

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі

БПЛА  
Назва теми

КвРКІП.2001129.20.01.12 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент III курсу, група KI2c-20-1

[Підпис]  
Підпис

В.В. Брицький  
Ініціали, прізвище

Керівник

[Підпис]  
Підпис, дата

Т.М. Кисіль  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

[Підпис]  
Підпис, дата

С.М. Лисенко  
Ініціали, прізвище

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

[Підпис]  
Підпис

Т.О. Говорущенко  
Ініціали, прізвище

« 1 » червня 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорушенко

“ 11 ” 01 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Брицькому Владиславу Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА

Керівник проекту (роботи) Кисіль Т.М. к.ф-м.н., доцент.

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 05.06.2023 р.

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

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

Теоретичні основи досліджуваної проблеми

Алгоритми та стратегії планування руху дронів

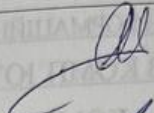



Реалізація системи боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА

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

Процесу збору, обробки та захисту інформації у системі розумної охорони здоров'я

Система моніторингу температури

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

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

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

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.09.2022	ВИКОНАНО
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	08.12.2022	ВИКОНАНО
3	Робота над розділом 1 – Теоретичні основи досліджуваної проблеми	06.02.2023	ВИКОНАНО
4	Робота над розділом 2 – Алгоритми та стратегії планування руху дронів	23.03.2023	ВИКОНАНО
5	Робота над розділом 3 – Реалізація системи боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА	25.04.2023	ВИКОНАНО
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	16.05.2023	ВИКОНАНО
7	Попередній захист ВКР	26.05.2023	ВИКОНАНО
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

Студент

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

  
Підпис

Брицький В.В.  
Ініціали, прізвище

Кисіль Т.М.  
Ініціали, прізвище



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА».

Автор роботи: Брицький Владислав Володимирович.

Керівник роботи: Кисіль Тетяна Миколаївна

Пояснювальна записка: 65 с., 31 рис., 1 табл., 3 дод., 45 джерел.


Графічна частина: 3 креслення.

### ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, COVID-19, БПЛА, ПАНДЕМІЯ

Метою розробки кіберфізичних систем на основі БПЛА (безпілотних літальних апаратів) для боротьби з пандемією коронавірусної хвороби є забезпечення ефективного та безпечного контролю промислових, громадських і приватних територій, де існує ризик поширення COVID-19.

Об'єктом дослідження Кіберфізичної системи боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА є сама система, що включає в себе апаратні та програмні засоби, а також методи та алгоритми для збору, обробки та аналізу даних, які забезпечують ефективний та безпечний контроль за виробничими, громадськими та приватними зонами





Предметом дослідження є комплексний аналіз технічних і методологічних аспектів кіберфізичних систем на основі дронів для боротьби з пандемією COVID-19, а також оцінка ризиків і безпеки, пов'язаних з їх використанням.

  
Підпис студента

01.06.2023  
Дата

## ЗМІСТ

<b>СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ</b> .....	4
<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ</b> .....	8
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань .....	8
1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих безпілотних систем ..	9
1.3 Архітектура на основі дронів для інтелектуальної системи охорони здоров'я.....	13
1.4 Постановка задачі .....	19
<b>2 АЛГОРИТМИ ТА СТРАТЕГІЇ ПЛАНУВАННЯ РУХУ ДРОНІВ</b> .....	21
2.1 Алгоритми однорівневої зонної передачі .....	23
2.2 Алгоритми багаторівневої зонної передачі .....	30
2.3 Алгоритми соціального дистанціювання .....	34
<b>3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ БОРОТЬБИ З ПАНДЕМІЄЮ КОРОНАВІРУСНОЇ ХВОРОБИ НА ОСНОВІ БПЛА</b> .....	40
3.1 Система реального часу на основі БПЛА для боротьби з COVID-19 .....	40
3.2 Симуляція з використанням БПЛА для боротьби з COVID-19 .....	45
3.3 Симуляція з використанням БПЛА для моніторингу COVID-19 у приміщеннях .....	48
3.4 Симуляція соціального дистанціювання з використанням БПЛА .....	50
3.5 Система для поліцейського моніторингу та диспетчерської для контролю за COVID-19.....	54
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	56
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....	59
<b>ДОДАТОК А</b> .....	63
Копія креслення «Процесу збору, обробки та захисту інформації у системі розумної охорони здоров'я» .....	63

				КвРКІП. 2001129.20.01.12 ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА		
Виконав		Брицький В.В.					
Перевір.		Кисіль Т.М.				2	54
Н.контр.		Лисенко С.М.			ХНУ, КІ2с-20-1		
Затвер.		Говрущенко Т.О.		01.06			

<b>ДОДАТОК Б</b> .....	64
Копія креслення «Система моніторингу температури» .....	64
<b>ДОДАТОК В</b> .....	65
Копія креслення «Результати експериментів» .....	65

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						3
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БПЛА – безпілотний літальний апарат

COVID-19 – коронавірусна хвороба

ШІ – штучний інтелект

ІоТ – Інтернет речі

КПК – кишеньковий персональний комп'ютер

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						4
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Коронавірусна хвороба (COVID-19) – нещодавно відкрите інфекційне захворювання [1]. Інфекція була невідома до спалаху в Ухані в грудні 2019 року, і протягом восьми місяців (до серпня 2020 року) було інфіковано понад 24 мільйони людей і понад 824 162 людини померли. Найпоширенішими симптомами COVID-19 є лихоманка, втома та сухий кашель, тоді як деякі люди відчувають пульсуючий біль, закладеність носа, нежить, біль у горлі або діарею [2]. Люди похилого віку з такими захворюваннями, як високий кров'яний тиск, хвороби серця або діабет, важко переживають цю хворобу; люди з лихоманкою, кашлем і утрудненим диханням повинні негайно звернутися до лікаря. Вірус поширюється при близькому контакті від людини до людини, тобто на відстані не менше одного метра, через маленькі кульки під час чхання, сморкання або розмови [2].

Ці частинки поширюються під час видиху і зазвичай падають на землю або поверхні, а не забруднюються на великі відстані [3]. Вірус може виживати до 72 годин на більшості поверхонь. Рекомендовані запобіжні заходи включають миття рук, спостереження та самоізоляцію тих, хто пов'язаний з інфекцією [2]. Це призвело до використання транспортних обмежень, карантину, локдаунів, зупинок з оцінки професійних ризиків і закриття об'єктів. З 2002 року коронавірус став важливим глобальним вірусом, який уражає тисячі людей у багатьох країнах світу в різних формах [3].

Міністерство оборони Австралії вивчає можливість створення платформ для моніторингу здоров'я та респіраторного моніторингу COVID-19 на базі безпілотників для моніторингу здоров'я та виявлення інфекційних і респіраторних захворювань, включаючи моніторинг температури, частоти серцевих скорочень і дихання, серед натовпу, трудових колективів, авіакомпаній, круїзних лайнерів, потенційних груп ризику, тобто люди похилого віку, які перебувають у закладах догляду, конференц-центрах, пунктах перетину кордону або на об'єктах критичної інфраструктури [4].

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						5
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

"Дрон" – це термін, який зазвичай використовується для позначення літального апарату, який літає, як і будь-який інший літальний апарат (літак/пілот), але з відзнакою пілота.

Традиційні літальні апарати постійно контролюються пілотом (режим автопілота не вибрано), чим відрізняються дрони. За умови, коли безпілотний літальний апарат знаходиться в аерокосмічному просторі, він називається "Платформа". Коли на нього встановлюється зовнішнє обладнання або вбудовані системи, його називають "корисним навантаженням". Приєднання корисного навантаження до платформи призводить до створення безпілотника, який можна використовувати в різних сферах застосування з підвищеною ефективністю і точністю.

Дрони використовуються для моніторингу, пильності, теплового сканування, доставки ліків, продуктів харчування, зміни системи тощо. При їх використанні централізація збору та аналізу даних є основним викликом.

Можливості сучасних безпілотних систем можуть бути розширені шляхом інтеграції функцій вимірювання соціальної дистанції, моніторингу COVID-19, збору даних за допомогою ШІ, тепловізорів, санітарної обробки з аналітикою даних, веденням обліку тощо.

Розуміння необхідності та вимог до вдосконалення систем на основі дронів для розумної системи охорони здоров'я є основною метою цієї роботи:

- 1) запропонувати стратегії руху безпілотників на основі зон, що виключають зіткнення;
- 2) запропонувати систему на основі штучного інтелекту, яка збирає дані за допомогою дронів, аналізує їх і забезпечує необхідні заходи безпеки;
- 3) запропонувати багаторівневу архітектуру, яка збирає інформацію з дронів та обмінюється даними з периферійними пристроями, хмарними серверами для необхідних обчислень, обміну даними та аналітики;
- 4) змодельувати систему на базі безпілотників для операцій з боротьби з COVID-19, таких як моніторинг, контроль, тепловізор, санітарія, соціальне

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						6
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

дистанціювання, медикаментозне лікування, аналіз даних та генерація статистики для диспетчерської;

5) впровадити систему на базі дронів у режимі реального часу для санітарної обробки, моніторингу, пильності, розпізнавання облич, теплового сканування тощо у гарячих точках COVID-19;

б) розробити та представити статистичні дані щодо інтелектуальних систем охорони здоров'я на основі дронів.

Ця робота починається з аналізу необхідності проектування, розробки, моделювання та впровадження системи охорони здоров'я на основі безпілотників для сценарію COVID-19. Враховуючи існуючі системи на основі дронів та їхні особливості, пропонується система на основі дронів, придатна для ситуації пандемії COVID-19 або інших вірусів грипу.

Запропонований підхід інтегрує процеси штучного інтелекту для збору даних, аналізу, статистичної візуалізації, обміну та прийняття рішень. У цій роботі проводиться як моделювання, так і реалізація в реальному часі для операцій, пов'язаних з COVID-19 (санітарна обробка, медикаментозне лікування, моніторинг, тепловізійне спостереження тощо).

Під час симуляції розглядаються декілька сценаріїв використання безпілотників в операціях з боротьби з COVID-19. Крім того, для оцінки запропоновано і експериментально випробувано кілька стратегій стійкості дронів до зіткнень і їх використання в умовах COVID-19 на відкритому повітрі і в приміщенні.

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						7
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ

## 1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

Предметна область дронів у боротьбі з COVID-19 є досить широкою та включає в себе такі аспекти, як:

1) використання дронів для дезінфекції. Дрони можуть бути використані для розпилення дезінфікуючих засобів у громадських місцях, таких як вулиці, парки, торгові центри та інші місця з великою кількістю людей. Це може бути корисним у зв'язку з тим, що масова дезінфекція великих територій традиційними методами є досить складною та часом недоцільною;

2) використання дронів для транспортування медичного обладнання та засобів індивідуального захисту. Дрони можуть бути використані для транспортування різного роду медичного обладнання, такого як рентген-апарати, вентилятори, інфузійні насоси та інші засоби медичного захисту;

3) використання дронів для доставки медичних засобів і матеріалів. Дрони можуть бути використані для доставки медичних засобів та матеріалів у важкодоступні місця, такі як гірські райони, острови, віддалені сільські райони тощо;

4) використання дронів для моніторингу та контролю за виконанням карантинних заходів. Дрони можуть бути використані для відстеження людей, які порушують карантинні обмеження, а також для контролю за станом маскової режиму та дотриманням соціальної дистанції.

Вимоги при розробці, моделюванні, впровадженні та аналізі розумної охорони здоров'я на основі дронів включають в себе наступні:

1) побудова, проектування і аналіз безпілотних мереж для охорони здоров'я або інших застосувань є найменш поширеними;

2) підвищення продуктивності і якості обслуговування в умовах обмежених ресурсів безпілотного пристрою, що збирає медичні дані з гетерогенних датчиків;

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						8
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- 3) мережа і маршрутизація безпілотників без зіткнень;
- 4) багаторівневий політ безпілотників;
- 5) екологічно чиста система зарядки дронів у повітрі на основі сонячної енергії;
- 6) тестування системи на основі дронів в умовах пандемії (наприклад, COVID-19) для різних операцій, таких як моніторинг, пильність, санітарна обробка, медикаментозне лікування, тепловізійні дослідження і т.д.;
- 7) застосування штучного інтелекту в операціях з використанням дронів.

Хоча дрони можуть бути корисними у боротьбі з COVID-19, але використання їх також пов'язане з певними проблемами:

- 1) проблеми з безпекою: при роботі з дронами існує ризик для людей, які знаходяться в безпосередній близькості від дрона;
- 2) проблеми зі збереженням та транспортуванням. Дрони можуть бути важкими та вимагати складних систем зарядки, що ускладнює їх транспортування та зберігання;
- 3) проблеми з точністю доставки. Дрони можуть бути обмежені у своїй точності та вміння доставляти засоби медичного захисту, тому вони можуть не бути досить ефективними у наданні допомоги в важкодоступних місцях;
- 4) проблеми з контролем якості дезінфекції. При використанні дронів для дезінфекції вулиць та інших громадських місць, важливо контролювати якість дезінфекції та переконатися, що всі місця були розпиленими правильним чином.

## 1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих безпілотних систем

Для аналізу переваг та недоліків існуючих БПЛА для різних сфер застосувань розглянемо декілька варіантів:

- 1) DJI Phantom 4 Pro, зображений на рисунку 1.1. Дрон з високоякісною камерою, що дозволяє знімати відео та фото з повітря з високою роздільною здатністю. Цей дрон має низку функцій, таких як автопілот, система перешкод, GPS-навігація та інші, що дозволяють йому стабільно літати та виконувати точні

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк. 9
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

маневри. DJI Phantom 4 Pro також має режими зйомки, такі як ActiveTrack, TapFly та інші, які дозволяють автоматично знімати зображення з різних кутів та перспектив [5].

