виконати розрахунок працездатності ДП, слід виконати розрахунок, теплового режиму та коефіцієнту витривалості при вібраційних навантаженнях і при ударах. Розрахунки проводяться за допомогою комп'ютерних програм.

4.1 Розрахунки теплового режиму та коефіцієнту витривалості при вібраційних навантаженнях

Розрахунок коефіцієнту витривалості при вібраційних навантаженнях і ударах проводиться з врахуванням механічних характеристик матеріалу ДП та загальної маси ДП з встановленими на ній елементами, також враховується спосіб кріплення плати в корпусі, положення кожного з елементів та параметри механічних впливів, при вібраційних: частота, амплітуда; при ударних: формування ударного імпульсу, його тривалість, ударне перевантаження [18].

Таблиця 4.1 — Параметри механічних впливів

№	Параметр		Значення
1	Вібраційний вплив	частота	70 Гц
2		амплітуда	0,1 мм
3		віброперевантаження	2
4		тривалість	0,5 год
5	Ударний імпульс	тривалість	20 мс
6		амплітуда	1
7		число ударів	5
8		форма	прямокутна

Розрахунки частотних і амплітудних параметрів наведений у додатку Б.

Власна частота плати становить 112 Гц, мінімальний коефіцієнт запасу витривалості матеріалу плати відносно межі витривалості 33 МПа при вібраційних навантаженнях становить 24, а при ударах 19.

При тепловому розрахунку потрібно врахувати тепловіддачу елементів з найбільшою тепловіддачею. Розрахунки теплового режиму та надійності роботи наведені в додатку Б. Згідно розрахунків теплового режиму імовірність безвідмовної роботи пристрою для 100 000 годин складає 0,96, що є доволі високим показником [19].

4.2 Висновки за розділом

Результати розрахунків вібраційних та ударних навантажень, а також розрахунків теплового режиму задовольняють вимоги поставлені у технічному завданні. Але через те, що у результаті роботи двигунів БПЛА, виріб постійно буде піддаватися вібраційним впливам, у конструкції слід передбачити віброзахисну прокладку між БПЛА, та бортовим пристроєм системи зв'язку БПЛА з сервером.

5 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Одним із каналів зв'язку вибраний мобільний зв'язок стандарту LTE. Так як оператори мобільного зв'язку зацікавлені у стабільному високошвидкісному з'єднанні орієнтовно на поверхні землі та на невеликих висотах (будинках, необхідно провести оцінку стабільності зв'язку та швидкості сигналу на висоті польотів БПЛА. У відповідності з постановою Держававіаслужби України без інформування відповідних органів та отримання дозволів дозволяються польоти БПЛА вагою до 20 кг на висоті до 120 м. Тож на цих висотах для правильної роботи нашої системи забезпечення стабільного (відповідно системи Інтернет) сигналу є обов'язковим, в першу чергу будемо досліджувати саме цей діапазон висот. Наразі в Україні не прийняті чіткі правила використання БПЛА. Тому також описана методологія дослідження та побудови мапи швидкостей Інтернету для ділянки експлуатації БПЛА.

5.1 Залежність швидкості Інтернету від параметрів радіосигналу

На швидкість мобільного Інтернету впливає дуже багато чинників, але в остаточному результаті вона залежить від якості сигналу, що приймається, та від завантаженості абонентської мережі.

Індикатором якості каналу є параметр CQI (Channel Quality Indicator), він є відношенням CQI (Carrier to Interference + Noise Ratio це відношення рівня сигнал/шум дБ) до RSRP (Reference Signal Received Power) – параметр якості опорного сигналу, який відправляє абоненту базова станція. Залежно від необхідної для UE (User Equipment) швидкості передачі даних базовою станцією приймається рішення про кількість ресурсних блоків, що виділяються для того чи іншого користувача. Які саме частотні блоки виділити користувачеві, залежить від індикатора CQI. Користувачам виділяються ті ресурсні блоки, які мають найвищий CQI, а значить, найкраще співвідношенням сигнал/шум. [20]

CQI може приймати значення від 0 до 15. Значення рівне 0 означає, що абонент не отримує ніяких сигналів або канал вийшов із ладу. Чим вище значення, тим краще (тим вище швидкість, яку може виділити базова станція LTE).

$$CQI = \frac{CINR}{RSRP}, \quad (5.1)$$

- Де, RSRP — середнє значення потужності прийнятих пілотних сигналів дБм;
- CINR – відношення рівня сигнал/шум дБ.

При значеннях RSRP = -120 dBm і нижче LTE-підключення може бути нестабільним або взагалі не встановлюватися.

В залежності від параметру CQI обирається тип модуляції, вид кодування, у зв'язку з тим аби, не зважаючи на якість сигналу, інформація дійшла до абонента, але при цьому зменшується швидкість з'єднання.

Тип модуляції і вид кодування обираються системою автоматично в залежності від параметру CQI у відповідності до таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Тип модуляції і вид кодування в залежності від CQI

CQI Індекс	Тип модуляції x 1024	Коefіцієнт швидкості кодування
0	—	—
1	QPSK	0.77
2	QPSK	0.12
3	QPSK	0.19
4	QPSK	0.3
5	QPSK	0.44
6	QPSK	0.59

Продовження таблиці 5.1

CQI Індекс	Тип модуляції x 1024	Коефіцієнт швидкості кодування
7	16QAM	0.37
8	16QAM	0.48
9	16QAM	0.6
10	64QAM	0.46
11	64QAM	0.55
12	64QAM	0.65
13	64QAM	0.75
14	64QAM	0.85
15	64QAM	0.93

Для того, щоб відслідкувати залежність швидкості передачі від індексу CQI, побудуємо графік. Для цього розрахуємо швидкість для кожного із 15-ти можливих індексів. Також крім якості каналу (CQI) врахуємо ширину каналу та завантаження мережі.[21]

Ширину смуги каналу обираємо згідно 3GPP специфікаціям. Ширина смуги каналу в мережі LTE може бути 1.4; 3; 5; 10; 15; 20 МГц. Чим більше ширина каналу, тим вищі швидкості передачі даних можна досягти. Весь доступний діапазон частот розбивається на частини, відповідно ресурсним блокам (Resource Blocks, RB). Нижче наводиться таблиця для визначення кількості доступних ресурсних блоків в залежності від ширини каналу.

Оператор мобільного зв'язку сигнал якого ми будемо вимірювати використовує ширину каналу в 15 МГц, тому її ми візьмемо для розрахунків.

Таблиця 5.2 – Кількість ресурсних блоків в залежності від ширини каналу

	Ширина каналу, МГц					
	1.4	3	5	10	15	20
Кількість ресурсних блоків	6	15	25	50	75	100

Задаємо якість радіоканалу. Для розрахунку пропускної здатності потрібно визначити номер модуляційно-кодової схеми (MCS Index). Номер модуляційно-кодової схеми залежить від стану радіоканалу. У каналі LTE, зазвичай, цей номер визначається значенням CQI. Однак, таблиця для перерахунку CQI в номер модуляційно-кодової схеми задається виробником обладнання і є закритою інформацією. Тому порохуємо дані по наступній таблиці (таблиця 5.3) і співставимо значення CQI з даними на графіку.[22]

Таблиця 5.3 – індекс TBS та вид модуляції в залежності від індексу MCS

MCS Index	Модуляція	TBS Index
0	QPSK	0
1		1
2		2
3		3
4		4
5		5
6		6
7		7
8		8
9		9
10	16QAM	10
11		11
12		12
13		13
14		14
15		15
16		15

MCS Index	Модуляція	TBS Index
17	64QAM	15
18		16
19		17
20		18
21		19
22		20
23		21
24		22
25		23
26		24
27		25
28		26
29	QPSK	Reserved
30	16QAM	
31	64QAM	

TBS означає Transport Block Size, тобто розмір транспортного блоку.

Цей розмір визначає скільки даних (в бітах) може бути передано в одному ТТІ за 1мсек.

Тобто ширина каналу – 15 Мгц з Таблиці 2 бачимо, що кількість ресурсних блоків має бути 75

З таблиці 5.3 оберемо для прикладу MCS Index = 28 Відповідний індекс TBS = 26.

Максимальну швидкість на основі наведених даних знаходимо, виходячи з таблиці розмірів транспортного блоку (таблиця 5.4), приведеної в описі стандарту LTE (3GPP TS 36.213 version 8.3.0 Release 8).

Таблиця 5.4 – Таблиця розмірів транспортного блоку в бітах

I_{TBS}	N_{PRB}									
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
0	1992	1992	2024	2088	2088	2088	2152	2152	2216	2216
1	2600	2600	2664	2728	2728	2792	2792	2856	2856	2856
2	3240	3240	3240	3368	3368	3368	3496	3496	3496	3624
3	4136	4264	4264	4392	4392	4392	4584	4584	4584	4776
4	5160	5160	5160	5352	5352	5544	5544	5544	5736	5736
5	6200	6200	6456	6456	6712	6712	6712	6968	6968	6968
6	7480	7480	7736	7736	7736	7992	7992	8248	8248	8248
7	8760	8760	8760	9144	9144	9144	9528	9528	9528	9912
8	9912	9912	10296	10296	10680	10680	10680	11064	11064	11064
9	11064	11448	11448	11832	11832	11832	12216	12216	12576	12576
10	12576	12576	12960	12960	12960	13536	13536	13536	14112	14112
11	14112	14688	14688	14688	15264	15264	15840	15840	15840	16416
12	16416	16416	16416	16992	16992	17568	17568	17568	18336	18336
13	18336	18336	19080	19080	19080	19848	19848	19848	20616	20616
14	20616	20616	20616	21384	21384	22152	22152	22152	22920	22920
15	22152	22152	22152	22920	22920	23688	23688	23688	24496	24496
16	22920	23688	23688	24496	24496	24496	25456	25456	25456	26416
17	25456	26416	26416	26416	27376	27376	27376	28336	28336	29296
18	28336	28336	29296	29296	29296	30576	30576	30576	31704	31704
19	30576	30576	31704	31704	32856	32856	32856	34008	34008	34008
20	32856	34008	34008	34008	35160	35160	35160	36696	36696	36696
21	35160	36696	36696	36696	37888	37888	39232	39232	39232	40576
22	37888	39232	39232	40576	40576	40576	42368	42368	42368	43816
23	40576	40576	42368	42368	43816	43816	43816	45352	45352	45352
24	43816	43816	45352	45352	45352	46888	46888	46888	48936	48936
25	45352	45352	46888	46888	48936	48936	48936	51024	51024	51024
26	52752	52752	55056	55056	55056	55056	57336	57336	57336	59256

При використанні в мережі LTE технології MIMO2x2, отримане значення швидкості треба помножити на 2

На основі отриманих значень будемо графік і його криву співставляємо зі шкалою CQI для знаходження значень швидкостей від CQI графічним методом.