Переваги:

- 1) висока якість зображення та відео з 4К камерою;
- 2) ємний акумулятор, що дозволяє до 28 хвилин польоту;
- 3) легко керувати з використанням додатку на смартфоні або планшеті;
- 4) підтримує режими автоматичного польоту, такі як "поїздка", "пошук" та інші.

Недоліки:

- 1) відносно великі габарити, що може складати певні проблеми під час транспортування;
- 2) дорога вартість порівняно з іншими моделями;
- 3) обмеження висоти польоту в залежності від локалізації (наприклад, обмеження в США до 120 метрів).



Рисунок 1.1 – DJI Phantom 4 Pro

2) Parrot Anafi, зображений на рисунку 1.2. Дрон оснащений різноманітними датчиками, такими як GPS, гіроскоп, акселерометр та інші, що дозволяє йому легко стабілізуватися в повітрі та виконувати точні маневри [6].

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ

Арк.  
10

Parrot Anafi також має додаткові функції, такі як режим SmartDronies, що дозволяє дрону автоматично знімати знімки та відео з різних кутів, а також можливість встановлення різних фільтрів та ефектів на зображення під час зйомки.

Переваги:

- 1) наявність 4K HDR камери з 21-мегапіксельним датчиком;
- 2) довгий час польоту - до 25 хвилин;
- 3) можливість згорнути в компактну форму для зручності перенесення;
- 4) підтримка режиму FPV (перегляд з першої особи).

Недоліки:

- 1) нестійкий до вітру, що може складати певні проблеми під час польоту;
- 2) обмеження висоти польоту в залежності від країни (наприклад, 50 метрів у Франції);
- 3) відсутність опції "поїздки" або "пошуку".



Рисунок 1.2 – Parrot Anafi

3) DJI Mavic 2 Pro зображений на рисунку 1.3. Mavic 2 є першим квадрокоптером, оснащеним машинним зором, спрямованим на всі боки. Пристрій отримав фронтальну, нижню і тильну стереокамери, інфрачервоні

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ

Арк.  
11

датчики висоти, які оснащені підсвічуванням, бічні сенсори вимірювання дистанції та верхні інфрачервоні датчики [7].

Переваги:

- 1) наявність камери з 4К роздільною здатністю та 20-мегапіксельним датчиком;
- 2) легка вага і компактні розміри, що дозволяють з легкістю переносити;
- 3) вбудований об'єктив з фокусною відстанню 28 мм та діафрагмою f/2.8- f/11;
- 4) дальність польоту до 8 км.

Недоліки:

- 1) висока вартість, що робить його недоступним для деяких користувачів;
- 2) обмежена продуктивність в змінних погодних умовах, таких як дощ, туман та сильний вітер;
- 3) відсутність додаткових датчиків, які є на деяких інших дронах, таких як сенсори унікальних об'єктів та гучномовці;
- 4) швидкість польоту обмежена до 72 км/год.



Рисунок 1.3 – DJI Mavic 2 Pro

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ

Арк.  
12

Також розглянемо аналіз переваг та недоліків існуючих безпілотних систем в різних сферах застосувань.

Військова сфера застосування:

- 1) переваги: військові БПЛА можуть допомогти у зборі розвідувальної інформації, виконанні патрулювання території, та навіть удару по ворогові;
- 2) недоліки: потенційно небезпечні для цивільних людей, можуть порушувати приватність, можуть стати об'єктом хакерських атак.

Використання для доставки товарів:

- 1) переваги: швидкі та ефективні доставки відбуваються без участі людей, що може знизити ризик поширення інфекційних захворювань;
- 2) недоліки: дрони не можуть перевозити великі та важкі товари, залежать від погодних умов, та можуть бути підвержені крадіжці.

Моніторинг довкілля та сільськогосподарське використання:

- 1) переваги: дрони можуть допомогти виявити забруднення довкілля, контролювати стан сільськогосподарських культур та поліпшувати виробничі процеси;
- 2) недоліки: дрони не можуть забезпечити повну картину довкілля, залежать від погодних умов та можуть вимагати високої технічної підготовки для ефективного використання;

Використання для охорони здоров'я:

- 1) переваги: дрони можуть допомогти забезпечити швидку та ефективну доставку медикаментів, тестів на COVID-19, та інших необхідних засобів медичного призначення;
- 2) недоліки: дрони можуть бути підвержені крадіжці, або можуть потребувати спеціальних дозволів для польотів, що може затримати доставку.

1.3 Архітектура на основі дронів для інтелектуальної системи охорони здоров'я

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



зображення людей і можуть бути корисними для вимірювання соціальної дистанції та теплового сканування на основі щільності. Використовуючи цю систему, сканер камери виявляє об'єкт і подає сигнал для відображення теплового зображення.

Якщо зображення не є чітким для теплового відображення, воно стає чітким за допомогою системи виявлення та одиниць виміру.

2) сенсорна система: архітектура передбачає розгортання датчиків у зоні спостереження. Розгортання датчиків включає в себе натільні датчики і датчики виявлення руху, встановлені на землі поблизу цільових зон спостереження і обслуговування. Вони дозволяють збирати необхідні дані, аналізувати їх і генерувати статистичні дані.

Датчики виявлення руху, обробка зображень тощо можуть бути використані для моніторингу пандемії COVID-19. На рисунку 1.5 показана система моніторингу людини на основі дрону з використанням натільних датчиків. Людина, за якою ведеться спостереження, безперервно контролюється за допомогою натільних датчиків.

Дрони, розміщені ближче до населення для збору даних про пацієнта з натільних датчиків або тепловізорів, отримують і зберігають дані в пам'яті дрона. Збережені дані пересилаються до сховища великих даних через кілька серверів. Ці сервери використовують периферійні, туманні та хмарні обчислення для обробки, моделювання, профілювання та аналізу даних.

Проаналізовані та уточнені дані передаються лікарням з відповідною інформацією. Таким чином, лікарням буде набагато зручніше заздалегідь планувати ресурси на випадок надзвичайних ситуацій. Дані про пацієнта безпечно передаються лікарю/лікарні в міру необхідності.

Ця пропозиція виявилася дуже зручною для подолання пандемічних ситуацій, таких як COVID-19. У ситуаціях пандемії, коли такі дані, як час і місце збору даних, чисельність населення, профілювання особи, методи збору даних тощо, доступні, було б набагато зручніше для всіх керувати заходами та подіями.

Таким чином, було б набагато зручніше виявляти нульового пацієнта з

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						15
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## Drone-based Patient Monitoring

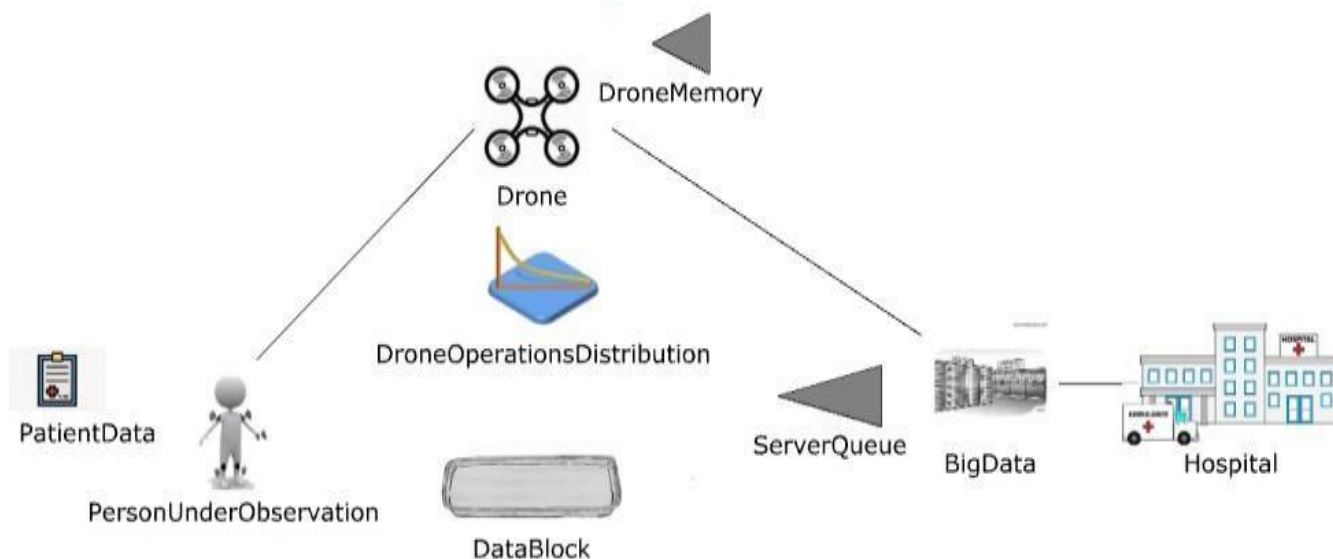


Рисунок 1.5 – Система моніторингу людей на основі безпілотної з використанням даних з натільних датчиків

3) периферійна мережева обчислювальна система: ця система застосовує периферійні обчислення для моделювання даних і початкового прийняття рішень.

Периферійні обчислення не отримують всі дані з дрона. Дрон виконує самообробку і зберігає дані дискретно.

Периферійні обчислення економлять час і ресурси, зберігаючи збір, попередню обробку та аналіз даних в режимі реального часу. Таким чином, периферійні обчислення допомагають дронам приймати швидкі рішення в режимі реального часу.

Ці рішення початкового рівня корисні для безпілотної, які потребують інструкцій і працюють в межах встановленого часу.

У запропонованій системі система периферійних обчислень іноді повинна приймати рішення локально, а іноді – надсилати дані на туманні сервери для подальшої детальної обробки. Вартість передачі даних на туманні сервери зростає зі збільшенням масштабованості датчиків, Інтернету речей та мереж дронів.

4) туманна мережева обчислювальна система: ця система додає послуги туманних обчислень в архітектуру процесів профілювання, моніторингу та прийняття рішень, що виконуються на початковому етапі.

Аналіз даних може бути використаний для розумного та інтелектуального профілюванні траєкторії руху, моніторингу та прийнятті рішень.

У цій системі кілька дронів збирають інформацію про людину, яка відрізняється за різними ознаками. Такий спосіб збору даних дуже зручний для створення профілю людини. Аналогічно, профіль COVID-інфікованої особи допомагає відстежувати ланцюжок випадків захворювання на COVID- 19.

5) хмарна мережева обчислювальна система: ця система застосовує сервіси прикладного рівня для таких видів діяльності, як розпізнавання образів, моніторинг, прийняття рішень і масштабна санітарна обробка.

Високоякісні ресурси хмарних обчислень пропонують можливості для всебічної аналітики та прийняття рішень порівняно з іншими рівнями.

б) дрон-система: система охорони здоров'я на основі дронів має ряд переваг перед моніторингом на основі відеоспостереження, включаючи:

– можливість охоплення тих ділянок, які приховані в кадрах відеоспостереження;

– дрони є багатоцільовими, їх можна використовувати для доставки ліків, санітарної обробки, тепловізійної зйомки, сканування і т.д.;

– дрони можуть спостерігати за пацієнтом з близької відстані, в порівнянні з відеоспостереженням. Медичні датчики, прикріплені до дрона (такі як акселерометри, біосенсори тощо), можуть вимірювати стан пацієнта точніше, ніж камери відеоспостереження;

– гучний шум притаманний не всім типам дронів. Існують дрони (наприклад, DJI Mavic Pro Platinum, Parrot Mambo та DJI Phantom 3 Pro), які краще підходять для використання в лікарнях у приміщеннях. У запропонованій системі один або кілька дронів переміщуються по всьому приміщенню і за потреби отримують необхідну інформацію/інструкції з датчиків.

Дані спочатку обробляються на дроні для отримання початкових інструкцій.

Після цього вони передаються в інші системи для подальшої детальної обробки.

7) система моніторингу та управління COVID-19: У цій системі відстежуються дрони, зони спостереження та пов'язана з ними статистика. Ця система допомагає дистанційно відстежувати гарячі точки COVID-19 і планувати необхідні дії. Крім того, можна також вимірювати і контролювати продуктивність і переміщення окремих дронів.

Збирання, обробка та безпека інформації: запропонована інтелектуальна система охорони здоров'я на основі дронів має на меті збирати інформацію про людину за допомогою дронів, а потім віддалено передавати її в лікарню.

На рисунку 1.6 показано процес збору, обробки та захисту інформації за допомогою дронів у запропонованій системі розумної охорони здоров'я.

На даному рисунку дані передаються у захищеному вигляді, щоб дані були захищені використовуємо додаток Lightbridge – це бездротова передавальна система, розроблена компанією DJI для відеозйомки з висоти.

Вона забезпечує з'єднання між дроном DJI і пультом управління, а також передачу відео в реальному часі на землю. Таким чином, оператор може бачити зображення з камери дрона під час польоту.

Додаток Lightbridge в системі безпілотників гарантує, що тільки авторизовані пристрої отримують дані.

Завдяки додатку Lightbridge декілька дронів у розподіленій архітектурі можуть отримувати дані в захищеному тунелі.

Локальні дрони для збору даних використовують криптографічні примітиви та протоколи для безпечного зберігання даних. Зібрані дані передаються призначеній урядом медичній комісії.

У ручному процесі обміну даними, дані збирає державний службовець. Тоді як автоматизований обмін даними використовує наскрізний захищений тунель обміну даними.

Лікарні збирають дані з державної системи, за допомогою захищеного тунелю обміну даними.

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						18
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 – Потік збору, обробки та захисту інформації.

#### 1.4 Постановка задачі

Постановка задачі кіберфізичної системи боротьби з COVID-19 на основі БПЛА полягає в наступному: необхідно створити кіберфізичну систему на основі безпілотних літальних апаратів, яка забезпечуватиме боротьбу з COVID-19 шляхом контролю та дезінфекції громадських місць.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення цієї мети, можуть бути наступними:

1) розробити програмне забезпечення та апаратну частину для безпілотних літальних апаратів, яка забезпечуватиме контроль над апаратом, планування маршруту, а також збір та передачу інформації про дезінфекцію;

2) розробити систему з дезінфекції, яка відповідатиме вимогам санітарних норм та стандартів. Для цього можуть використовуватись різні методи дезінфекції, такі як ультрафіолетове опромінення або розпилення дезінфікуючих розчинів;

3) використовувати БПЛА для контролю дотримання маскового режиму, а також вимог соціальної дистанції. Для цього можуть використовуватись камери високої роздільної здатності та інфрачервоні сенсори;

4) створити систему збору даних, яка відстежуватиме кількість дезінфікованих місць, кількість людей, які дотримують масковий режим та соціальну дистанцію, а також інші важливі дані, що дозволять оцінити ефективність системи та внести необхідні корективи;

5) забезпечити високу безпеку використання безпілотних літальних апаратів для забезпечення безпечного руху в повітрі та запобігання аварій. Для цього можуть використовуватись системи автоматичного управління та датчики, які будуть відслідковувати параметри польоту;

6) забезпечити стабільну та безперебійну роботу системи, а також захист від хакерських атак та вірусів. Для цього можуть використовуватись різні заходи з кібербезпеки, такі як шифрування даних, захист мережі та пристроїв від злому, а також використання системи резервного копіювання даних;

7) забезпечити ефективне використання ресурсів, таких як час та енергія, при дезінфекції та контролі дотримання правил боротьби з COVID-19. Для цього можуть використовуватись алгоритми та системи оптимізації роботи безпілотних літальних апаратів.

Отже, метою кіберфізичної системи боротьби з COVID-19 на основі БПЛА є забезпечення контролю та дезінфекції громадських місць з метою запобігання поширенню коронавірусної інфекції.

Для цього необхідно вирішити ряд технічних та організаційних задач, зокрема розробити програмне забезпечення та апаратну частину, створити систему дезінфекції, забезпечити контроль дотримання маскового режиму та соціальної дистанції, створити систему збору даних та забезпечити безпеку використання безпілотних літальних апаратів.

## 2 АЛГОРИТМИ ТА СТРАТЕГІЇ ПЛАНУВАННЯ РУХУ ДРОНІВ

Дрони на основі штучного інтелекту збирають необроблені дані з мереж Інтернету речей і можуть перетворити їх на корисні та дієві результати. Даний підхід допомагає декільком дронам співпрацювати, обмінюватися даними, обробляти їх і відстежувати пандемію.

Дрони зі ШІ можуть бути корисними для збору наземної інформації про пандемію, оцінювати поширення вірусу COVID-19, і виконувати теплове сканування для точного виявлення та діагностики проблем. Усю цю статистику операцій з COVID-19 можна ефективно обчислити, якщо збирати дані систематично.

Таким чином, географічну зону буде розподілено на кілька зон для роботи дронів проти COVID-19, як показано на рисунку 2.1. Тут формуються квадратні зони з відстанню  $r$ , і в кожній зоні планується площа, яку може покрити один дрон.

Алгоритм 1 показує об'єднаний процес навчання дрона перед тим, як він надасть доступ до своїх даних. Таким чином, кожен дрон може контролювати свою зону на основі індивідуального досвіду.

Алгоритм 1 передбачає застосування моніторингу пацієнта, теплового сканування та ідентифікації зображення з подальшим вимірюванням температури тіла пацієнта.

У дрон-системі дрони можуть контролювати датчики та інфраструктуру з підтримкою Інтернету речей, а їхні рухи важливо відслідковувати для уникнення зіткнень.

Таким чином, зонний підхід не допускає жодних зіткнень. У кожній зоні є область, де зіткнення є можливим. Якщо будь-який дрон наближається до зони можливого зіткнення, він надсилає сигнал усім сусіднім дронам для уникнення зіткнення. Тепер, якщо будь-який дрон, який хоче перетнути свою зону з різних причин, таких як потреба у високому заряді батареї, довший час роботи, несправність певних дронів, потреба у спеціалізованих дронах,

чергування змін дронів тощо, можуть бути застосовані алгоритми перенесення зон з використанням компонентів штучного інтелекту, що базуються на досвіді. Стратегії перенесення зон поділяються на одно- та багаторівневі алгоритми.

Алгоритм 1: Комбінована підготовка до роботи в зоні безпілотників (спостереження, санітарія тощо).

Мета: Інтегрувати самонавчання окремих дронів на основі зон для отримання досвіду боротьби з COVID-19 та безпечного обміну даними з периферійними пристроями, туманими обчисленнями та хмарними серверами.

Пояснення: Нехай  $N_1$  позначає мережу з  $l^{\text{th}}$  дронів,  $Z_i$  позначає  $i^{\text{th}}$  зону в області;  $D_j^i$  показує  $j^{\text{th}}$  дронів в  $i^{\text{th}}$  зоні, а  $P_k^i$  позначає  $k^{\text{th}}$  пацієнтів в  $i^{\text{th}}$  зоні.

$\tau$  – вказує на довжину та ширину однієї зони;  $\delta$  – часовий інтервал сканування зони дроном.  $Q_{Z_i}^{N_l}$  позначає вимірювання QoS для  $Z_i$  в  $N_l$ .  $C_{Z_i}^{N_l}$  – показник COVID – 19.  $E^{N_l}$  – позначає граничний сервер, який використовується для обчислення статистики  $N_l$ . Тоді  $Z_{i+n+1} = Z_i$

1. For each :
2. For each :
3. Зв'язати  $D_j^i$  з кожним  $P_k^i$
4. For each  $\delta$  періоду:
5. Зібрати дані на основі датчиків для сканування COVID-19, теплових зображень, температури та інших вимірювань
6. If ( $P_k^i$  температура тіла з часом підвищується) then
7. Розпочати санітарну обробку та лікування
8. End if
9.  $\delta = \delta + \delta$
10. End For
11. Вимірюємо  $Q_{Z_i}^{N_l}$  та  $C_{Z_i}^{N_l}$
12. End For
13. End For

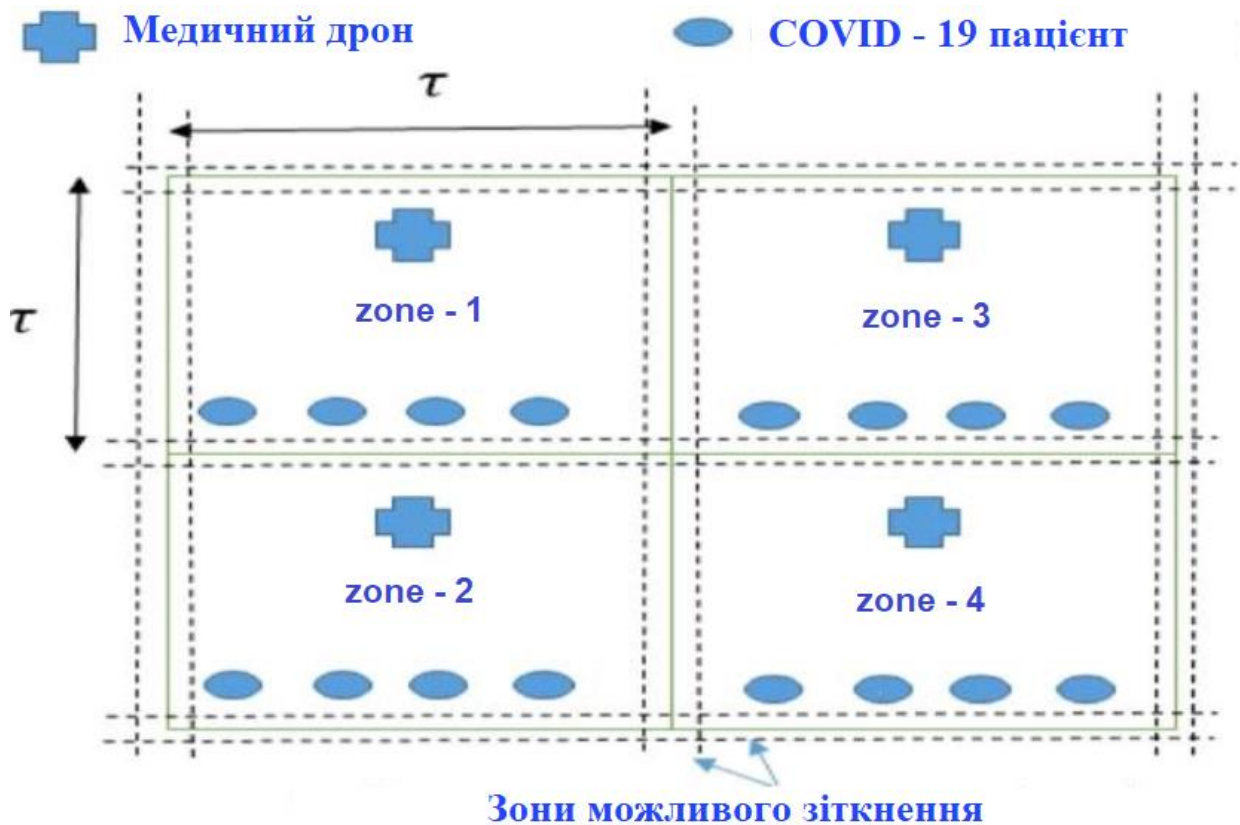


Рисунок 2.1 – Запропонована стратегія уникнення зіткнень для мережі БПЛА

## 2.1 Алгоритми однорівневої зонної передачі

У цьому розділі представлено три алгоритми перенесення зон: перенесення фіксованої зони, перенесення по зигзагу та паралельні рухи.

На рисунку 2.2 запропоновано однорівневу зону передачі з фіксованою площею. У цьому підході дронам дозволяється змінювати або обмінюватися зонами, використовуючи зону переміщення.

Ця зона заздалегідь планується для зберігання принаймні одного дрона. Обмін дозволений, якщо обидві зони передачі (зліва направо і справа наліво), що з'єднуються між собою, порожні.

На рисунку 2.3 показано симуляцію одношарової системи передачі зон. Наприклад, якщо в кожній зоні-1 і зоні-3 знаходиться по одному дрону, і вони хочуть обмінятися позиціями, то ділянки передачі зон, позначені стрілками, допоможуть їм помінятися позиціями без зіткнення.

Алгоритм 2: Стратегія передачі зони для БПЛА із фіксованою зоною

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Мета: перемістити або обміняти дрони з однієї зони в іншу без зіткнення з фіксованою зоною переміщення.

Пояснення: принцип дій такий самий, як і в алгоритмі 1. Лише додатково  $T^{LR}$  та  $T^{RL}$  позначають  $0^{th}$  зони перенесення з лівої в праву зону і навпаки

1. Розподілити по одному  $D_j^i$  в кожній  $Z_i$
2. For each операції дронів COVID-19:
3. if ( $D_j^i$  в  $Z_i$  та  $D_j^{i+1}$  в  $Z_{i+1}$  хочуть помінятися місцями), then
4. if ( $T^{LR}$  та  $T^{RL}$  порожні), then
5. Move  $D_j^i$  в  $Z_i$  на  $Z_{i+1}$
6. Move  $D_j^i$  в  $Z_{i+1}$  на
7. End if
8. Else If ( $T^{LR}$  не порожній) then:
9. Move  $D_j^i$  в  $Z_i$  на  $T^{RL}$
10. While ( $T^{LR}$  не порожній):
11. Wait  $D_j^i$  в  $T^{RL}$
12. End While
13. Move  $D_j^i$  в  $T^{RL}$  на  $Z_{i+1}$
14. Move  $D_j^i$  в  $Z_{i+1}$  на  $Z_i$
15. End If
16. Else If ( $T^{RL}$  не порожній) then:
17. Move  $D_j^{i+1}$  в  $Z_{i+1}$  на  $T^{RL}$
18. While ( $T^{RL}$  не порожній):
19. Wait  $D_j^i$  в  $T^{RL}$
20. End While
21. Move  $D_j^{i+1}$  в  $T^{RL}$  на  $Z_i$
22. Move  $D_j^i$  в  $Z_i$  на  $Z_{i+1}$
23. End if
24. End if

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

25. Else

26. Запустити теплове сканування, соціальне дистанціювання, виявлення гарячих точок COVID-19, санітарну обробку та аналіз даних через кожні  $\delta$  інтервалів.

27. End if

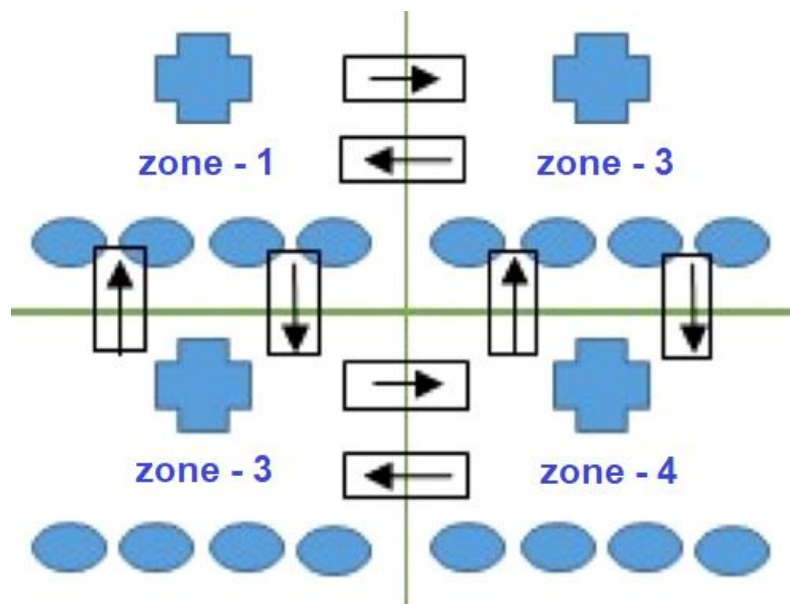


Рисунок 2.2 – Однорівнева зона передачі з фіксованою площею

На рисунку 2.4 показано зигзагоподібний рух. Тут дрон входить у зону із зони входу та використовує зазгагоподібну стратегію для переміщення в межах зони. Алгоритм 3 детально пояснює цю стратегію.