Використовуючи ці числа маємо кількість переданої інформації $TBS = 48936$ біт. Швидкість передачі – 48.936 Мбіт/с Будемо враховувати використання технології дуплексного зв'язку MIMO 2x2 Звідси отримуємо максимальну швидкість передачі даних – $97,872$ Мбіт/с

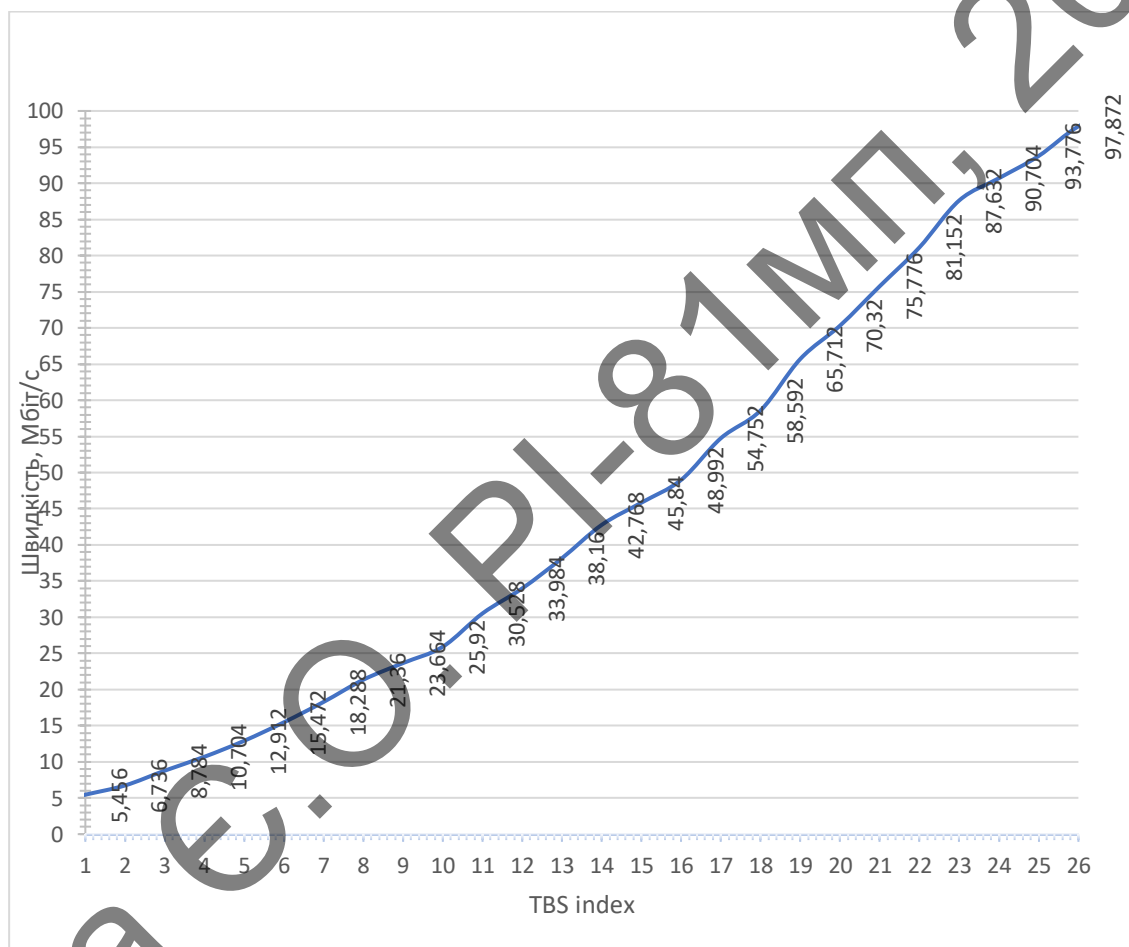


Рисунок 5.1 – Графік залежності швидкості інтернет-з'єднання від індексу TBS

Замінивши нижню шкалу, можемо вивести залежність максимальної швидкості Інтернету від індексу CQI

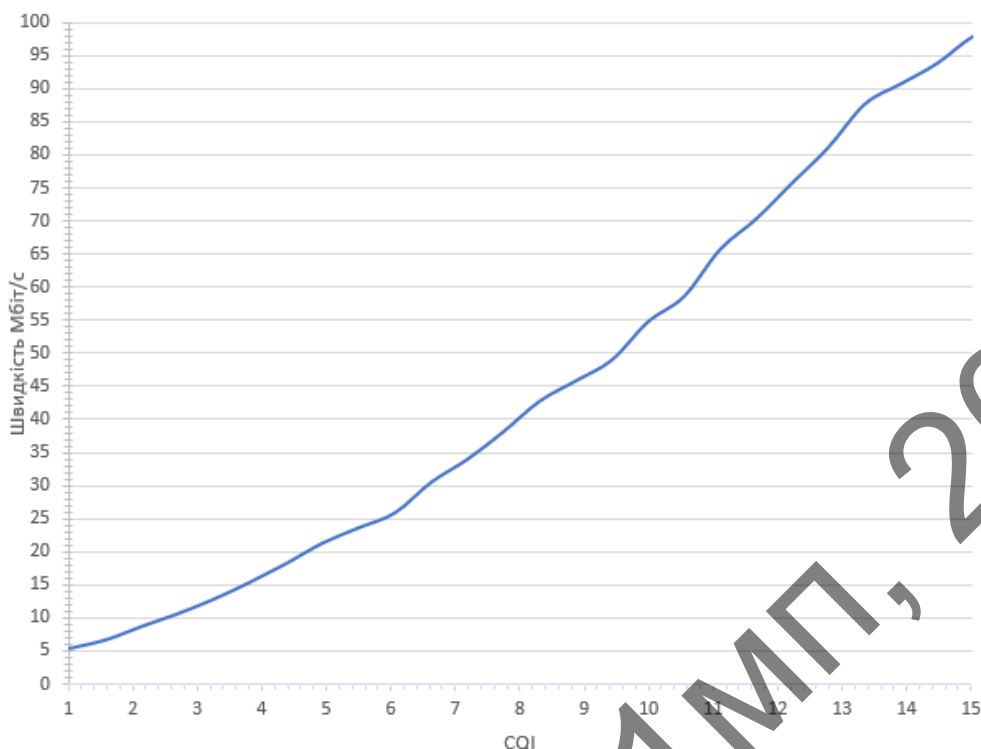


Рисунок 5.2 – Графік залежності швидкості інтернет-з'єднання від індексу CQI

З побудованого графіку залежності швидкості інтернету від CQI можемо оцінювати максимальну швидкість інтернету. Цей графік не враховує завантаженість мережі, та інші фактори, тому слід враховувати, що виміряні значення швидкості інтернет-з'єднання будуть нижчими.

5.2 Експериментальне дослідження потужності опорного сигналу в залежності від розташування базових станцій (територія КПП ім. Ігоря Сікорського)

Тепер можемо порівняти розраховані значення з виміряними, побудувати карту швидкості інтернет-з'єднання на різних висотах території кампусу КПП ім. Ігоря Сікорського спираючись на виміряні данні.

Вимір швидкості інтернету проводилися 3 рази(в день увечері і вночі) на трьох різних діапазонах висот території кампусу КПП ім. Ігоря Сікорського.

Вимірювання проводилися за допомогою додатку «Network Cell Info» на смартфоні Xiaomi mi 9 Lite. У пішому режимі рухалися за маршрутом по зазначеним нижче точкам з увімкненим додатком в режимі запису даних. Для

отримання вимірюваних значень на висотах, застосовувався цей самий смартфон зафіксований на дроні «DJI mavic», який пролітав в межах зазначених висот за цим самим маршрутом. Географічні точки в яких проводилися вимірювання вказані на рисунку 5.3

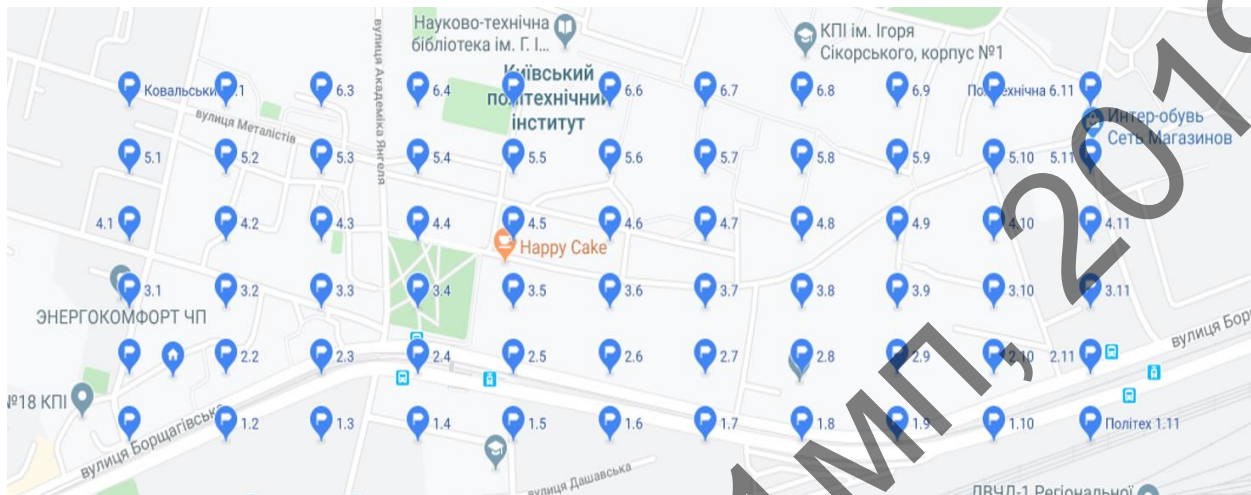


Рисунок 5.3 — Карта географічних точок, на яких проводилися вимірювання

На основі проведених вимірювань були отримані середньодобові значення швидкості інтернет-з'єднання у досліджуваних точках. Дані для різних діапазонів висот наведені у таблицях нижче.

Таблиця 5.5 – Середньодобові значення швидкості інтернет-з'єднання на діапазоні висот від 0 до 40м, виміряні дані наведені у Мбіт/с

			Широта, градуси					
			1	2	3	4	5	6
			50,445693	50,44636	50,44702	50,44769	50,44835	50,44902
Довгота, градуси	1	30,44850	25	25	22	24	23	24
	2	30,45025	30	33	25	30	25	26
	3	30,45200	33	38	33	33	27	29
	4	30,45375	38	41	37	35	32	35
	5	30,45550	39	40	40	36	36	41
	6	30,45725	36	38	36	35	39	39
	7	30,45900	32	34	35	32	41	36
	8	30,46075	30	30	35	30	39	31
	9	30,46250	25	28	28	35	36	35
	10	30,46425	23	26	25	31	40	38
	11	30,46600	28	30	29	32	42	40

Таблиця 5.6 – Середньодобові значення швидкості інтернет-з'єднання на діапазоні висот від 40 до 80м, виміряні дані наведені у Мбіт/с

			Широта, градуси					
			1	2	3	4	5	6
			50,445693	50,44636	50,44702	50,44769	50,44835	50,44902
Довгота, градуси	1	30,44850	28	27	25	26	25	23
	2	30,45025	33	32	28	33	27	25
	3	30,45200	35	40	35	36	30	28
	4	30,45375	42	44	39	37	33	32
	5	30,45550	40	43	42	39	35	40
	6	30,45725	37	38	39	37	38	43
	7	30,45900	33	35	36	35	40	38
	8	30,46075	32	33	34	33	41	32
	9	30,46250	29	30	29	36	39	37
	10	30,46425	28	27	26	34	42	40
	11	30,46600	30	32	31	33	43	41

Таблиця 5.7 – Середньодобові значення швидкості інтернет-з'єднання на діапазоні висот від 80 до 120м, виміряні дані наведені у Мбіт/с

			Широта, градуси					
			1	2	3	4	5	6
			50,445693	50,44636	50,44702	50,44769	50,44835	50,44902
Довгота, градуси	1	30,44850	26	25	24	29	23	24
	2	30,45025	32	29	26	34	26	26
	3	30,45200	34	38	33	37	37	28
	4	30,45375	41	40	37	40	35	36
	5	30,45550	39	42	41	42	38	41
	6	30,45725	38	35	37	39	39	42
	7	30,45900	34	34	35	37	40	37
	8	30,46075	33	32	32	35	41	33
	9	30,46250	26	29	27	34	38	38
	10	30,46425	25	25	24	33	41	40
	11	30,46600	29	33	29	32	40	39

На основі отриманих даних побудуємо графіки залежності швидкості від географічних координат.