Крім того, алгоритм 4 допомагає ідентифікувати поточну зону будь-якого дрона, передаючи значення індексу.

Це значення індексу також може бути зіставлене зі значенням (широта, довгота).

Крім того, зона доцільності зіткнення в кожній зоні дозволить уникнути зіткнень на малих відстанях.

На рисунку 2.5 показана однорівнева стратегія руху дронів, коли декілька дронів можуть увійти в зону через декілька паралельних точок входу в зону. Алгоритм 5 детально пояснює цю стратегію.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

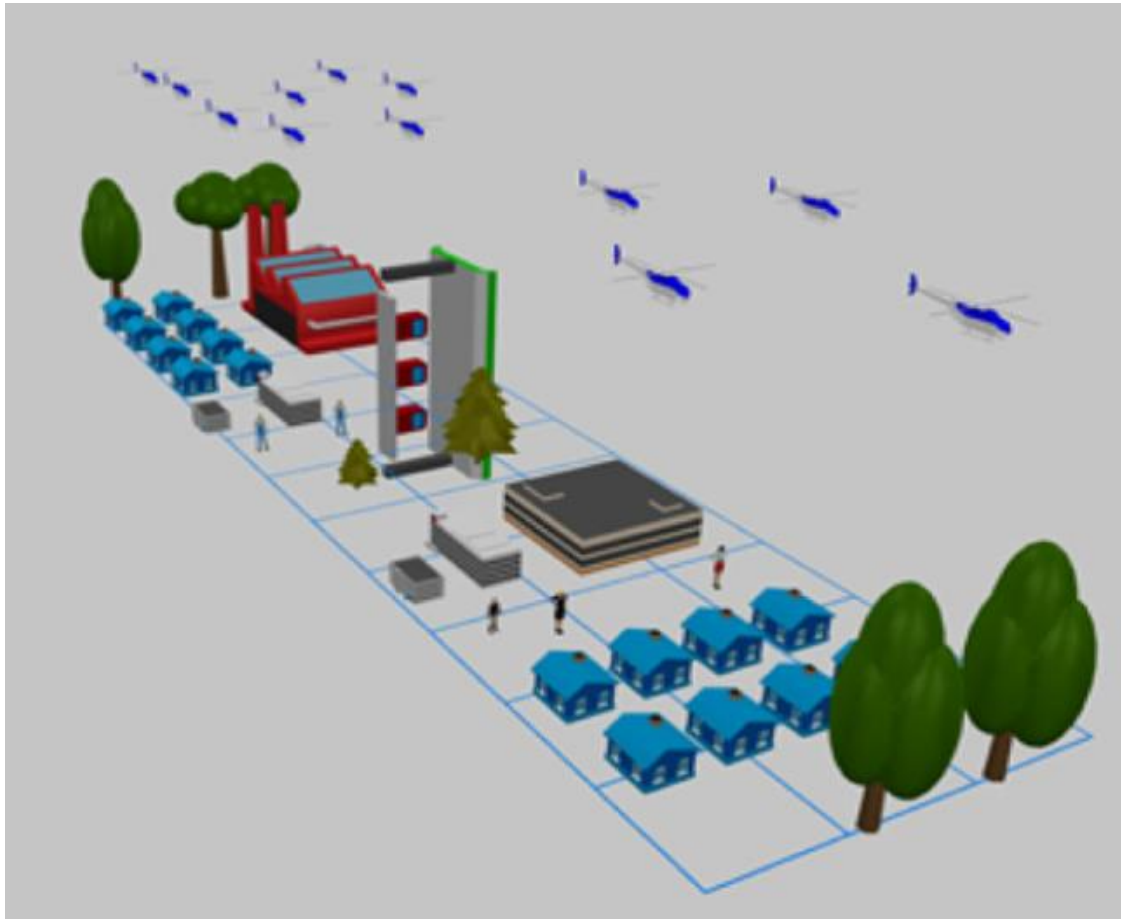


Рисунок 2.3 – Однорівнева система на основі БПЛА для COVID-19 (3D-вид)

Алгоритм 3: Зигзагоподібна стратегія перенесення зони.

Зигзагоподібна стратегія перенесення зони дронів є одним із способів ефективного використання дронів для покриття великих площин. Ця стратегія полягає в тому, щоб дрони рухалися в зигзагоподібному маршруті над площиною, покриваючи її усю з висоти.

Мета: перемістити або обміняти дрони з однієї зони в іншу за зигзагоподібною стратегією.

Пояснення: принцип дій такий самий, як і в алгоритмі 2. Додатково (a ,b) позначають значення індексу в матриці зон  $n \times n$ ,  $\delta$  - інтервал між двома переміщеннями дрона.

Припущення: задана область розбита на  $n \times n$ -зонну матрицю і кожна зона має площу  $r^2$ .

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



1. Встановити індекс = [ ].
2. For  $k = 0$  to  $n^2 - 1$ :
3.   if  $k \geq n * (n + 1)/2$ :
4.     (a, b) = Індекс\_матриці\_верхньої\_зони(k, n)
5.   else
6.     (a, b) = Індекс\_матриці\_нижньої\_зони(k, n)
7.   End If
8.     Додати (a, b) до індекса
9. End For
10.   Встановити  $j = 0$
11.   For each (інтервалу):
12.   For (a, b) в індекс:
13.     if (a, b) пуста:
14.       Move  $D_j^i$  на (a, b)
15.     End If
16.   End For
17.    $j = j + 1$
18. End For each

Функція Індекс\_матриці\_верхньої\_зони(k, n)

1.   a, b = Індекс\_матриці\_верхньої\_зони( $n*n-1-k$ , n)
2.   return (n-1-a, n-1-b)

Функція Індекс\_матриці\_нижньої\_зони(k,n)

1.  $a = \sqrt{1 + 8 * k} - 1/2$
2.  $b = k - a * \frac{(a+1)}{2}$
3.   if  $a \neq 0$ :
4.     return (b, a-b)
5.   Else
6.     return (a-b, b)
7.   End If

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

Алгоритм 4: Визначення поточного положення дрона за допомогою стратегії передачі зигзагоподібної зони

Мета: Визначити поточну зону польоту дрона для оперативного управління

Пояснення: принцип дій такий самий, як і в алгоритмі 3

1. For each  $D_j^i$
2.  $Z_i = \text{Drone\_Zone\_Value}(a, b, n)$
3. End For

Function Drone\_Zone\_Value(a, b, n)

1. if  $a+b \geq n$ ;
2. return  $n*(n-1) - \text{Drone\_Zone\_Value}(n-1-i, n-1-j, n)$
3. Else
4.  $k = \frac{(a+b)*(a+b+1)}{2}$
5. if  $(a+b) \neq 0$ :
6. return  $k+a$
7. Else
8. return  $k+b$
9. End if
10. End if

Алгоритм 5: Однорівнева стратегія паралельного руху

Мета: перемістити або обміняти дрони з однієї зони в іншу за допомогою паралельного переміщення дронів.

1.  $l = 0$
2.  $a=0$ :
3. While (True):
4. For  $b=0$  to  $n$ :
5. Move  $D_{j+l}^i$  to (a, b)
6. Move  $D_{j+l+1}^i$  to (a+1, b)
7. Move  $D_{j+l+2}^i$  to (a+2, b)
9. Move  $D_{j+l+n}^i$  to (a+n, b)

10. End For
11. if  $\delta$  інтервал витрачено:
12.  $l = l+1$
13. End If
14. End While

## 2.2 Алгоритми багаторівневої зонної передачі

Алгоритми багаторівневої зонної передачі використовуються для ефективної маршрутизації дронів у вузьких і затінених середовищах, де прості алгоритми маршрутизації можуть бути неефективними або непридатними.

Вони використовуються для ефективної маршрутизації дронів у складних середовищах, де існують перешкоди або затінені області, які ускладнюють пряму комунікацію між дронами.

У цьому розділі представлено два алгоритми багаторівневого перенесення зон: дворівневе перенесення зон та гібридне перенесення зон.

На рисунку 2.6 показано двошарову стратегію передачі дронів.

Верхній рівень вважається рівнем передачі зони, а нижній рівень вважається операційним рівнем COVID-19.

Переходи між рівнями для уникнення зіткнень здійснюються шляхом переходу від операційного рівня (рівень 2) до рівня передачі зони (рівень 1).

Наприклад, дрони у зоні – 2 та зоні – 4 хочуть помінятися місцями. Отже, дрони зони – 2 і зони – 4 переходять з рівня – 2 на рівень – 1. Потім дрони зони – 3 з рівня – 1 переходять у зону 2 на рівень – 2, а дрони зони – 1 на рівні – 1 переходять у зону 4 на рівень – 2.

На рисунку 2.7 та рисунку 2.8 показано моделювання дворівневого підходу на основі дронів у 2D та 3D видах відповідно.

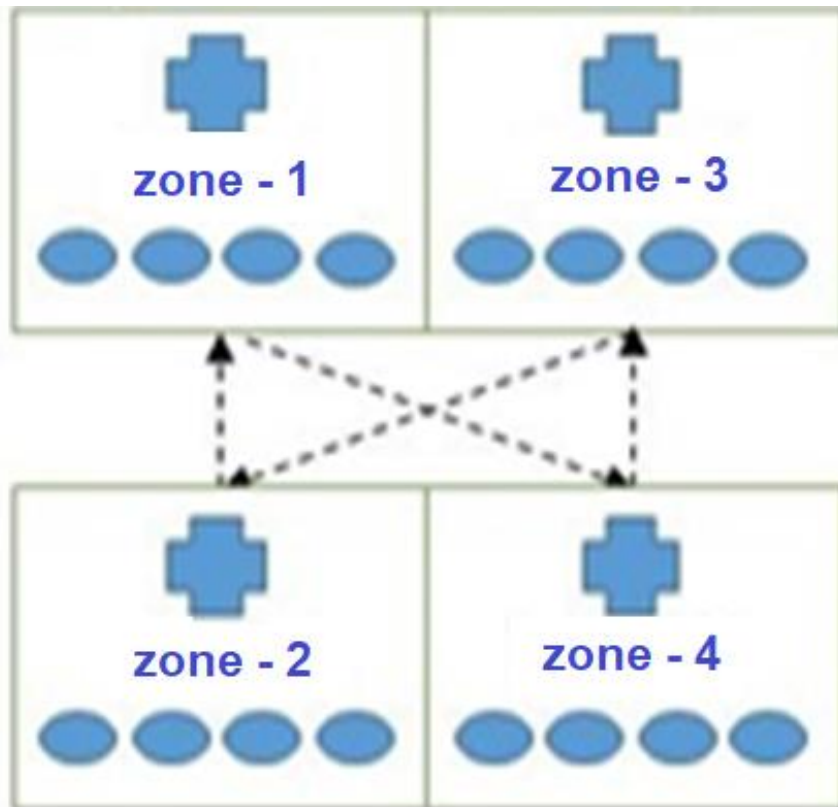


Рисунок 2.6 – Дворівнева стратегія перенесення зон

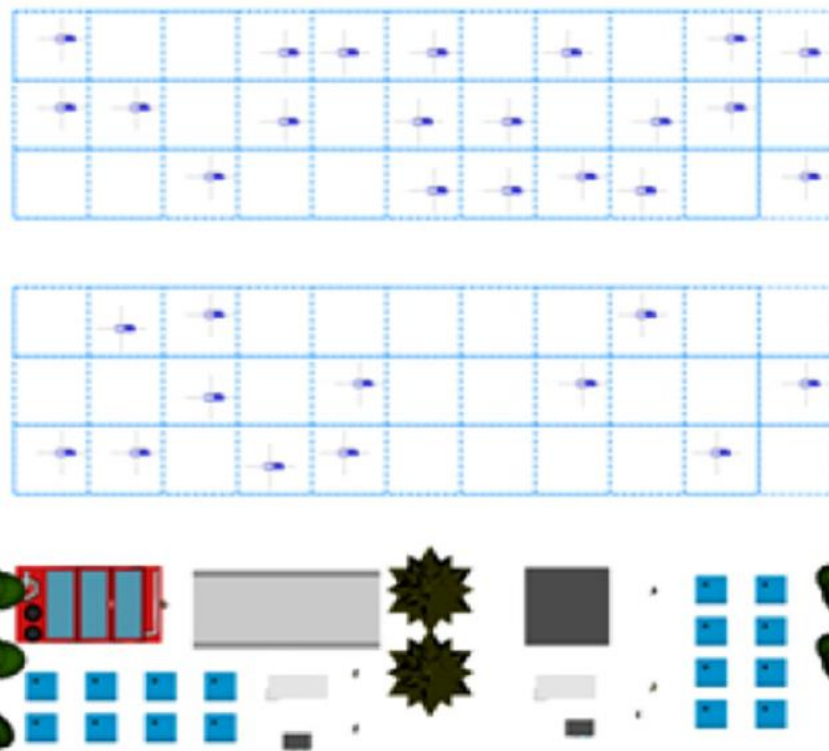


Рисунок 2.7 – Дворівнева система на основі безпілотників для боротьби з COVID-19 (2D-вигляд)