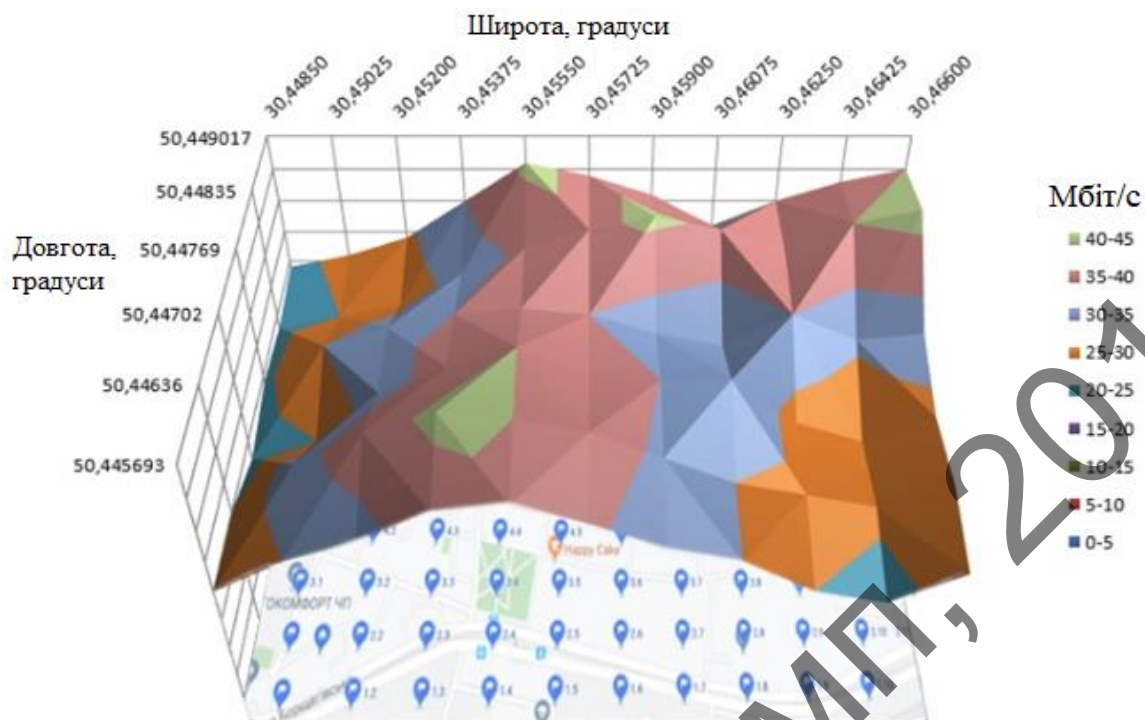


Рисунок 5.4 – Графік залежності швидкості інтернет-з'єднання від географічних координат кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського на діапазоні висот від 0 до 40м над рівнем моря

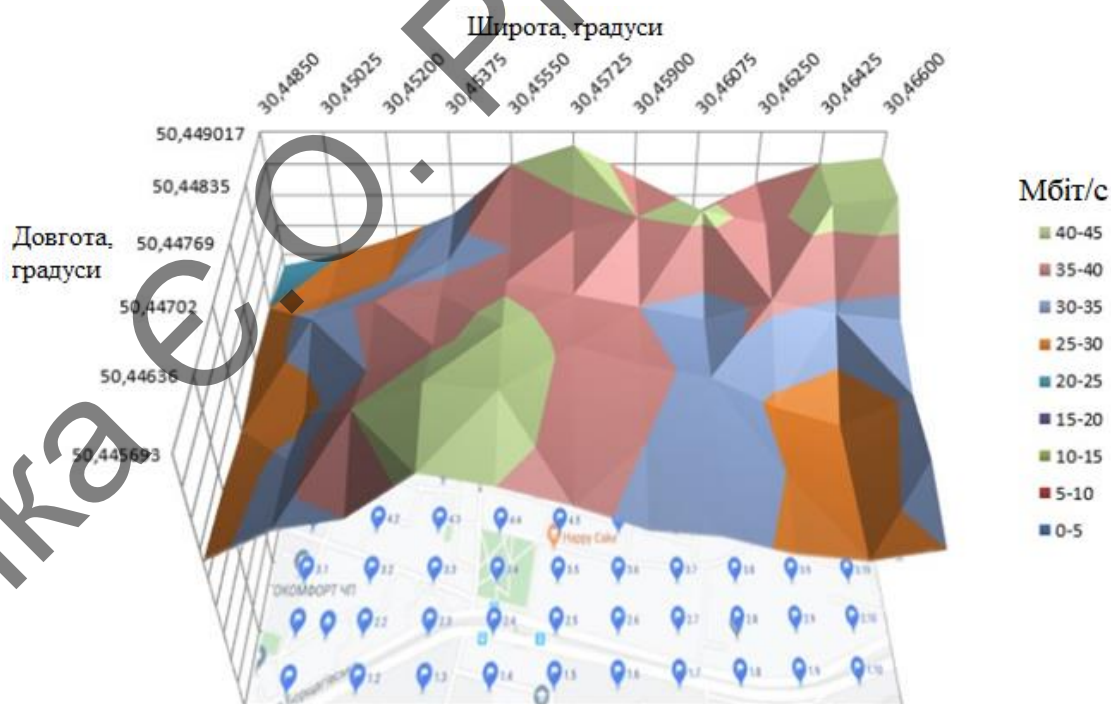


Рисунок 5.5 – Графік залежності швидкості інтернет-з'єднання від географічних координат кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського на діапазоні висот від 40 до 80м над рівнем моря

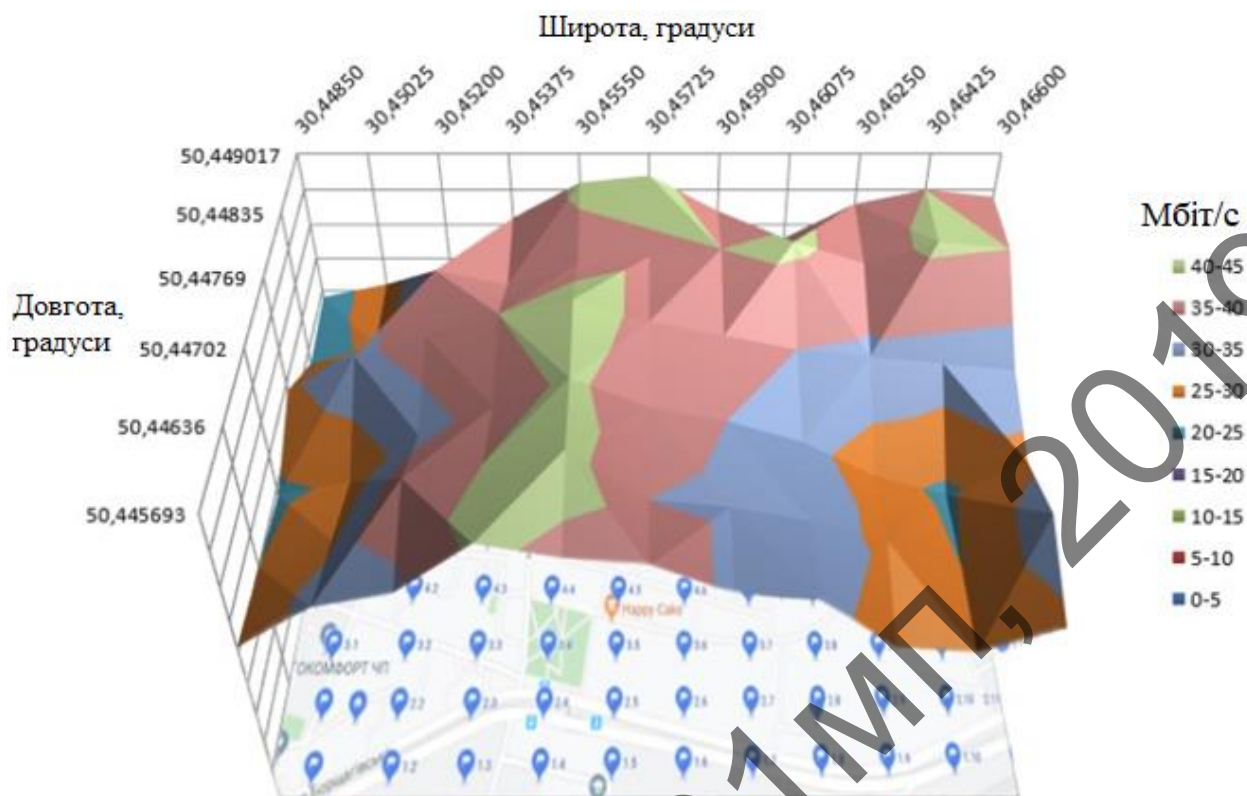


Рисунок 5.6 – Графік залежності швидкості інтернет-з'єднання від географічних координат кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського на діапазоні висот від 80 до 120м над рівнем моря

Як бачимо, найбільші значення швидкості спостерігаються у зонах наближених до базових станцій досліджуваного оператора мобільного зв'язку.]23[

5.3 Розрахунок зон покриття для мережі LTE на території

Радіус зони покриття визначимо по 3-м азимутам: 0, 120 і 240 градусів

Для розрахунків приймемо наступні дані:

Висота антени мобільної станції (МС) приймається рівною 1,7 м.

Висота підйому антени БС = 30 м

Таблиця 5.8 – Стандартні значення параметрів БС і МС

Позначення	Найменування і одиниця виміру	Значення
РПРД БС	Потужність передавача БС, дБ Вт	20
ГПРД БС	К-т посилення передавальної антени БС, дБ	18
fПРД БС	Смуга робочих частот передачі БС, МГц	2500—2690
РПРМ БС	Чутливість приймача БС, дБ Вт	-97,6
ГПРМ БС	К-т посилення приймальної антени БС, дБ	16
fПРМ БС	Смуга робочих частот прийому БС, МГц	2500—2690
РПРД МС	Потужність передавача МС, дБВт	-20
ГПРД МС	К-т посилення передавальної антени МС	0
fПРД МС	Смуга робочих частот передачі МС, МГц	2500—2690
РПРМ МС	Чутливість приймача МС, дБВт	-104
ГПРМ МС	К-т посилення приймальної антени, дБ	0
fПРМ МС	Смуга робочих частот прийому МС, МГц	2500—2690

Визначимо енергетичні параметри. Задана якість прийнятого сигналу визначається чутливістю приймача.[24] У загальному вигляді рівняння передачі може бути представлено як:

$$P_{\text{ПРМ}} = \frac{P_{\text{ПРД}} \times \eta_{\text{ФПРД}} \times G_{\text{АПРД}} \times \xi_{\text{П}} \times G_{\text{АПРМ}} \times \eta_{\text{ФПРМ}} \times \xi_{\text{П}}}{L_{\Sigma}}, \quad (5.2)$$

де $P_{\text{ПРМ}}$ – потужність радіосигналу на вході приймача;

$P_{\text{ПРД}}$ – потужність передавача;

$\eta_{\text{ФПРД}}$, – ККД передавального і приймального фідерів;

$G_{\text{АПРД}}, G_{\text{АПРМ}}$ – коефіцієнти посилення передавальної і приймальної антен;

$\xi_{\text{П}}$, $\xi_{\text{С}}$ – коефіцієнти узгодження антен з радіосигналом по поляризації;

L_{Σ} – сумарне загасання радіохвиль на трасі.