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

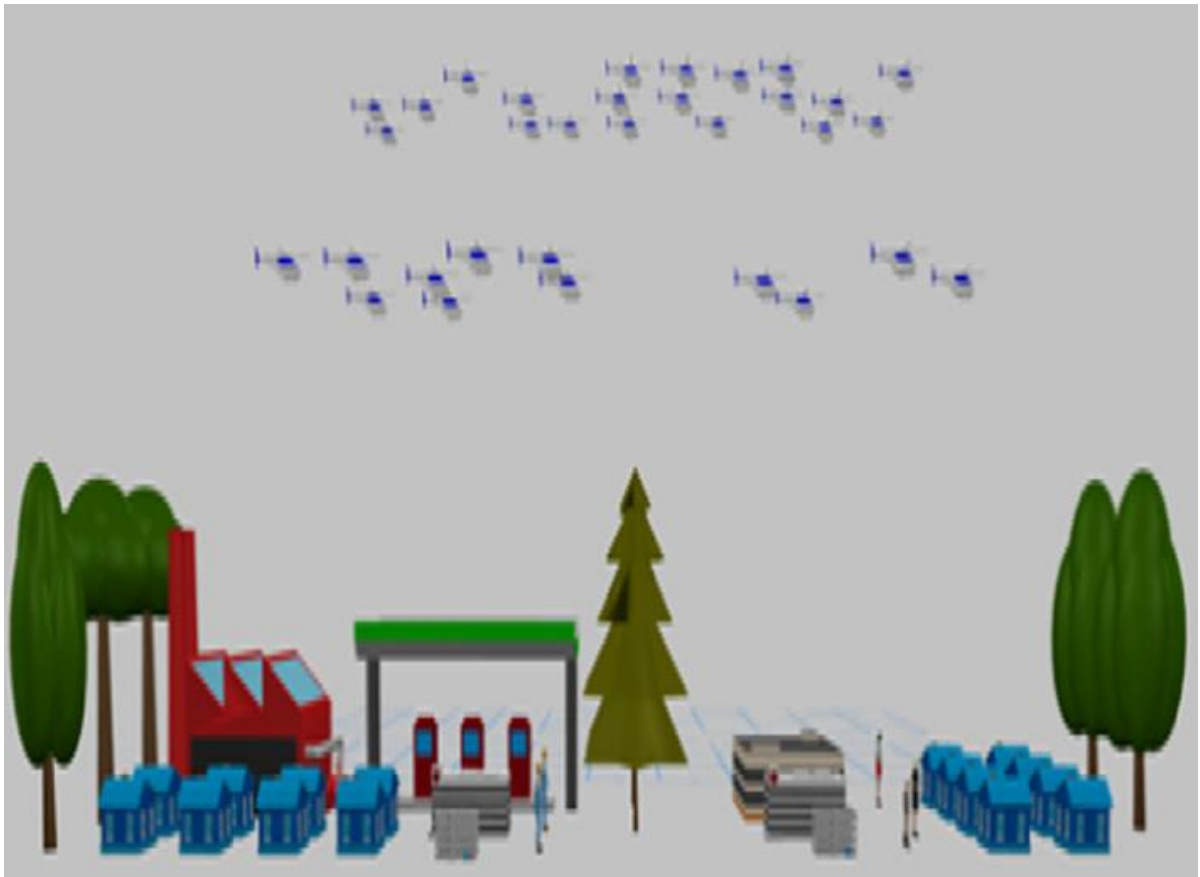


Рисунок 2.8 – Багаторівнева система на основі безпілотників для боротьби з COVID-19 (3D-вигляд)

Алгоритм 6: стратегія багаторівневого перенесення зон.

Мета: переміщення або обмін дронами з однієї зони в іншу без зіткнення.

Пояснення: принцип дій такий самий, як і в алгоритмі 1. Додатково  $L_m$  позначає  $m^{\text{th}}$

1. For each
2. If ( $D_j^{i+1}$  з  $Z_i$  та  $D_j^{i+1}$  в  $Z_{i+1}$  хочуть помінятися місцями), then
3. Move  $D_j^i$  з  $Z_i$  на  $m^{\text{th}}$ -рівні до  $Z_i$  на  $(m-1)^{\text{th}}$  рівні
4. Move  $D_j^{i+1}$  з  $Z_{i+1}$  на  $m^{\text{th}}$  -рівні до  $Z_{i+1}$  на  $(m-1)^{\text{th}}$  рівні
5. Move  $D_j^i$  з  $Z_i$  на  $(m-1)^{\text{th}}$  -рівні до  $Z_{i+1}$  на  $m^{\text{th}}$  рівні
6. Move  $D_j^{i+1}$  з  $Z_{i+1}$  на  $(m-1)^{\text{th}}$  -рівні до  $Z_i$  на  $m^{\text{th}}$  рівні
7. End If
8. Else if ( $D_j^i$  з  $Z_i$  на  $m^{\text{th}}$  хочуть переміститися в порожню зону дрона  $Z_{i+1}$ ),

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

then

9. Move  $D_j^i$  з  $Z_i$  на  $m^{\text{th}}$ -рівні до  $Z_i$  на  $(m-1)^{\text{th}}$  рівні
10. if (жоден інший дрон із сусідньої зони не хоче переміститися в цю зону), then
  11. Move  $D_j^i$  з  $Z_i$  на  $(m-1)^{\text{th}}$ -рівні до  $Z_{i+1}$  на  $m^{\text{th}}$  рівні
  12. Else
  13. Move перший дрон із запитом  $Z_{i+1}$  рівня на рівень  $m^{\text{th}}$
  14. End If
  15. if ( $D_j^i$  з  $Z_i$  та  $D_j^n$  з  $Z_i$  на  $m^{\text{th}}$  рівні хочуть помінятися місцями) then
    16. Move  $D_j^i$  з  $Z_i$  на  $m^{\text{th}}$  рівні до  $Z_i$  на  $(m-1)^{\text{th}}$  рівні
    17. Move  $D_j^i$  з  $Z_n$  на  $m^{\text{th}}$  рівні до  $Z_i$  на  $(m-1)^{\text{th}}$  рівні
    18. End If
  19. End for

На рисунку 2.9 показана стратегія багаторівневого гібридного руху. Стратегія багаторівневого гібридного руху дронів використовується для ефективного та гнучкого пересування дронів у великих міських або промислових областях. Ця стратегія передбачає використання різних рівнів висоти для дронів, щоб уникати перешкод і максимізувати потенціал їхнього використання.

У цій стратегії зона пересування безпілотників ділиться на кілька рівнів відповідно до наявної інфраструктури та можливостей підрозділів.

Таким чином, для різних операцій можуть застосовуватися різні стратегії переміщення і передачі зон.

Наприклад, чотири рівні з чотирма зонами показані на рисунку 2.9. Зона 2 на рівні 2 і зона 4 на рівні 4 можуть використовувати дворівневу стратегію пересування безпілотників і переміщення зон для операцій проти COVID-19.

Тоді як зона-3 на рівні-3 може використовувати стратегію паралельного руху дронів. Аналогічно, зона-1 на рівні-1 може використовувати зигзагоподібну стратегію руху дронів для доставки продукції.

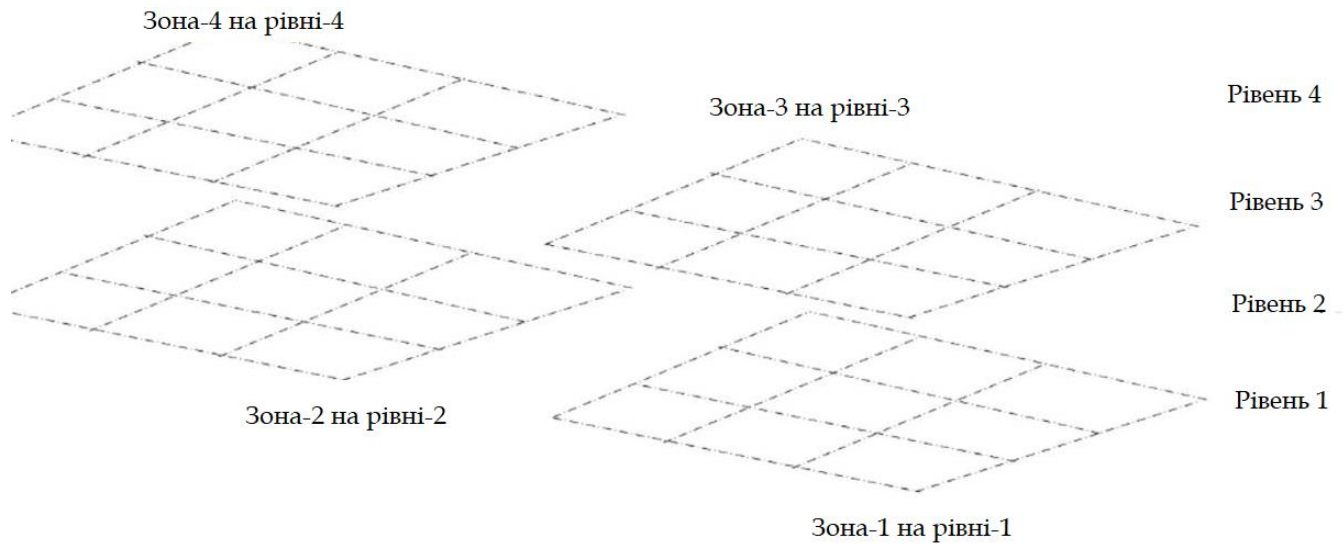


Рисунок 2.9 – Стратегія багаторівневого гібридного руху

### 2.3 Алгоритми соціального дистанціювання

У цьому розділі показано два різні підходи до дотримання соціальної дистанції в операціях з боротьби з COVID-19.

Ця система допомагає генерувати сповіщення/сигнали тривоги за допомогою дронів, коли в зоні спостереження не дотримується соціальна дистанція.

Алгоритм 7 пропонує підхід, який забезпечує симетричну відстань між будь-якими двома особами, що стоять у черзі.

Алгоритм 8 пропонує підхід, який забезпечує симетричну відстань між будь-якими двома особами, коли населення випадково розподілене в географічному регіоні.

Алгоритм 7 та Алгоритм 8 використовують наступні чотири функції соціального дистанціювання під час COVID-19.

1) `Max_Person_Calculation()`: ця функція вимірює кількість людей, які можуть перебувати в певній географічній зоні.

Якщо кількість людей перевищує певний поріг, вона сповіщає людей за допомогою натільного датчика або системи сповіщень, щоб сповістити людей про необхідність дотримуватися певної дистанції.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

2) Distance\_Measurement(): ця функція обчислює відстань між двома людьми, використовуючи різні формули вимірювання відстані.

Спочатку рекомендується вимірювати відстань за допомогою акустичних, лазерних, радіо, інфрачервоних датчиків, але якщо жоден з цих варіантів недоступний, то відстань вимірюється на основі вимірювань довготи і широти.

3) Person\_Intimation(): ця функція використовує систему інтеграції людей через носимі датчики або систему, засновану на генерації сповіщень.

4) Control\_Room\_Notification(): ця функція використовується для вимірювання функціональних можливостей окремих дронів.

Крім того, ця функція також вимірює соціальне дистанціювання COVID-19 та ідентифікацію гарячих точок.

Алгоритм 7: Симетрична відстань між будь-якими двома особами, що стоять у черзі.

Мета: виміряти відстань між двома людьми, що стоять послідовно в черзі, забезпечити мінімальну дистанцію та близькість за допомогою натільного пристрою, якщо це необхідно.

Пояснення: Нехай  $D_j^i$  позначає  $i^{\text{th}}$  особу, яка стоїть у  $j^{\text{th}}$  черзі. Де  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  та  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ , тобто існує максимум  $n$  осіб та  $m$  черг.  $D_{i,k}^j$  - відстань між  $i^{\text{th}}$  людиною та  $k^{\text{th}}$  людиною, коли вони стоять в  $j^{\text{th}}$  черзі.  $k=i+1$  або  $i-1$ .

Нехай  $\phi_{P_j^i}$  та  $\phi_{P_k^j}$  позначають широту, а  $\lambda_{P_i^j}$  та  $\lambda_{P_k^j}$  позначають довготу  $i$ -особи та  $k$ -особи відповідно.  $R$  позначає радіус Землі,  $e(D_{i,k}^j)$  - максимальна похибка в обчисленні  $D_{i,k}^j$ .

$F$  - це ширина точки зображення камери, зробленого над землею,  $d$  - це відстань до зразка землі, яка використовується для вимірювання відстані між двома сусідніми значеннями пікселів,  $\theta$  і  $\mu_w$  позначає ширину пікселя зображення та ширину зображення відповідно,  $P_i^j(r)$  - відстань між камерою та людиною/об'єктом,  $P_i^j(L)$  - довжина  $i^{\text{th}}$  людини, яка стоїть у  $j^{\text{th}}$  черзі.  $C_i^j$  -  $i^{\text{th}}$  номер диспетчерської для  $j^{\text{th}}$  черги.  $\delta$  - показник використання дронів.