Висловимо значення потужності радіосигналу на вході приймача в дБ, тоді вираз (5.2) буде:

$$P_{ПРМ}(\partial Б/Вм) = P_{ПРД}(\partial Б/Вм) + \eta_{ФПРД}(\partial Б) + G_{АПРД}(\partial Б) + \xi_{П}(\partial Б) + G_{АПРМ}(\partial Б) + \eta_{ФПРМ}(\partial Б) + \xi_{С}(\partial Б) - L_{\Sigma} \quad (5.3)$$

Далі визначаємо сумарні втрати на трасі:

$$L_{\Sigma}(\partial Б) = P_{ПРД} + \eta_{ФПР} + G_{АПРД} + \xi_{П} + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_{С} - P_{ПРМ} \quad (5.4)$$

Для БС сумарне загасання радіохвиль на трасі дорівнює:

$$L_{\Sigma} = P_{ПРД} + \eta_{ФПР} + G_{АПРД} + \xi_{П} + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_{С} - P_{ПРМ} = \\ = 20 + 0,95 + 0 + 0,9 + 18 + 0,95 + 0,9 + 97,6 = 138,7 \text{ дБ}$$

Визначимо сумарний загасання радіохвиль як втрати поширення для відповідного типу місцевості і поправки, що враховує рельєф місцевості $L_{РЕЛ}$:

$$L_{\Sigma} = L_{Р} + L_{РЕЛ}, \quad (5.5)$$

Базові станції розташовуються на території кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського (рисунк.5.7) У цій зоні знаходить близько 8000 чоловік.



Рисунок 5.7 – План розташування БС в кампусі ім. Ігоря Сікорського

Для розрахунків оберемо БС2. Так як ця антена трисекторна, поділимо

місцевість на 3 зони та порахуємо коефіцієнт втрат відносно типу рельєфу на кожній із цих зон.

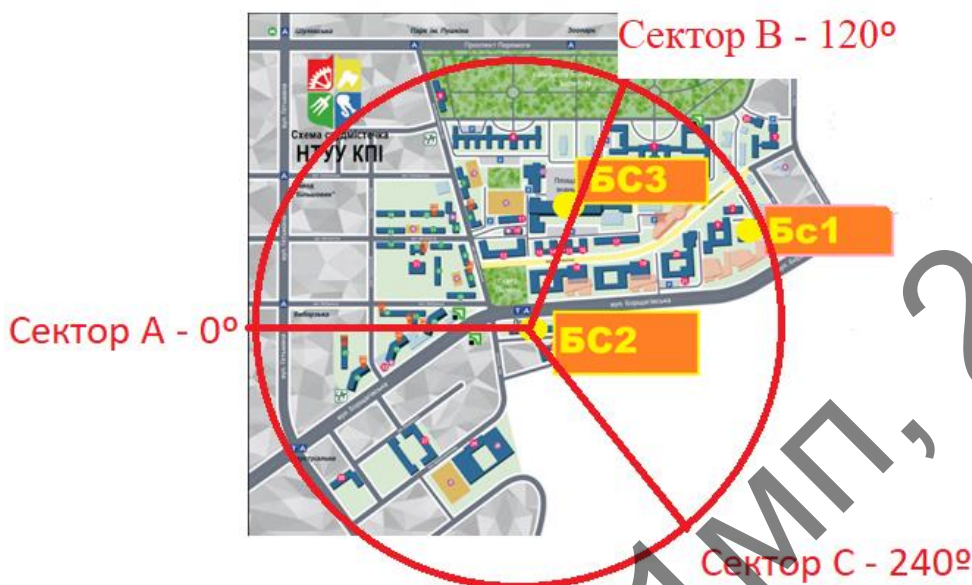


Рисунок 5.8 – Схема поділення місцевості на зони відносно БС 2

За допомогою графіків на рисунку 5.9 визначимо значення коефіцієнту згасання $L_{РЕД}$ на кожному секторі у відповідності з рельєфом місцевості.

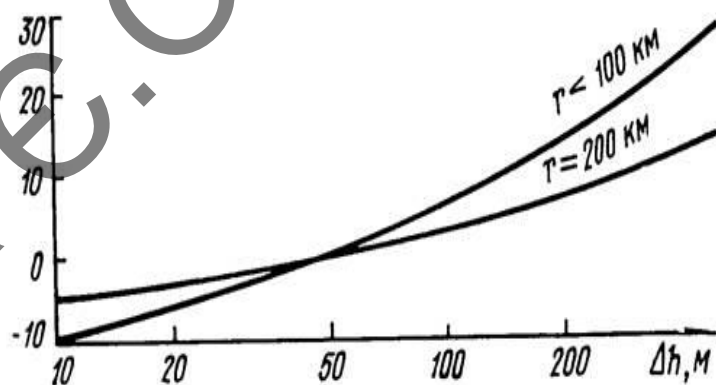


Рисунок 5.9 – Графік для визначення поправки Δh , яка враховує рельєф місцевості

Для визначення коефіцієнту згасання необхідно керуватися коефіцієнтом типу місцевості Δh , який показує перепади висот місцевості[25].

Таблиця 5.8 – Класифікація типів місцевості

Тип місцевості	Δh , м
Рівнина або водна поверхня	0...25
Рівнинно-горбиста місцевість	25..75
Горбиста	75...150
Гориста	150...400
Дуже високі гори	400

З графіка 5.8 отримаємо наступні значення коефіцієнтів згасання :

для сектору А – $L_{PEL} = 2,5$ дБ;

для сектору В.– $L_{PEL} = 6$ дБ;

для сектору С – $L_{PEL} = 8$ дБ.

Знайдемо втрати поширення для відповідного типу місцевості:

1. От БС до МС:

$$L_P = L_{\hat{a}} - L_{PEL} = 138,7 + 2,5 = 141,2 \text{ дБ} - \text{сектор А} - 0^\circ$$

$$L_P = L_{\hat{a}} - L_{PEL} = 138,7 + 6 = 145 \text{ дБ} - \text{сектор В} - 120^\circ$$

$$L_P = L_{\hat{a}} - L_{PEL} = 138,7 + 8 = 146,7 \text{ дБ} - \text{сектор С} - 240^\circ$$

Знайдемо розрахункову відстань від БС до МС.

Частота радіосигналу – $f_0 = 2500$ МГц

Розрахуємо поправочний коефіцієнт $a(h_m)$ який враховує висоту антени. і щільність забудови міста.

Для великого міста і для антени мобільної станції на висоті 1.7м використаємо формулу 5.6

$$a(h_m) = 3,2 \lg(11,75 \times h_m)^2 - 4,97, \text{ дБ} \quad (5.6)$$

$$a(h_m) = 3,2 \lg(11,75 \times 1,7)^2 - 4,97 = 0,442 \text{ дБ}$$

Затухання між МС та БС в місті розраховується за формулами 5.7 – 5.9

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 46,3 + 33,9 \times \lg(f_0) - 13,83 \times \lg(h_b) - a(h_m), \quad (5.7)$$

Де h_b – висота антени БС = 30 м

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 46,3 + 33,9 \times \lg(2500) - 13,83 \lg(30) - 0,442 = 265 \text{ дБ}$$

$$B = B(h_b) = 44,9 - 6,55 \times \lg(30) \quad (5.8)$$

$$B = B(h_b) = 44,9 - 6,55 \times \lg(30) = 35,22$$

$$LP = A + B \times \lg(r) \quad (5.9)$$

$$LP = A + B * \lg(r) = 265 + 35,22 * \lg(r)$$

Наступним кроком порахуємо максимальний радіус дії антени (R) для кожного сектора за допомогою формули 5.10

$$R = 10^{\frac{LP - A}{B}} \quad (5.9)$$

1 сектор:

$$R_{1c} = 10^{\frac{LP - A}{B}} = 10^{\frac{145,3 - 265}{35,22}} = 1410 \text{ м}$$

2 сектор:

$$R_{2c} = 10^{\frac{LP - A}{B}} = 10^{\frac{141,8 - 265}{35,22}} = 1445 \text{ м}$$

3 сектор:

$$R_{3c} = 10^{\frac{LP - A}{B}} = 10^{\frac{147,3 - 265}{35,22}} = 1465 \text{ м}$$

Таблиця 5.9 – Результати розрахунків моделі COST 231-Хата

Сектор	Втрати при поширенні, L_p , дБ БС-МС	Очікувана відстань між БС та МС, км
1	145,3	1,410
2	141,8	1,445
3	147,3	1,465

5.4 Розрахунок пропускної здатності мережі. Розрахунок кількості потенційних абонентів

Пропускную здатність, або ємність, мережі оцінюють, ґрунтуючись на середніх значеннях спектральної ефективності стільників в певних умовах. Спектральна ефективність систем стільникового зв'язку - показник, який визначається як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц використовуваної смуги частот (біт/с/Гц). Спектральна ефективність є показником ефективності використання частотного ресурсу, а також визначає швидкість передачі даних в заданій смузі частот. Спектральна ефективність може розраховуватися як відношення швидкості передачі даних всіх абонентів мережі в певній географічній області (стільниковій зоні) на 1 Гц смуги частот (біт/с/Гц/сота), а також як відношення максимальної пропускної здатності мережі до ширини смуги одного частотного каналу .

Середня спектральна ефективність для мережі LTE, ширина смуги частот якої дорівнює 20 МГц, для частотного типу дуплексу FDD на підставі 3GPP Release 9 для різних конфігурацій MIMO, представлена в таблиці 5.10

Таблиця 5.10 – Середня спектральна ефективність для мережі LTE

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)
UL	1×2	1,254
	1×4	1,829
DL	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Для системи FDD середня пропускна здатність одного сектора eNB обчислюється шляхом прямого виміру ширини каналу на спектральну ефективність каналу:

$$R = S \cdot W, \quad (5.10)$$

де S – середня спектральна ефективність (біт/с/Гц);

W – ширина каналу (МГц); $W = 10$ МГц.

Для лінії DL:

$$R_{DL} = 3,43 \cdot 10 = 34,3 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{UL} = 1,829 \cdot 10 = 18,29 \text{ Мбіт/с.}$$

Середня пропускна здатність базової станції R_{eNB} обчислюється шляхом добутку пропускної здатності одного сектора на кількість секторів базової станції [27]; число секторів eNB приймемо рівну 3, тоді:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot 3 \quad (5.11)$$

Для лінії DL:

$$R_{eNB,DL} = 34,3 \cdot 3 = 102,9 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{eNB,UL} = 18,29 \cdot 3 = 54,87 \text{ Мбіт/с.}$$

Далі визначимо кількість стільників планованої мережі LTE. Для цього необхідно визначити загальне число каналів, що виділяються для проекрованої мережі LTE [26].