1. For j=1 до m:
2.     Max\_Person\_Calculation()
3.     Distance\_Measurement ()
4.     Person\_Intimation()
5.     Control\_Room\_Notification()
6. End For

Max\_person\_calculation()

1. count=0
2. If (доступні акустичні, лазерні, радіо, інфрачервоні, моно-/стерео датчики відстані), then

3. Вимірювати  $P_i^j(r)$

4. For each  $P_i^j(r)$

5.     Count=count+1

6. End For

7. End If

8. Else

9. For ( для кожного об'єкта на зображенні з камери):

10.     $P_i^j(L) = \theta * P_i^j(r)$

11. If  $P_i^j(L) >$  порогове значення then

12.     Count=count+1

13. End If

14. End For

Distance\_Measurement()

1. if (відстань вимірюється за формулою широти і довготи, і тунелю), then
2. if (формула\_відстані базується на сферичній\_поверхні з дуже великою відстанню) then

3.     $\Delta X = \cos(\phi_{P_k^i}) * \cos(\lambda_{P_k^j}) - \cos(\phi_{P_i^j}) * \cos(\lambda_{P_i^j})$

4.     $\Delta Y = \cos(\phi_{P_k^j}) * \sin(\lambda_{P_k^j}) - \cos(\phi_{P_i^j}) * \sin(\lambda_{P_i^j})$

$$5. \quad \Delta Z = \sin(\phi_{P_k^j}) - \sin(\phi_{P_i^j})$$

$$6. \quad \text{Відстань тунелю } (T_D) = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$$

$$7. \quad D_{i,k}^j = T_D * R$$

8. if( $D_{i,k}^j \ll R$ ) then

$$9. \quad e(D_{i,k}^j) = \frac{D_{i,k}^j (D_{i,k}^j/R)^2}{24}$$

10. End If

11. End If

12. if (вимірювання відстані базується лише на широті-довготі), then

$$13. \quad D_{i,k}^j = 111.32 * \sqrt{(\phi_{P_k^j} - \phi_{P_i^j})^2 + (\lambda_{P_k^j} - \lambda_{P_i^j})^2}$$

14. End if

15. If (вимірювання відстані на основі обробки зображень та відстані до наземного зразка) then

$$16. \quad d = \frac{g * a * 100}{f * \theta}$$

$$17. \quad w = d * \mu_w$$

18. Застосувати лінійний дискримінантний аналіз для виявлення людини на зображенні  $D_{i,k}^j$ .

19. End If

20. if (вимірювання відстані базується на обробці зображення), then

$$21. \quad P_i^j(r) = \frac{P_i^j(L)}{\phi}$$

$$22. \quad D_{i,k}^j = P_i^j(r) - P_k^j(r)$$

23. End if

Person\_Intimation()

1. For each  $D_{i,k}^j$

2. If  $D_{i,k}^j <$  порогове значення, then

3. Надсилати сигнал на  $P_i^j(r)$  та  $P_k^j(r)$

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

4. Call Distance\_Measurement( )
  5. End If
  6. End For
- Control\_Room\_Notification( )
1. For each (для кожного дрона):
  2. Measure  $\delta$
  3. If  $\delta \geq$  верхнє\_значення then
  4. Call drone back.
  5. Else If  $\delta <$  нижнє\_значення then
  6. Інструкція щодо запуску процесу COVID-19
  7. End If
  8. End for
  9. For each  $C_i^j$
  10. For each j in  $C_i^j$
  11. If  $D_{i,k}^j <$  порогове\_значення then
  12. Надіслати сигнал на  $P_i^j(r)$  і  $P_k^j(r)$
  13. Call Distance\_Measurement( )
  14. End If
  15. End for
  16. End for

Алгоритм 8: симетрична відстань між будь-якими двома особами при випадковому розподілі населення в географічній зоні.

Мета: виміряти відстань між двома людьми, що стоять послідовно, коли люди випадково розподілені в географічній зоні, і якщо необхідно, в близькій відстані за допомогою натільних пристроїв.

Пояснення: принцип дій такий самий, як і в алгоритмі 1.

1. For j=1 to m:
2. Max\_person\_Calculation()
3. Distance\_Measurement()

4. Person\_Intimation()
5. Control\_Room\_Notification()
6. End For

Max\_person\_Calculation()

1. count=0
2. For each (напрямку на північ, південь, захід, схід):
3. Rotate датчики в усіх напрямках
4. if (акустичні, лазерні, радіо, інфрачервоні, моно-/стерео датчики відстані які виявляють людину), then
5. count=count+1
7. Else
8. Call Distance\_Measureme() і виміряти  $P_i^j(r)$
9. End If
10. End for
11. For each  $P_i^j(r)$
12. Count=count+1
13. End for
14. For each (кожного об'єкта на зображенні з камери):
15. Виміряти  $P_i^j(L) = \emptyset * P_i^j(r)$
16. if  $P_i^j(L) >$  порогове значення then
17. Count=count+1
18. End if
19. End for

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ БОРОТЬБИ З ПАНДЕМІЄЮ КОРОНАВІРУСНОЇ ХВОРОБИ НА ОСНОВІ БПЛА

У цьому розділі обговорюється реалізація запропонованої системної архітектури, що включає алгоритми, в режимі реального часу та на основі симуляції.

У ньому представлені приклади сканування, дезінфекції, моніторингу, аналізу та статистики COVID-19 для диспетчерської.

#### 3.1 Система реального часу на основі БПЛА для боротьби з COVID-19

Представляємо безпілотну систему для боротьби з COVID-19 в режимі реального часу, розроблену Indian Robotics Solution (IRS).

Бойовий дрон Thermal Corona Combat Drone (TCCD): ця система використовується на практиці для ідентифікації об'єктів і теплового сканування в багатьох районах Делі та Північного Індійського океану, і виявилася придатною в боротьбі з COVID-19.

У таблиці 3 наведено повні технічні характеристики та особливості побудови і використання системи TCCD [8].

Таблиця 3. Бойовий безпілотник Thermal Corona Combat Drone (TCCD)

Параметри	Значення
Тип дрона	Multi-Rotor Drone
Кількість роторів	Шість роторів (Hexa-copter)
Матеріал рами	Вуглецеве волокно Листовий і трубчастий матеріал
Камера	Тепловізор і RGB-камера з точковим підсвічуванням для роботи вночі
Робоча частота	2,4 ГГц і 5,8 ГГц

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Кінець таблиці 3. Бойовий безпілотник Thermal Corona Combat Drone (TCCD)

Режим польоту	Автономний режим з використанням маршрутної точки, ручний режим
Навички кодування та технології	Тепловізійне зображення, GPS-відстеження, фотографування
Модель	Бойовий безпілотник Thermal Corona Combat Drone (TCCD)
Використана техніка	ЧПК, 3D-принтери, лиття металу та інструменти для досліджень і розробок
Тип батареї	Літій-полімерна батарея (1 комплект)
Цикл роботи акумулятора	200 циклів
Зарядний пристрій	Зарядний пристрій Lipo Balance (20A)
Корисне навантаження	10 кг корисного навантаження
Вкладення	Медична сумка 2 кг, дезінфікуючий бак 5 л, 2 камери, гучномовець
Вага дрона	15 кг (порожній бак) та 20 кг (повний бак)
Супутники для GPS	Кластер з 60 супутників
Час польоту	35-40 хвилин (якщо тільки тепловізійне знімання) 12-15 хвилин (при розпиленні та тепловізійному обстеженні)
Коефіцієнт успішності	95%

Загалом, комбінована технологія термального зображення та дронів для бойових операцій може мати різні застосування. Термальне зображення дозволяє виявляти теплове випромінювання об'єктів навколишнього середовища і

використовується для зорового контролю у ситуаціях, коли звичайні камери не ефективні, наприклад, вночі або в умовах обмеженої видимості.

Робота TCCD: TCCD злітає вертикально з землі і не потребує спеціального стартового майданчика. Спочатку команда остаточно визначає територію для зйомки (зазвичай це густонаселені райони) і отримує дозволи від відповідних державних органів.

Коли дрон знаходиться на відповідній висоті в межах населеного пункту (приміської зони), він робить оголошення з проханням до мешканців вийти на балкони.

Після того, як люди виходять на балкони, починається теплове сканування по одній людині за раз, під час якого фіксується температура тіла.

Теплове сканування може бути зроблено для людини в радіусі 20 футів. Якщо зафіксована температура будь-якої людини перевищує принаймні на 2° C нормальну температуру тіла, спрацьовує тривожний сигнал і робиться оголошення через гучномовець, встановлений на дроні.

Щоб вжити заходів, людина з підвищеною температурою може спуститися вниз.

Висока температура є одним із поширених симптомів коронавірусу, і температурний скринінг використовується на багатьох міжнародних кордонах і в лікарнях для первинного виявлення симптомів [3].

Після вимірювання температури система охорони здоров'я визначає інші симптоми COVID-19, включаючи нудоту, головний біль, втому, втрату смаку або нюху тощо. Далі проводяться імунодіагностичні тести для підтвердження COVID-19.

Цей багатоцільовий БПЛА допомагає суспільству, дезінфікуючи всю територію за допомогою вбудованого розпилювача та надаючи медичні засоби (за потреби).

Дві камери допомагають здійснювати тепловізійну зйомку та відеозапис місця обстеження навіть вночі, використовуючи режим нічного бачення. Запис

тепловізійного датчика і відео в реальному часі можна переглянути на підключеному портативному цифровому асистенті, такому як мобільний телефон.

Приклад відсканованих зображень, які можна побачити на пристрої КПК. На рисунку 3.1 та рисунку 3.2 показано вимірювання температури на КПК з великої та малої відстані відповідно.

На рисунку 3.3 показано дрон, розроблений і використаний для операцій з боротьби з COVID-19.

На рисунку 3.4 показано сканування поверхні на основі теплового зображення. З даного сканування видно, що територія радіусом 2 км може бути оброблена протягом 10 хвилин.

Електростатичне розпилення допомагає краплям дезінфікуючого засобу бути більш центрованими і перекривати один одного, що робить його більш ефективним і дозволяє уникнути втрат.



Рисунок 3.1 – Температура на основі тепловізійного зображення. Вимірювання на великій відстані



Рисунок 3.2 – Температура на основі тепловізійного зображення. Вимірювання на близькій відстані



Рисунок 3.3 – Розроблений безпілотник

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ

Арк.  
44



Рисунок 3.4 – Тепловізійне сканування поверхонь і площ

### 3.2 Симуляція з використанням БПЛА для боротьби з COVID-19

Розроблено симуляційну систему безпілотників для боротьби з COVID-19 за допомогою симуляторів AnyLogic [18] та JaamSim [19].

У цій симуляції застосовано мультимедійне моделювання, агентне моделювання, моделювання дискретних подій та системну динаміку на площі від 250 м<sup>2</sup> до 1000 м<sup>2</sup>.

На рисунку 3.4 показано симуляцію на основі безпілотника, коли люди живуть або пересуваються в тісній місцевості. Ймовірність спільного використання туалетів, ванних кімнат, водопостачання та інших громадських ресурсів дуже висока. Таким чином, це також збільшує ймовірність пандемії COVID-19. Щоб уникнути поширення випадків COVID-19, необхідний регулярний моніторинг та санітарна обробка.

На рисунку 3.4 показано вид збоку на територію, де дрони використовуються для санітарної обробки простору. Тут показано два дрони, які можуть вільно пересуватися і дезінфікувати територію за допомогою інструкцій.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

На рисунку 3.5 показано тепловізійне зображення моніторингу руху людей за допомогою дронів. Тут відстежується рух людей і виконується аналіз на основі щільності за допомогою запропонованої багаторівневої архітектури. Зона з високою щільністю руху потребує частішої санітарної обробки порівняно з зоною з низькою щільністю руху. А також показані одноденні спостереження, і суворість експерименту зростає з темнішим червоним кольором. Це свідчить про те, що в цих місцях необхідна санітарна обробка.

На рисунку 3.6 показано схему, яка використовується для моделювання операцій з використанням дронів проти COVID-19. Різні компоненти цієї схеми коротко пояснюються наступним чином.

- 1) redSource: забезпечує участь значної кількості людей і кількість людей збільшується за рахунок послуг та типів послуг;
- 2) redGoTo: забезпечує випадковість та вільний рух людей;
- 3) redWait: забезпечує значний і випадковий час перебування та соціальне дистанціювання;
- 4) redSink: забезпечує плавний вихід людей із симуляції.



Рисунок 3.4 – Зони пандемії, що розглядаються для моніторингу за допомогою дронів (вид збоку).

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

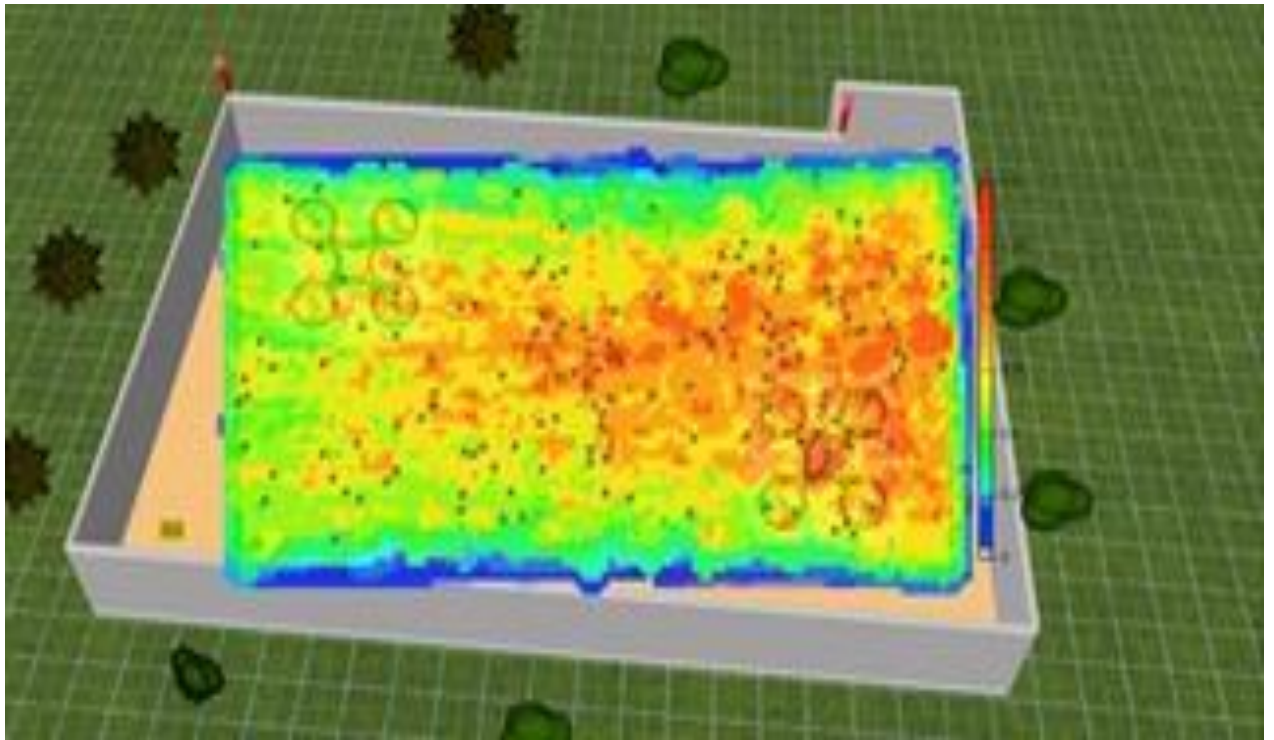


Рисунок 3.5 – Теплове зображення, для моніторингу пересування людей та санітарної обробки в гарячих точках COVID-19 (одноразові спостереження)

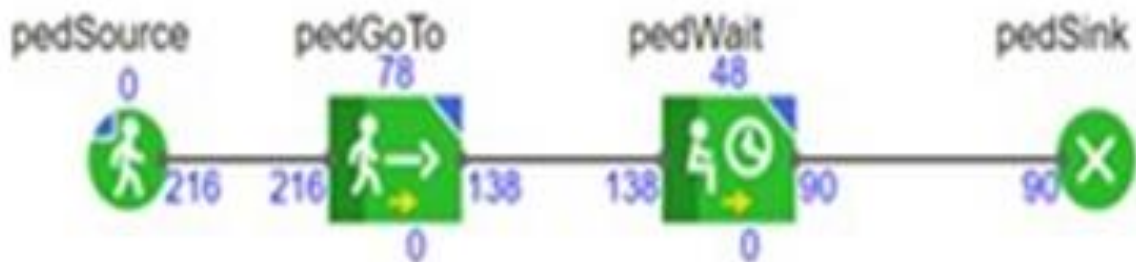


Рисунок 3.6 – Імітаційна модель для операції COVID-19

На рисунку 3.7 показано порівняльний аналіз часу, необхідного для санітарної обробки від 100 до 1200 кілометрів території в залежності від кількості дронів.

Результати показують, що 18900, 9390, 3680 і 2293 хвилини потрібно для покриття 1200 кілометрів площі за допомогою 3, 10, 20 і 30 дронів відповідно. Час на підзарядку дронів та заправку дезінфікуючих засобів є додатковим.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

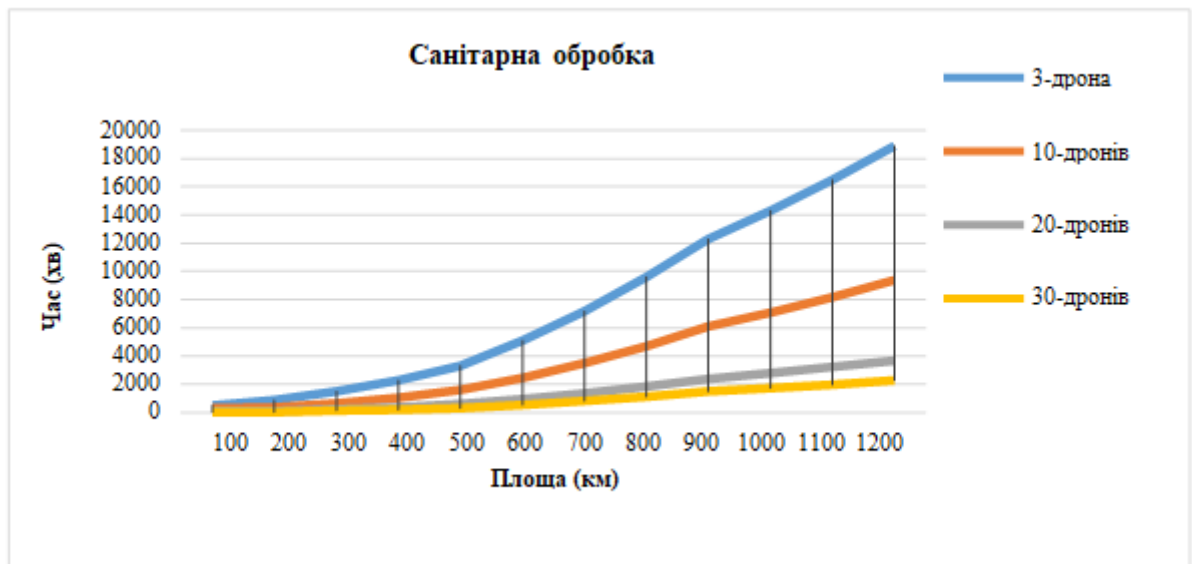


Рисунок 3.7 – Порівняльний аналіз часу, необхідного для санітарної обробки від 100 до 1200 кілометрів території при різній кількості дронів

### 3.3 Симуляція з використанням БПЛА для моніторингу COVID-19 у приміщеннях

На рисунку 3.8 показано експеримент з симуляції на основі дронів для огляду пацієнтів з COVID-19 у приміщенні. Для роботи в приміщенні перевага надається нано- або низьковисотним дронам через їхні різноманітні переваги [15] [16].

На рисунку 3.8 показано внутрішню будівлю лікарні та кілька палат для прийому пацієнтів.

Камера цього дрона запрограмована на огляд пацієнтів на основі їхніх рухів та щільності розміщення.

Передбачається, що незалежно від спеціальної санітарної служби на базі дрона, палати дезінфікуються (вручну) через регулярні проміжки часу або після виписки пацієнта. Таким чином, санітарна обробка за допомогою дронів стає обов'язковою в тих зонах, де рух людей/пацієнтів є більш інтенсивним.

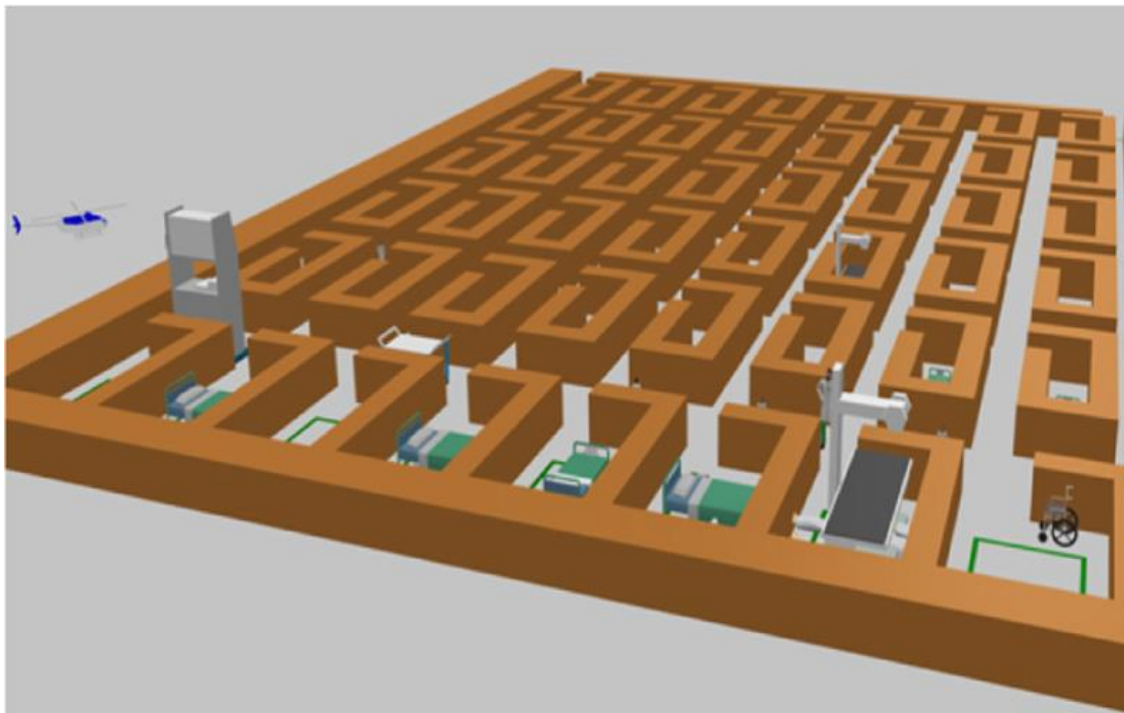


Рисунок 3.8 – Будівля лікарні для хворих на COVID-19 (3D-вид)

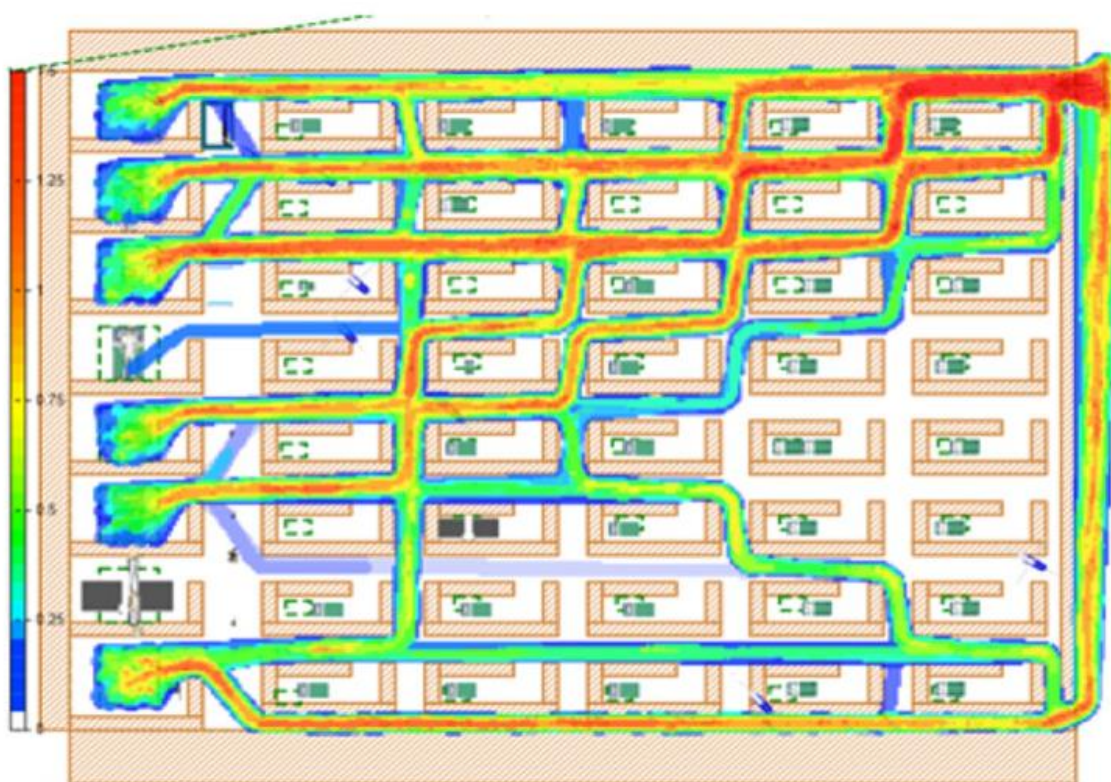


Рисунок 3.9 – Модель симуляції для огляду хворих на COVID-19 та санітарної обробки

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Лікарняна палата, обладнана камерою дрона, надає реальну статистику для запропонованої архітектури для аналізу даних, і дрон отримує інструкції для проведення санітарної обробки та медикаментозного лікування у попередньо визначеній зоні. Камера дрона, що використовується для операцій з боротьби з COVID-19, показує, що точність запропонованого моделювання є вищою (приблизно 93%).

На рисунку 3.9 показано теплове зображення, отримане в результаті симуляції, на основі щільності ділянок, які потребують санітарної обробки. Збільшення червоного кольору вказує на необхідність термінової санітарної обробки.

### 3.4 Симуляція соціального дистанціювання з використанням БПЛА

У цьому розділі представлено симуляцію експериментів з соціального дистанціювання за допомогою дронів. В експериментах використовується алгоритм 7 для забезпечення симетричної відстані між двома людьми.

Алгоритм 7 у своїх початкових розрахунках обчислює кількість людей, що стоять у певній області. Якщо кількість людей, що стоять в області, перевищує допустиму межу, генерується попередження, що потрібно зменшити кількість людей у певній області.

Після цього починається процес вимірювання відстані. Тепер відстань можна виміряти кількома способами і за різними формулами.

На рисунку 3.10 показано дорогу, якою вільно пересуваються люди, через камеру переднього виду. На цьому зображенні показано три дрони, які стежать за пересуванням людей.

На рисунку 3.11 показано соціальне дистанціювання на практиці та процес формування черги. Тут люди вишикувалися в чергу, і їх також обслуговують за потребою.

Ця черга гарантує, що якщо певні люди не дотримуються правил соціальної дистанції, то їх не оглянуть, і вони будуть змушені повернутися в кінець черги, щоб дочекатися своєї черги.

На рисунку 3.12 показано схему, розроблену та запрограмовану для моделювання соціальної дистанції.

Різні компоненти цієї схеми пояснюються наступним чином.

1) `redSource`: генерує кількість людей для експерименту із заздалегідь визначеної та фіксованої лінії. Люди можуть вільно пересуватися у довільному напрямку в заздалегідь визначеній зоні.

Однак кожен повинен дотримуватися черги та соціальної дистанції, інакше він повинен повернутися на початок черги і зайняти своє поточне місце

2) `atFareGates`: з часом кількість пішоходів збільшується, але простір не дозволяє пересуватися понад фіксовану кількість людей.

Таким чином, на початку утворюється натовп. Щоб уникнути пандемії, всіх людей попереджають, щоб вони повернулися назад або дотримувалися соціального дистанціювання і тут.

3) `redGoTo`: визначає кількість людей, які рухаються від початку до точки обслуговування.