Загальна кількість каналів N_k розраховується за формулою:

$$N_k = \left\lfloor \frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right\rfloor, \quad (5.12)$$

де Δf_{Σ} - смуга частот, виділена для роботи мережі і рівна 71 МГц (для діапазону 2500-2700 МГц);

Δf_k - смуга частот одного радіоканалу; під радіоканалом в мережах LTE визначається таке поняття як ресурсний блок РБ, який має ширину

$$\Delta f_k = 180 \text{ кГц.}$$

$$N_k = \frac{71000}{180} = 394 \text{ (канали)}$$

Визначимо число каналів $N_{k,сек}$, яке потрібно використовувати для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$N_{\text{к.сек}} = \left\lfloor \frac{N_{\text{к}}}{(N_{\text{кл}} \cdot M_{\text{сек}})} \right\rfloor, \quad (5.13)$$

де $N_{\text{к}}$ – загальне число каналів;

$N_{\text{кл}}$ – розмірність кластера, обрані з урахуванням кількості секторів eNB, приймемо рівним 3;

$M_{\text{сек}}$ – кількість секторів eNB, приймемо за 3.

$$N_{\text{к.сек}} = \left\lfloor \frac{394}{(3 \cdot 3)} \right\rfloor = 43 \text{ (канали)}$$

Визначимо число каналів трафіку в одному секторі одного стільника $N_{\text{кт.сек}}$. Число каналів трафіку розраховується за формулою:

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \cdot N_{\text{к.сек}}, \quad (5.14)$$

де $N_{\text{кт1}}$ – число каналів трафіку в одному радіоканалі, яке визначається стандартом радіодоступу (для OFDMA $N_{\text{кт1}} = 1 \dots 3$); для мережі LTE оберемо $N_{\text{кт1}} = 1$

$$N_{\text{кт.сек}} = 1 \cdot 43 = 43 \text{ (канала)}.$$

Відповідно до моделі Ерланга, представленої у вигляді графіка на рисунку 5.10, визначимо допустиме навантаження в секторі одного стільника

$A_{\text{сек}}$ при допустимому значенні ймовірності блокування 1% і розрахованим вище значенням $N_{\text{кт.сек}}$. З графіку видно, що $A_{\text{сек}} = 50$ ерл.

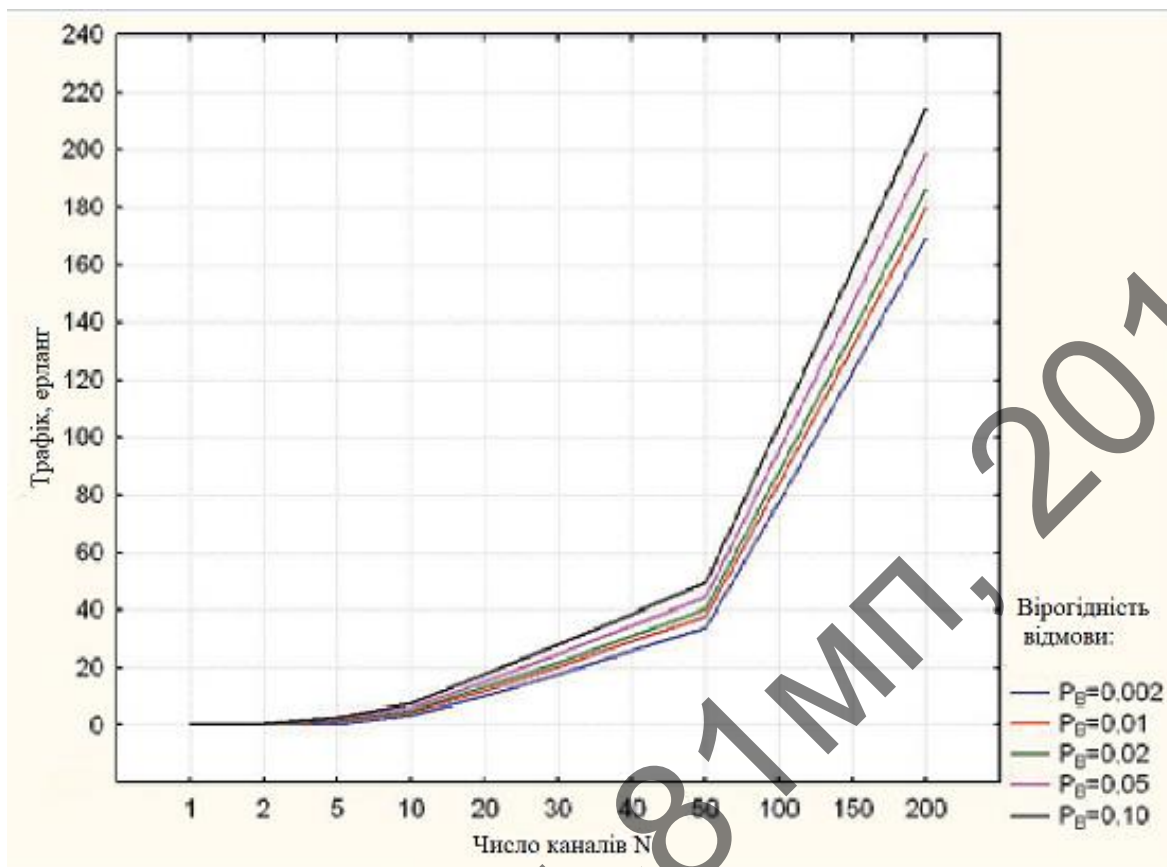


Рисунок 5.10 – Залежність допустимого навантаження в секторі від числа каналів трафіку і ймовірності блокування

Число абонентів, яке буде обслуговуватися однією eNB, визначається за формулою:

$$N_{аб.eNB} = M_{сек} \cdot \left[\frac{A_{сек}}{A_1} \right], \quad (5.15)$$

де A_1 – середня за всіма видами трафіку абонентське навантаження від одного абонента; значення A_1 може становити (0,04 ... 0,2) Ерл. спроектована мережа планується використовуватися для високошвидкісного обміну інформацією, значить значення A_1 приймемо рівним 0,2 Ерл. Таким чином:

$$N_{аб.eNB} = 3 \cdot \left[\frac{50}{0,2} \right] = 750 \text{ (абонентів).}$$

5.5 Висновки за розділом

У результаті проведеного дослідження виведено графік залежності максимальної швидкості Інтернету від індексу якості каналу (CQI).

За результатами вимірювання швидкість інтернет-з'єднання в середньому менше в 2 рази у порівнянні з розрахованими значеннями, що вказує на істотну залежність швидкості Інтернету не тільки від якості сигналу, а і від інших факторів.

За результатами розрахунків, дальність зв'язку у густонаселеному місті між БС та МС на частоті 2500 МГц за допомогою технології LTE очікується в межах 1450м.

Швидкість Інтернету не істотно змінюється в межах досліджуваних висот (0-120м), що підтверджує ефективність застосування LTE технології для організації зв'язку між БПЛА та сервером.

За результатами розрахунків, кількість одночасно підключень до однієї базової станції, які використовують технологію LTE для виходу в інтернет мережу становить 750 абонентів. Враховуючи те, що кількість інтернет користувачів невідомо зростає, це може поставити під загрозу організацію стабільного інтернет-з'єднання БПЛА з сервером в мажах густонаселених районів.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основною метою даного розділу є забезпечення комфортних та безпечних умов праці при виконанні науково-дослідної роботи за темою магістерської дисертації – система передачі даних для безпілотного літального апарата.

Оскільки, при виконанні науково-дослідної роботи в лабораторному стенді використовуються джерела електромагнітного випромінювання вихідною потужністю не більше 10 мВт, то питання захисту персоналу від негативної дії цих випромінювань не розглядається.

В даному розділі запропоновані технічні рішення, та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії і визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Основана увага приділена питанню забезпечення безпеки при застосуванні засобів обчислювальної техніки.

6.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи

В магістерській дисертації досліджується власне мікрохвильове випромінювання, що утворюється під час протікання біохімічної реакції. Для цього використовується високочутлива радіометрична система, а знятий сигнал проходить через програмно-апаратний тракт обробки. Отриманий сигнал обробляється в середовищі MatLab.

Оскільки основу роботи складають дослідження із використанням електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), а також лабораторного устаткування, існує небезпека ураження електричним струмом. Під час експериментальних досліджень можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання. Має місце також пожежна небезпека з причин електричного характеру.

Небезпечні та шкідливі фактори при проведенні наукових досліджень:

- небезпека ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ;
- недостатня освітленість робочого місця;
- незадовільні параметри мікроклімату у робочій зоні;
- підвищений рівень шуму.

6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Електробезпека.

Приміщення лабораторії, що розглядається, знаходиться в будівлі з 4-х провідною 3-х фазною електромережею із зануленням. Температура в робочому приміщенні не перевищує $+30^{\circ}\text{C}$, а вологість повітря не перевищує 60%. Також відсутнє хімічно активне середовище, що руйнує ізоляцію та електричні матеріали або струмопровідний пил. У приміщенні можливий одночасний дотик людини до корпусів електрообладнання і до заземлених металоконструкцій будівлі. Таким чином, згідно з ПУЕ, умови приміщення за рівнем електробезпеки можна віднести до приміщень з підвищеним рівнем електробезпеки.

Електроустаткування, що використовується в дослідницькій роботі, живиться від мережі напругою до 220 В. Воно належить до класів I та II за електрозахистом (ДСТУ ІЕС 61140:2015). Апаратура для визначення характеристик досліджуваних зразків відноситься до I класу за електрозахистом, тобто трьохпровідний шнур з нульовим проводом. Провід для під'єднання до джерела живлення має заземлюючу жилу і вилку із заземлюючим контактом.

У процесі експлуатації електронно-обчислювального обладнання можливе доторкання до частин електроустаткування, які перебувають під напругою. Оцінка небезпеки дотику до струмоведучих частин полягає у визначенні сили струму, що протікає через тіло людини, і порівнянні її із

допустимим значенням відповідно до ПУЕ-2017. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення електроустаткування до електромережі, роду і величини напруги живлення, схеми включення.

Таблиця 6.1 – Гранично допустимі значення напруги дотику

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	Від 1,0 до 5,0
$U_{\text{доп.дот}}$ (В)	500	400	200	130	100	65

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Основними причинами ураження людей електричним струмом є доторкання до відкритих струмоведучих частин, до струмопровідних елементів обладнання, які виявилися під напругою в результаті порушення ізоляції. Нижче наведені групи технічних рішень щодо запобігання електротравм згідно ПУЕ. «Правила улаштування електроустановок. Розділ 1 Загальні правила. Гл.1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки»:

- технічні рішення із запобігання електротравм від контакту із нормально струмоведучими елементами електрообладнання: надійна ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування; застосування закритих клемових з'єднань; розведення електромережі в приміщеннях у каналах стін;
- технічні рішення щодо запобігання електротравм при переході напруги на електропровідні нормально не струмовідні елементи устаткування (аварійний режим роботи електрообладнання, наприклад, пробій робочої ізоляції): занулення, тобто навмисне електричне з'єднання нормально не струмоведучих елементів електроустаткування із заземленою нейтраллю електромережі за допомогою нульового дроту і

автоматичне вимкнення живлення. При аварійному режимі спрацьовує захист від короткого замикання (автомат максимального струмового захисту чи плавкий запобіжник) і пошкоджене електрообладнання відключається від електромережі.

Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання.

Виконаємо розрахунок електромережі на вимикаючу здатність при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна знайти за формулою:

$$I_{kz} = \frac{U_F}{R_0 + R_F + Z_{TR}}, \quad (6.1)$$

де $U_F = 220B$ — напруга фазного проводу; $R_0 = 30M$ — опір нульового проводу; $R_F = 70M$ — опір фазного проводу; $Z_{TR} = 0,10M$ — еквівалентний опір трансформатора. Після обрахунку (4.4) отримаємо, що $I_{kz} = 21,78A$.

Для надійного спрацьовування автомату струмового захисту з електромагнітним розпилювачем його струм повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання ($I_{kz} < 100A$).

Отже, струм спрацьовування автомату повинен бути менше 15,6 А. Цим умовам відповідають автомати струмового захисту, що встановлені у робочому приміщенні (струм спрацювання 10 А і час спрацювання $< 0,1$ с).

Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при його аварійному режимі роботи:

$$U_{K_{max}} = I_{kz} \cdot R_0 = 21,78 \cdot 3 = 65,3B \quad (6.2)$$

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-88 (табл. 5.1) максимально допустима напруга дотику при часі спрацьовування автомату струмового захисту $< 0,1$ с дорівнює 500В.

6.2.2 Мікроклімат робочої зони

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042-99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях», приміщення обладнане системою опалення, а також системою кондиціювання повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» параметри мікроклімату, що нормуються: температура ($t, ^\circ\text{C}$) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, \text{м/с}$).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл.4.3.

Таблиця 6.2 — Параметри мікроклімату

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1
Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	$\leq 0,1$

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

6.2.3 Виробниче освітлення

Для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці суттєвим є забезпечення норм освітленості на робочому місці. Величина освітленості регламентується нормами ДБН В.2.5-28-2018.

Приміщення з ЕОМ, відповідно до ДБН В.2.5–28–2018. «Природне і штучне освітлення. Норми проектування», відноситься до класу кабінетів інформатики та обчислювальної техніки. Розряд і підрозряд зорової роботи Б-2.

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5–28–2018. Для загального освітлення використовують головним чином люмінесцентні лампи, що обумовлено їхніми перевагами. Для розрахунку штучного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання потоку:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot C}, \quad (6.3)$$

де Φ — світловий потік; E — нормована мінімальна освітленість; K — коефіцієнт запасу; S — освітлювана площа; Z — коефіцієнт нерівномірності освітлення; C — коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку на розрахунковій площі; N — число світильників.

Згідно ДБН В.2.5–28–2018 визначаємо норму освітленості.

$$E = 300 \text{ лк}; K = 1,4; S = 6,4 \cdot 4 = 25,6 \text{ м}^2; Z = 1,2.$$

Необхідна кількість люмінесцентних ламп визначається за формулою:

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot C}, \quad (6.4)$$

Найбільш прийнятними для приміщення є люмінесцентні лампи ЛД (денного світла) потужністю 40 Вт. Нормальний світловий потік лампи ЛД-40 дорівнює $\Phi=2340$ люмен (лм). Величиною i , індексом приміщення можна встановити залежність від площі приміщення і висоти підвісу:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (6.5)$$

де $A=5\text{м}$ — довжина приміщення; $B=4\text{м}$ — ширина приміщення; h — висота підвісу.

$$h = H - h_p - h_c, \quad (6.6)$$

де $H=2,75$ м — висота приміщення; $h_p=0,8$ м — висота робочої поверхні;
 $h_c=0,4$ м — висота від стелі до нижньої частини лампи.

При обрахунку виходить $h=1,55$ м, а $i=1,58$.

Коефіцієнт використання світлового потоку на розрахунковій площі $C=0,3$.

У підсумку число світильників виходить рівним $N=1,84$

Для штучного освітлення в робочому приміщенні достатньо використати 2 люмінесцентні лампи денного світла ЛД 40, зі світловим потоком $\Phi=2340$ лм кожна.

Освітленість робочого приміщення де проводиться науково-дослідна робота відповідає нормам вказаним у ДБН В.2.5-28-2006.

6.2.4 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в проєкті і характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» . «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 4.4.

Таблиця 6.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Програміст обчислювальної машини	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціонування повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел (ШХ):

- рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами ПК дорівнює 35 дБ;
- рівень шуму системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБ.

Оскільки рівні звуку потенційних джерел шуму нижчі допустимих, умови робочого приміщення відповідають вимогам вказаним у ДСН 3.3.6.037-99.

6.2.5 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

Вимоги до робочого місця робіт з використанням ЕОМ регламентує нормативний документ ДСанПіН 3.3.2.007-98 та ДСТУ ISO 9241-62004 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища.»

Конструкція робочого столу відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів.

Дисплей розташований на оптимальній відстані від очей користувача з урахуванням розміру літерно-цифрових знаків і символів. Розташування дисплея забезпечує зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом $+30^0$ до нормальної лінії погляду працюючого. Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю. У конструкції клавіатури передбачений опорний пристрій, який дає змогу

змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах 5...15°. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Працівники з ЕОМ підлягають обов'язковим попереднім медичним оглядам під час влаштування на роботу і періодичним – один раз на два роки комісією у складі терапевта, невропатолога та офтальмолога. Медогляди мають на меті перевірку стану здоров'я працівника і виявлення відсутності у нього медичних протипоказань, які перешкоджають виконанню роботи з ПК.

Згідно з ДСТУ 1241:6-2004 та ДСанПіН 3.3.2.007-98 характер трудової діяльності відповідає роботі оператора електронно-обчислювальних машин – роботі, яка пов'язана з обліком інформації одержаної з дисплея за попереднім запитом, або тієї, що надходить з нього, супроводжується перервами різної тривалості, пов'язана з виконанням іншої роботи і характеризується як робота з напруженням зору, невеликими фізичними зусиллями, нервовим напруженням середнього ступеня та виконується у вільному темпі.

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ЕОМ становить 15 хвилин через кожні дві години роботи.

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС («Положенням щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій»). Одними з основних складових ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дії виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.

6.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Необхідність обладнання виробничих приміщень певним типом СО визначається згідно з додатком Е до ДБН В.1.1-7-2016 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва".

При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщування з урахуванням об'ємно-планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1-7-2016.

Оповіщування про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових показників напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;
- зв'язком оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщування.

Повинен бути забезпечений розподіл пріоритетів щодо повідомлень для виробничого персоналу у такій послідовності:

I – (найвищий) повідомлення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) під час пожежі, або у разі виникнення будь-якої іншої НС;

II – повідомлення, які записані на будь-якому носії та вмикаються автоматично від спрацювання систем пожежної автоматики, або за сигналом оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста);

III – службові повідомлення, що не стосуються організації та управління евакуацією людей.

У багатоповерхових виробничих будівлях, які поділені на протипожежні відсіки по вертикалі, СО повинна вмикатися одразу для всього протипожежного відсіку, де виникла пожежа. Затримку часу оповіщення про НС для інших вертикальних протипожежних відсіків будинку слід передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації.

Для трансляції мовних повідомлень необхідно використовувати повідомлення, які записані заздалегідь на відповідному носії інформації.

Текст мовного повідомлення повинен бути записаний українською мовою. Необхідність запису тексту мовного повідомлення та його транслявання іншими мовами визначається призначенням виробничих приміщень. Тривалість трансляції одного мовного повідомлення не повинна перевищувати 1 хвилини.

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-56-2014.

У місцях, де є небезпека механічного ушкодження оповіщувачів, повинен бути забезпечений їх захист, що не порушує працездатності оповіщувачів.

Вимоги до світлових показників "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

Вимоги до евакуаційного освітлення приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Природне та штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правила устройства электроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Мовні оповіщувачі повинні відтворювати нормально чутні частоти у діапазоні від 200 до 5000 Гц. Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

6.3.2 *Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації*

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив, повинен:

негайно повідомити про це службою зв'язку органів ДСНС, вказати при цьому адресу кількості поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;

повідомити про пожежу керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;

організувати оповіщення людей про НС;

вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;

вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні :

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС;
- організувати зустріч підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

6.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1.-36:2016 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до та ДНАОП 0.00-1.32-01 клас робочих зон приміщення лабораторії по пожежонебезпеці - П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління).

У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

- постійний контроль стану засобів пожежогасіння;
- застосування автоматичних установок пожежної сигналізації;
- організація за допомогою технічних засобів, включаючи автоматичні, своєчасного оповіщення та евакуації людей.
- контроль за станом ізоляції струмоведучих дротів;
- заборонено паління в приміщенні;

- неприпустимість знаходження у приміщенні горючих і вибухонебезпечних речовин;
- допуск до роботи осіб, які в установленому порядку пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з пожежної безпеки.

Для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Б”- наявність електрообладнання під напругою) використовуються вогнегасники ОП-1 — “Момент” (2 шт.). Додатково в коридорі розташовані вогнегасники ОХП-10. Також на сходовій клітці розташований пожежний кран. Така кількість первинних засобів пожежогасіння відповідає вимогам ДСТУ 3675-98 та ISO3941-2007, якими передбачене обов’язкова наявність двох вогнегасників до 100 м² площі підлоги для приміщення типу конструкторське бюро.

Будинок має два евакуаційних виходів: через головний хід і додатковий евакуаційний вихід. Шляхи евакуації відповідають установленим нормам. Двері відкриваються назовні. Коридор веде до двох сходових кліток, одна з яких виходить безпосередньо на вулицю, а друга має вихід на вулицю через вестибюль і головний вхід. Сходова клітка виконана з не пальних матеріалів. Сходи мають природне бічне освітлення і штучне евакуаційне освітлення. Сходові площадки ширше коридорів. Усі співробітники ознайомлені з планом евакуації.

Дотримано усі вимоги СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 4.5.

Таблиця 6.4 — Характеристики і норми евакуиходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	0,8 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	2 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходового маршу	1,2 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

У приміщенні є план евакуації. Мінімальний час евакуації в разі виникнення пожежі відповідає вимогам СНиП 2.01.02-85, а максимальне видалення робочих місць від евакуаційних виходів вимогам СНиП 2.09.02-85.

У приміщенні виконуються усі вимоги по пожежній безпеці відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

6.3.4 Основні вимоги щодо плану евакуації при пожежі

В даному підрозділі розглянемо план евакуації при пожежі, адже це одне з найнебезпечніших НС, яке може трапитись під час виробничого процесу.

Захист людей у разі пожежі є найважливішим завданням усієї системи протипожежного захисту. Вирішення цього завдання, в першу чергу, потребує впровадження ефективних евакуаційних заходів на випадок

виникнення пожежі. Вирішення цього завдання досить складне, оскільки має власну специфіку та здійснюється іншими шляхами, ніж захист будівельних конструкцій чи матеріальних цінностей.

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

- першого поверху безпосередньо назовні або через вестибюль, коридор, сходову клітку;
- будь якого поверху, крім першого, у коридор, що веде на внутрішню сходову клітку або безпосередньо на зовнішні відкриті сходи;
- у сусіднє приміщення на тому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними у попередніх пунктах;
- цокольного, підвального, підземного поверху назовні безпосередньо через сходову клітку або коридор, що веде на сходову клітку, яка має вихід назовні.

Текстова частина плану евакуації, яка представляє собою таблицю з переліком та послідовністю дій у разі пожежі для конкретних посадових осіб і працівників, затверджується керівником об'єкту. План евакуації необхідно розташовувати на видному місці, а його положення повинні систематично відпрацьовуватись на практиці.

Також дуже важливо забезпечити протидимний захист робочих приміщень і особливо шляхів евакуації людей. Протидимний захист забезпечується обмеженням розповсюдження продуктів горіння по будівлях та приміщеннях, примусовим видаленням диму. Ці задачі вирішуються за допомогою об'ємно-планувальних та конструктивних рішень при проектуванні об'єктів, деякими технологічними прийомами в процесі будівництва, завдяки використанню спеціальних пристроїв і вентиляційних систем, які призначені для видалення диму зниження температури і конденсації продуктів горіння.

7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

7.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 7.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система передачі даних для безпілотного літального апарата	Виробництво	Можливість керувати дронами через інтернет, запобігання зіткнення дронів
	Наука	

Основним конкурентом розроблюваному проекту є пакет програмного забезпечення Диспетчерська система UAS Traffic Management, який дозволяє керувати дронами. Пакет UAS Traffic Management дозволяє виконувати ті ж речі, що і розроблюваний пакет, але в ньому відсутня можливість керування дроном напряму без пульта.

7.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї

Особливості розроблюваної системи є під'єднання БПЛА до інтернет мережі без участі пілота дрону, що дає можливість автоматизувати процес польотів без участі людини.

Таблиця 7.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Товари		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1	Простота		✓			✓
2	Дешевизна	✓				✓
3	Швидкодія	✓				✓

7.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для реалізації цього проекту потрібно вибрати мову програмування чи середовище програмування. Оглянуто три варіанта:

Мова програмування Python — інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня зі строгою динамічною типізацією. Python підтримує модулі та пакети модулів, що сприяє модульності та повторному використанню коду. Інтерпретатор Python та стандартні бібліотеки доступні як у скомпільованій, так і у вихідній формі на всіх основних платформах. В мові програмування Python підтримується кілька парадигм програмування, зокрема: об'єктно-орієнтована, процедурна, функціональна та аспектно-орієнтована.

Мова програмування C++ — мова програмування високого рівня з підтримкою кількох парадигм програмування: об'єктно-орієнтованої, узагальненої та процедурної.

Мова програмування JavaScript — динамічна, об'єктно-орієнтована прототипна мова програмування. Реалізація стандарту ECMAScript.

Найчастіше використовується для створення сценарії веб-сторінок, що надає можливість на стороні клієнта (пристрої кінцевого користувача) взаємодіяти з користувачем, керувати браузером, асинхронно обмінюватися даними з сервером, змінювати структуру та зовнішній вигляд веб-сторінки.

Таблиця 7.3 — Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології його реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Система передачі даних безпілотного літального апарата	Python	Так	Так
2		C++	Так	Так
3		JavaScript	Ні	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: JavaScript				

Даний проект можливо реалізувати і в якості технологічного шляху обрано JavaScript через наявність у автора проекту знань у мові програмування JavaScript та можливості розробки програми в браузері, що дозволяє виконувати стеження за дроном в браузері, що значно прискорює процес.

7.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах даного підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 7.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, ум. од.	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Невідома
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Невідома

За результатами аналізу важно зробити висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням.

7.5 Визначимо потенційні групи клієнтів.

Таблиця 7.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Система передачі даних безпілотного літального апарата	Науковці, розробники радіоелектронної апаратури	Невідомі	Точність, швидкість обрахунку, адекватність результату

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 7.6 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал ПЗ конкурентів	Впровадження нового функціоналу у UAS Traffic Management, аналогічного до розроблюваного у цьому проекті	Вихід з ринку

Таблиця 7.7 — Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал у проекті що розробляється	Додавання нових моделей та можливостей у проект, що розроблюється	Розроблення цього функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 7.8 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Вчому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції монополістична —	Одне підприємство майже зайняло усю нішу	Значний
За рівнем конкурентної боротьби національне	Дане підприємство відомо у всьому світі	Значний
За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Конкуренція виконується в рамках однієї галузі	Значний
Конкуренція за видами товарів — невідомо		
За характером конкурентних переваг — цінова	Товар даного підприємства має дуже високу вартість	Значний
За інтенсивністю — невідомо		

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Таблиця 7.9 — Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	SolidWorks Flow Simulation	Розрахунок теплообміну	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Маючи майже монопольне положення на ринку розробник цього ПЗ не буде приділяти уваги розробці	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності

Таблиця 5.10 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Простота	Данарозробка не вимагає від користувача особливих знань у галузі
2	Дешевизна	Поширюється безкоштовно і кожний має можливість користуватися нею
3	Швидкодія	Розраховуються найкращі показники для конкретного проекту

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 7.11 — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бал и 1- 20	Рейтинг товарів —конкурентів у порівнянні з проектом, що розробляється						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота							✓	
2	Дешевизна								✓
3	Швидкодія								✓

Проведемо SWOT-аналіз

Таблиця 7.12 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Простота Дешевизна Швидкодія	Слабкі сторони: Невідома компанія Відсутність стартового капіталу
Можливості: Розширення функціоналу Нові технології	Загрози: Продукти-замінники

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

7.6 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.14 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Готові	Високий	У сегменті значна конкуренція	Важко
2	Розробники радіоелектронної апаратури	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Важко
Які цільові групи обрано: науковці, розробники радіоелектронної апаратури					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку.

Таблиця 7.15 — Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Простота, дешевизна, швидкодія	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку

Таблиця 7.16 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходець м» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкуренту?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Ні	Ні	Заняття конкурентної ніші

Таблиця 7.17 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Система передачі даних безпілотного літального апарата
2. Товар у реальному виконанні	Властивості: Простота Дешевизна Швидкодія
	Якість: апробація на готових фізичних моделях
	Пакування: відсутнє
	Марка: відсутня
3. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Товар не буде якимось чином захищатись від копіювання та буде поширюватись як є.

7.7 Висновки за розділом

Дана система зможе забезпечити більш зручне управління за допомогою автоматизації польотів і це краще ніж у конкурентів, але є ряд факторів, які погіршать вихід на ринок. Великі компанії можуть витіснити малий бізнес з ринку, але якщо система буде показувати кращі характеристики ніж аналоги, то можливе подальше розростання бізнесу і залучення нових інвесторів.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації вирішена наукова задача, яка полягає у розробці пристрою та дослідженні основних систем передачі даних для безпілотного літального апарата.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Було проведено аналіз проблеми організації телекомунікаційних зв'язків між декількома БПЛА та наземним сервером, а також проаналізовано існуючі методи її вирішення

2. Для забезпечення стійкого зв'язку БПЛА з сервером при різних радіоумовах та на різних відстанях без участі пілота, обрано три технології передачі даних – LTE, Wi-Fi, LoRa, дублюють одна одну забезпечуючи захист від миттєвих обривів зв'язку.

3. Обраний контролер зв'язку Raspberry Pi забезпечує можливість у разі необхідності налаштувати систему під специфічні задачі та умови роботи, шляхом перепрограмування і додавання нових модулів.

4. У результаті проведеного дослідження виведено графік залежності максимальної швидкості Інтернету технології LTE від індексу якості каналу CQI

5. Дальність зв'язку між дроном і базовою станцією LTE очікуються до 1450м, що є задовільним показником у межах густонаселеного міста.

6. Швидкість інтернет-з'єднання БПЛА з сервером не залежить від зміни висоти в діапазоні від 0 до 120м. Це означає, що БПЛА матимуть стабільний зв'язок на всьому діапазоні дозволених для польоту висот.

7. За результатами розрахунків маємо максимальне число у 750 одночасно під'єднаних до однієї БС користувачів LTE Інтернету, це не великий показник у сучасному місті. Тому надалі слід оптимізувати LTE мережі для впровадження додаткового сегменту абонентів мобільного інтернету — БПЛА.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Civil drones (Unmanned aircraft)) [Електронний ресурс] // EASA, Inc. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>
2. U-space [Електронний ресурс] // Digi International Inc. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2019_WAC19_USPACE_BAT.pdf
3. Dji aeroscope [Електронний ресурс] // DJI Inc. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dji.com/aeroscope>
4. UTM [Електронний ресурс] // skybrary.aero – Режим доступу до ресурсу: [https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned_Aircraft_Systems_Traffic_Management_\(UTM\)_and_Urban_Air_Mobility_\(UAM\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned_Aircraft_Systems_Traffic_Management_(UTM)_and_Urban_Air_Mobility_(UAM))
5. hightech [Електронний ресурс] // hightech.fm – Режим доступу до ресурсу: <https://hightech.fm/2018/07/30/dron-9>
6. FlytGCS [Електронний ресурс] // hightech.fm – Режим доступу до ресурсу: <https://flytgcs.live/>
7. C-BAND[Електронний ресурс] // milscint.com – Режим доступу до ресурсу: <http://www.milscint.com/en/new-solution-from-meteksan-defence-for-communication-with-uavs-c-band-data-link-system/>
8. 5G [Електронний ресурс] // Международный союз электросвязи, ИМТ-2020:– Режим доступу до ресурсу: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020>
9. LTE [Електронний ресурс] //The Mobile Broadband Standard:– Режим доступу до ресурсу: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- 10.LoRa [Електронний ресурс] // Wless:– Режим доступу до ресурсу: <http://www.wless.ru/technology/?tech=9>

- 11.Радіомодуль [Електронний ресурс] – Режим доступу:<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/528814/MICROCHIP/MRF49XA-I-ST.html>
- 12.Контролер [Електронний ресурс] // myrobot:– Режим доступу до ресурсу: https://myrobot.ru/stepbystep/mc_meet.php
- 13.Системи автоматизованого проектування: Методичні рекомендації до лабораторних робіт./ Уклад Адаменко Ю. Ф. — К: НТУУ «КПІ», 2012. — 84 с.
- 14.Raspberry Pi [Електронний ресурс] // myrobot:– Режим доступу до ресурсу: <http://www.raspberrypi.org/>
- 15.Dji [Електронний ресурс] // DJI Inc. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dji.com/>
- 16.Стяжка Fortisflex [Електронний ресурс] – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://fortisflex.ru/>
- 17.ardupilot [Електронний ресурс] – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/>
- 18.ГОСТ 16019-2001. Аппаратура сухопутной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний. — Взамен ГОСТ 16019-78; введен. 2002-01-01— Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Изд-во стандартов, 2002. — 12 с.
- 19.ГОСТ 11478-88 Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытаний на воздействие внешних механических и климатических факторов. — Введ. 1999-05-28 — Москва : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Стандартиформ, 2006. — 57 с.
- 20.Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. - СПб., 2007. — 126 с.

- 21.Карташевский В.Г. и др. Сети подвижной связи. - М.: Радио и связь, 2000, 40-55 с.
- 22.Paula Tarrno, Ana M. Bernardos, Jos R. Casar “An RSS Localization Method Based on Parametric Channel Models”, IEEE, International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2007, pp. 265-270.
- 23.Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. -М.: Радио и связь, 1981. -416с.
- 24.Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE Trans. Vehicular Technology. — 1980. — V.29.
- 25.Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. -М.: Радио и связь, 1981. -416с.
- 26.Э. Сейдж, Дж. Меле. Теория оценивания и её применение в связи и управлении. -М.: Связь, 1976. -496с.
- 27.Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. -М.: Радио и связь, 1991. - 608с.
- 28.Симаков В.А. Построение адаптивных систем пассивной радиолокации на принципах разностно-дальномерной координатометрии / В.А. Симаков // Научные ведомости Белгородский государственный университет . — 2005. — №2. — С. 221.
- 29.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / за заг. ред. О.А. Гавриша. - Київ: НТУУ "КПІ", 2016. -28 с. - Розроблення стартап-проекту
Режим доступу до ресурсу:https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Startup_proekt.pdf

ДОДАТОК А

Чайка Є.О. РІ-81МП, 2019

ДОДАТОК Б

Розрахунок частотних та амплітудних параметрів друкованої плати

ВХІДНІ ДАНІ:

довжина плати, мм 85,6

ширина плати, мм 54

товщина плати, мм 17

спосіб закріплення сторін:

обперті чотири вершини

механічні характеристики матеріала:

модуль пружності, ГПа 24.0

коефіцієнт Пуассона 0.14

густина, г/см³ 1.85

КМВ 0.03

межа міцності, МПа 340.0

межа витривалості, МПа 33.0

параметри зосереджених ЕЕС:

m, г	dx, мм	dy, мм	x, мм	y, мм
0.0	2.0	1.2	34.0	74.0
0.0	2.0	1.2	34.0	69.0
0.0	2.0	1.2	42.0	74.0
0.0	2.0	1.2	54.0	63.0
0.0	2.0	1.2	54.0	58.0
0.0	2.0	1.2	60.0	58.0
0.0	2.0	1.2	75.0	27.0
0.0	2.0	1.2	83.0	27.0
0.0	2.0	1.2	90.0	27.0

0.0	2.0	1.2	90.0	19.0
0.0	2.0	1.2	94.0	19.0
0.0	2.0	1.2	54.0	40.0
0.0	1.6	0.8	18.0	69.0
1.0	5.0	10.0	6.0	62.0
0.1	2.5	5.0	19.0	67.0
1.0	5.0	10.0	4.0	48.0
10.0	6.0	6.0	17.0	62.0
2.0	7.0	9.0	23.0	48.0
10.0	27.0	28.0	18.0	24.0
5.0	11.0	5.0	19.0	76.0
5.0	5.0	11.0	26.0	62.0
5.0	17.0	22.0	39.0	55.0
7.0	22.0	22.0	48.0	24.0
2.0	5.0	5.0	54.0	47.0
5.0	11.0	5.0	50.0	72.0
0.3	5.0	5.0	61.0	74.0
10.0	18.0	43.0	77.0	55.0
2.0	20.0	7.0	77.0	17.0
1.0	5.0	15.0	97.0	50.0

маса розподілених ЕЕС, г 75

параметри вібраційного впливу:

частота, Гц 30.0

амплітуда, мм 0.100

віброперевантаження, g 2

тривалість, год 0.5

параметри ударного імпульсу:

тривалість, мс 10.0
 амплітуда, g 1.00
 число ударів 10
 форма - синусоїдальна

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ:

власна частота плати, Гц 112.7

віброміцність у центрах ЕЕС:

коефіцієнти передачі прискорень та перевантаження:

N ЕЕС x, мм y, мм $\eta(x,y)$ $n_{vib}(x,y)$

1	34.000	74.000	1.946	0.311
2	34.000	69.000	2.036	0.326
3	42.000	74.000	2.034	0.325
4	54.000	63.000	2.243	0.359
5	54.000	58.000	2.312	0.370
6	60.000	58.000	2.273	0.364
7	75.000	27.000	2.096	0.335
8	83.000	27.000	1.908	0.305
9	90.000	27.000	1.718	0.275
10	90.000	19.000	1.624	0.260
11	94.000	19.000	1.508	0.241
12	54.000	40.000	2.429	0.389
13	18.000	69.000	1.713	0.274
14	6.000	62.000	1.494	0.239
15	19.000	67.000	1.772	0.283

16	4.000	48.000	1.582	0.253
17	17.000	62.000	1.799	0.288
18	23.000	48.000	2.091	0.335
19	18.000	24.000	1.902	0.304
20	19.000	76.000	1.610	0.258
21	26.000	62.000	2.008	0.321
22	39.000	55.000	2.298	0.368
23	48.000	24.000	2.341	0.375
24	54.000	47.000	2.411	0.386
25	50.000	72.000	2.100	0.336
26	61.000	74.000	2.007	0.321
27	77.000	55.000	2.033	0.325
28	77.000	17.000	1.929	0.309
29	97.000	50.000	1.539	0.246

відносні деформації:

N EEC z, мм tet(x), рад tet(y), рад

1	0.095	0.001438	-0.001858
2	0.104	0.001438	-0.001735
3	0.103	0.000742	-0.001858
4	0.124	-0.000374	-0.001500
5	0.131	-0.000374	-0.001241
6	0.127	-0.000922	-0.001241
7	0.110	-0.002111	0.000933
8	0.091	-0.002569	0.000933
9	0.072	-0.002839	0.000933
10	0.062	-0.002839	0.001403
11	0.051	-0.002932	0.001403

12	0.143	-0.000374	-0.000000
13	0.071	0.002520	-0.001735
14	0.049	0.002932	-0.001453
15	0.077	0.002469	-0.001667
16	0.058	0.002961	-0.000590
17	0.080	0.002569	-0.001453
18	0.109	0.002239	-0.000590
19	0.090	0.002520	0.001123
20	0.061	0.002469	-0.001887
21	0.101	0.002043	-0.001453
22	0.130	0.001011	-0.001061
23	0.134	0.000187	0.001123
24	0.141	-0.000374	-0.000519
25	0.110	-0.000000	-0.001817
26	0.101	-0.001011	-0.001858
27	0.103	-0.002239	-0.001061
28	0.093	-0.002239	0.001500
29	0.054	-0.002972	-0.000731

ударна міцність у центрах ЕЕС:

коефіцієнти передачі прискорень та перевантаження:

N EEC	x, мм	y, мм	eta(x,y)	nud(x,y)
1	34.000	74.000	2.162	2.162
2	34.000	69.000	2.272	2.272
3	42.000	74.000	2.269	2.269
4	54.000	63.000	2.527	2.527
5	54.000	58.000	2.612	2.612

6	60.000	58.000	2.564	2.564
7	75.000	27.000	2.346	2.346
8	83.000	27.000	2.115	2.115
9	90.000	27.000	1.882	1.882
10	90.000	19.000	1.766	1.766
11	94.000	19.000	1.624	1.624
12	54.000	40.000	2.755	2.755
13	18.000	69.000	1.875	1.875
14	6.000	62.000	1.607	1.607
15	19.000	67.000	1.948	1.948
16	4.000	48.000	1.714	1.714
17	17.000	62.000	1.982	1.982
18	23.000	48.000	2.340	2.340
19	18.000	24.000	2.108	2.108
20	19.000	76.000	1.749	1.749
21	26.000	62.000	2.238	2.238
22	39.000	55.000	2.594	2.594
23	48.000	24.000	2.648	2.648
24	54.000	47.000	2.732	2.732
25	50.000	72.000	2.351	2.351
26	61.000	74.000	2.237	2.237
27	77.000	55.000	2.268	2.268
28	77.000	17.000	2.141	2.141
29	97.000	50.000	1.662	1.662

відносні деформації:

N EEC z, мм tet(x), рад tet(y), рад

1 0.116 0.001766 -0.002281

2	0.127	0.001766	-0.002130
3	0.127	0.000911	-0.002281
4	0.153	-0.000459	-0.001842
5	0.161	-0.000459	-0.001523
6	0.156	-0.001133	-0.001523
7	0.135	-0.002592	0.001146
8	0.112	-0.003155	0.001146
9	0.088	-0.003486	0.001146
10	0.077	-0.003486	0.001722
11	0.062	-0.003600	0.001722
12	0.175	-0.000459	-0.000000
13	0.088	0.003095	-0.002130
14	0.061	0.003600	-0.001784
15	0.095	0.003031	-0.002047
16	0.071	0.003636	-0.000725
17	0.098	0.003155	-0.001784
18	0.134	0.002749	-0.000725
19	0.111	0.003095	0.001379
20	0.075	0.003031	-0.002317
21	0.124	0.002509	-0.001784
22	0.159	0.001241	-0.001303
23	0.165	0.000230	0.001379
24	0.173	-0.000459	-0.000637
25	0.135	-0.000000	-0.002231
26	0.124	-0.001241	-0.002281
27	0.127	-0.002749	-0.001303
28	0.114	-0.002749	0.001842
29	0.066	-0.003649	-0.000898

віброміцність у контрольних точках:

коефіцієнти передачі прискорень та перевантаження:

N EEC x, мм y, мм eta(x,y) nvib(x,y)

1	20.000	20.000	1.902	0.304
2	20.000	60.000	1.902	0.304
3	50.000	40.000	2.436	0.390
4	80.000	60.000	1.902	0.304
5	80.000	20.000	1.902	0.304

відносні деформації:

N EEC z, мм tet(x), рад tet(y), рад

1	0.090	0.002415	0.001351
2	0.090	0.002415	-0.001351
3	0.144	-0.000000	-0.000000
4	0.090	-0.002415	-0.001351
5	0.090	-0.002415	0.001351

ударна міцність у контрольних точках:

коефіцієнти передачі прискорень та перевантаження:

N EEC x, мм y, мм eta(x,y) nud(x,y)

1	20.000	20.000	2.108	2.108
2	20.000	60.000	2.108	2.108
3	50.000	40.000	2.764	2.764
4	80.000	60.000	2.108	2.108

5 80.000 20.000 2.108 2.108

відносні деформації:

N EEC z, мм tet(x), рад tet(y), рад

1	0.111	0.002965	0.001659
2	0.111	0.002965	-0.001659
3	0.176	-0.000000	-0.000000
4	0.111	-0.002965	-0.001659
5	0.111	-0.002965	0.001659

мінімальний коефіцієнт запаса витривалості
матеріала плати в місцях встановлення EEC
та у контрольних точках
відносно межі витривалості

$\text{sigv} = 33.0 \text{ МПа}$:

при вібраційних навантаженнях $\text{nv} = 24.33$

при ударах $\text{nu} = 19.81$

ПАРАМЕТРИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

ВХІДНІ ДАНІ:

довжина плати,	мм	100.0
ширина плати,	мм	80.0
товщина плати,	мм	1.600

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ

критерій теплопровідності від

бічних поверхонь плати $0.2 \text{ Вт/м}^2\text{.К}$

бічних поверхонь ТВЕ $0.3 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$
 критерій теплопровідності
 матеріалу плати $0.3 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$

ПАРАМЕТРИ ТЕПЛОВИДЛЯЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ:

N	розміри, мм			координати, мм		потужність	бічна	температура
	dxis	dyis	dzis	xis	yis	P Вт	поверхня S, мм ²	град С
1	5.0	10.0	0.5	6.0	62.0	7.000	50	15.1
2	11.0	5.0	18.0	19.0	76.0	1.000	55	6.4
3	5.0	11.0	18.0	26.0	62.0	2.000	55	10
4	11.0	5.0	18.0	50.0	72.0	1.000	55	6.4
5	6.0	6.0	18.0	17.0	62.0	0.500	36	2.2
6	5.0	2.5	0.4	19.0	67.0	0.500	12	3.1
7	5.0	5.0	15.0	47.0	54.0	0.500	25	3

температура оточуючого середовища, град С:

$$T_{\text{ос}} = 20.0$$

Показники надійності ЕЕС:

інтенсивність відмов $\lambda_{\text{ам}} \cdot 10^6 \text{ 1/год}$,

коефіцієнт режиму K1

функція надійності ЕЕС:

$\lambda_{\text{ам}}(1)=1.325\text{e-}01$	$K1(1)= 0.80$	$Fp(1)=0.984$
$\lambda_{\text{ам}}(2)=3.500\text{e-}04$	$K1(2)= 0.50$	$Fp(2)=0.998$
$\lambda_{\text{ам}}(3)=3.500\text{e-}04$	$K1(3)= 0.50$	$Fp(3)=0.998$
$\lambda_{\text{ам}}(4)=3.500\text{e-}04$	$K1(4)= 0.50$	$Fp(4)=0.998$
$\lambda_{\text{ам}}(5)=3.500\text{e-}04$	$K1(5)= 0.50$	$Fp(5)=0.998$

$$\lambda(6)=1.325e-01 \quad K1(6)=0.50 \quad Fp(6)=0.986$$

$$\lambda(7)=3.500e-04 \quad K1(7)=0.20 \quad Fp(7)=0.998$$

імовірність безвідмовної роботи СКМ1

для $t=1.0e+05$ годин $P(t)=0.960$

Чайка Є.О. РІ-81МП, 2019

Чайка Є.О. РІ-81МП, 2019