Цей компонент не дозволяє обслуговувати кілька людей одночасно. Однак, обслуговування поновлюється лише тоді, коли всі дотримуються експерименту з соціальним дистанціюванням.

4) `redService`: цей компонент гарантує, що кожна особа, яка проходить експеримент із соціального дистанціювання, обслуговується в порядку черги. Обслуговування та тривалість часу є фіксованими та заздалегідь визначеними;

5) `redSink`: цей компонент забезпечує вихід людини із поля зору після її обслуговування.

Цей алгоритм може бути використаний для автоматизації процесу моніторингу та забезпечення соціального дистанціювання за допомогою дронів у великих масштабах, що допомагає знизити ризик поширення інфекційних хвороб та зберегти безпеку громадськості.

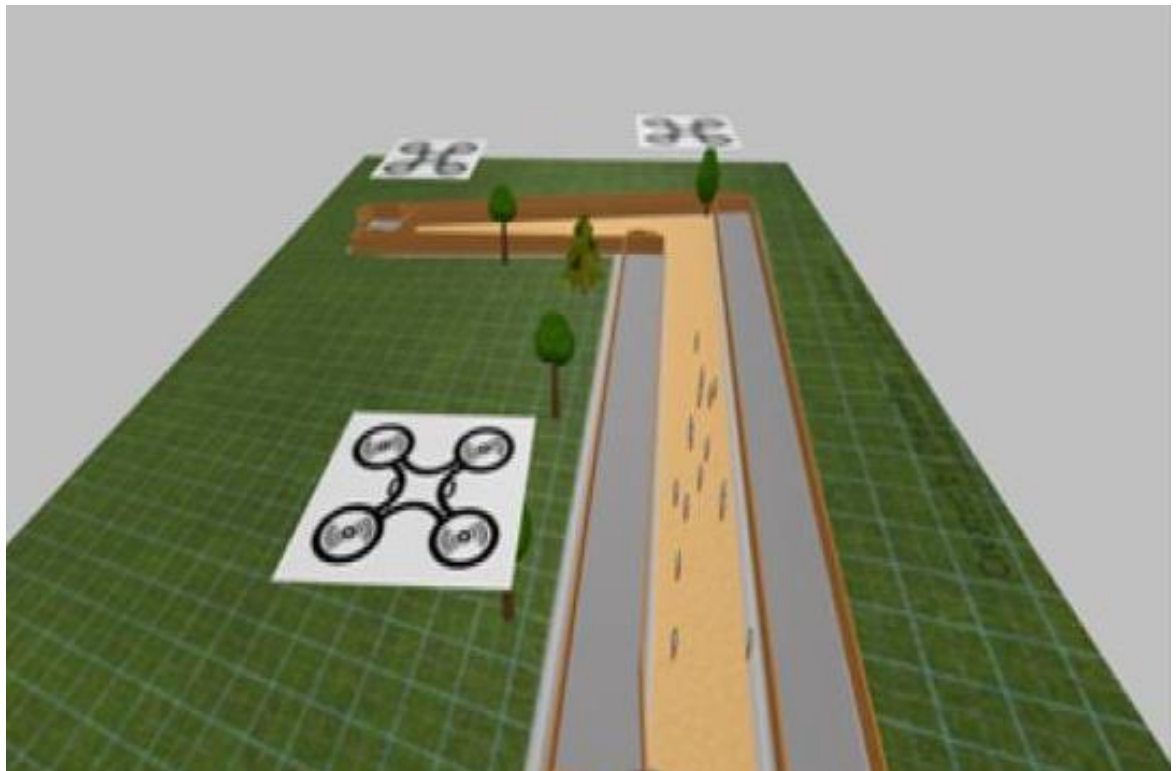


Рисунок 3.10 – Моніторинг на основі БПЛА

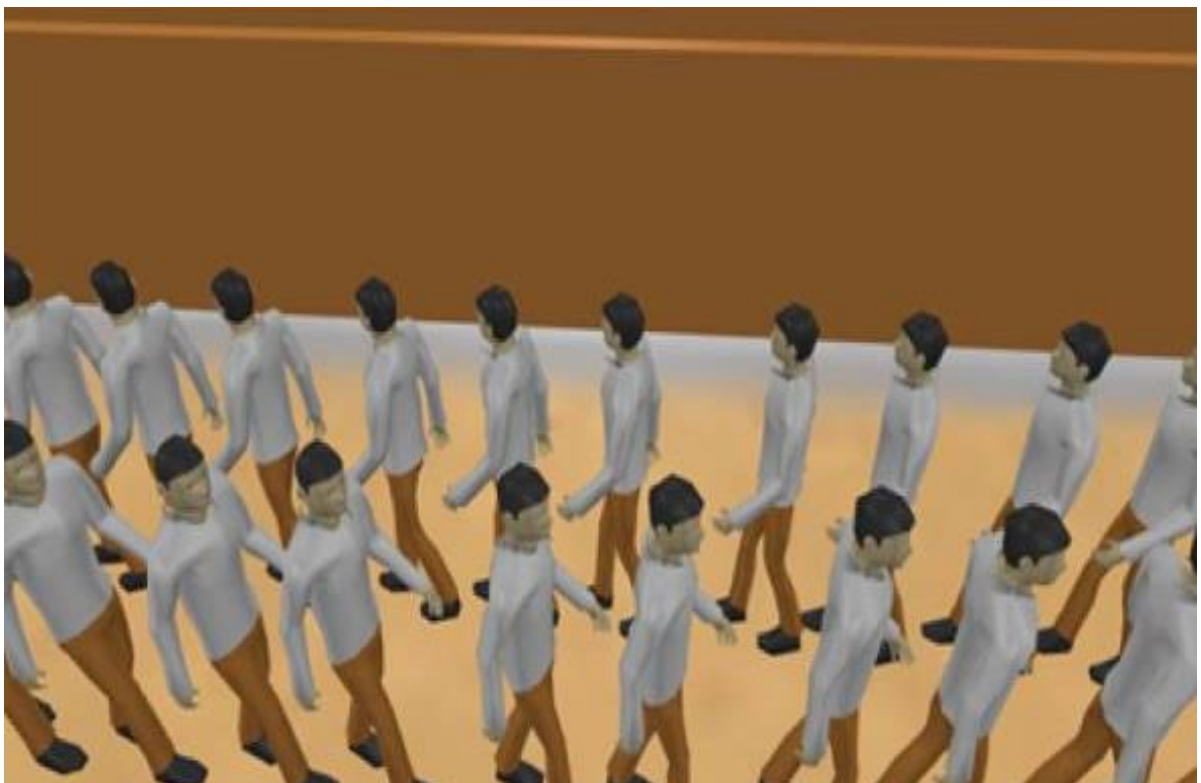


Рисунок 3.11 – Черга соціального дистанціювання на основі БПЛА

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ

Арк.  
52



Рисунок 3.12 – Модель AnyLogic соціального дистанціювання

На рисунку 3.13 показано порівняльний аналіз кількості осіб, перевірених на соціальне дистанціювання, при варіаціях кількості дронів.

У цьому експерименті для перевірки соціальної дистанції було взято 3, 10, 20 і 30 дронів.

Результати показують, що близько 3400 осіб можна перевірити за 55 хвилин за допомогою 3 дронів. Аналогічно, 13500, 16300 і 19700 осіб можна перевірити за 55 хвилин за допомогою 10, 20 і 30 дронів відповідно.

Далі на рисунку 3.14 показано порівняльний аналіз кількості осіб, які були забезпечені медикаментами після перевірки з дотриманням соціальної дистанції.

Видно, що 1700, 10000, 13200 та 16165 осіб можна обслужити разом з перевіркою соціальної дистанції при максимальній кількості паралельно працюючих пунктів видачі ліків = 20, а максимальний час, який витрачається на доставку ліків = 120 секунд.

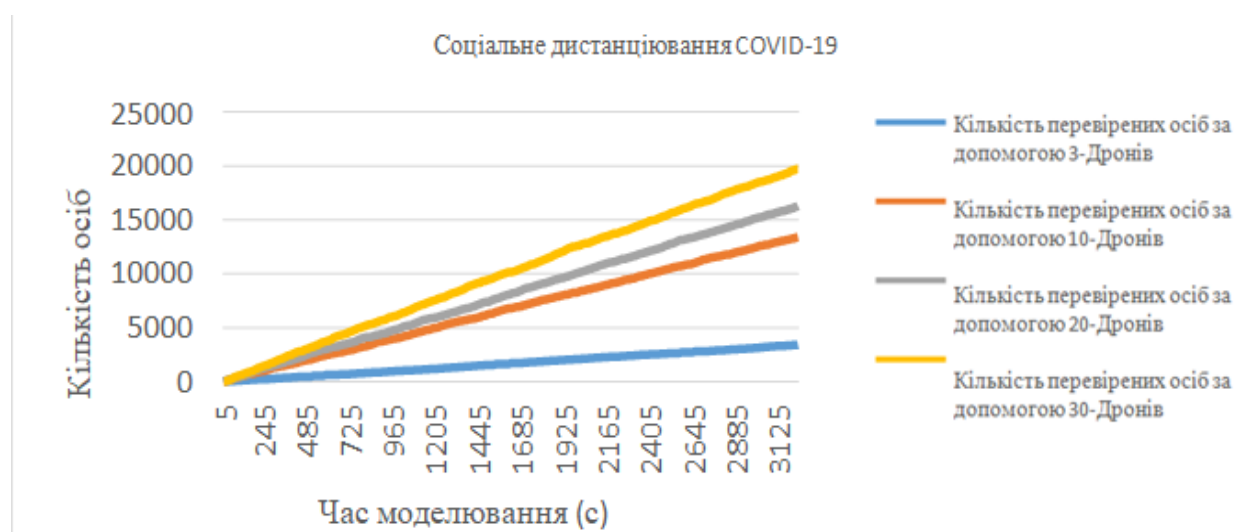


Рисунок 3.13 – Порівняльний аналіз кількості осіб, перевірених на дотримання соціальної дистанції, залежно від кількості БПЛА

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

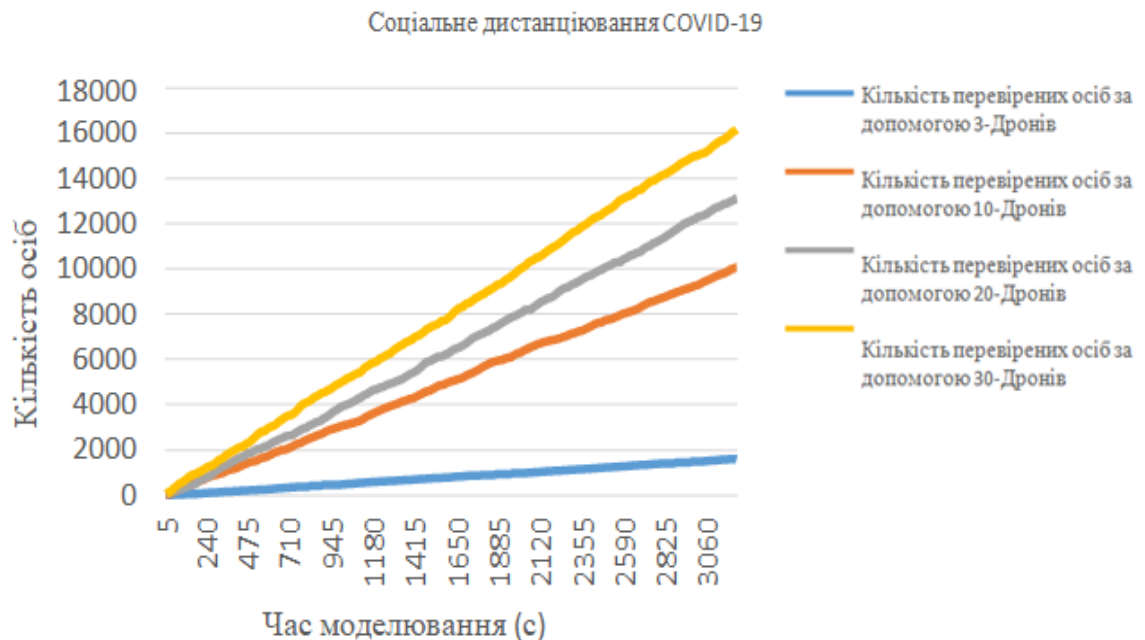


Рисунок 3.14 – Порівняльний аналіз кількості осіб, які отримали медикаменти після перевірки соціального дистанціювання

### 3.5 Система для поліцейського моніторингу та диспетчерської для контролю за COVID-19

На рисунку 3.15 і рисунку 3.16 показані результати, які можуть відображатися в диспетчерській. Ця статистика змодельована за допомогою симулятора AnyLogic.

На рисунку 3.15 показано кількість використаних дронів в залежності від кількості днів симуляції в процесі санітарної обробки.

Ця статистика є змінною і змінюється в залежності від симуляції. Також показано статичний вигляд статистики від 0 до 600 днів. Тут видно, що для процесу санітарної обробки використовується від 120 до 355 дронів.

Сукупна кількість дронів за час моделювання (в днях) показує зміну використання дронів. У цьому експерименті один і той самий дрон враховується двічі, якщо він повторно використовується для санітарної обробки.

На рисунку 3.16 показано відсоток використання дронів. Результати показують, що відсоток використання дронів коливається приблизно від 0% до 80%. Ці статистичні дані також є змінними і залежать від моделювання.

На даному рисунку показані результати для 30 дронів. Ця статистика може бути корисною для працівників диспетчерської для аналізу ситуації з безпілотниками і прийняття відповідних інструкцій.

Чим вищий коефіцієнт використання, тим вища ймовірність того, що безпілотник розрядить свій акумулятор, причому зі значно більшою швидкістю. Таким чином, мінімально використанні дрони можуть бути корисні для наступних операцій.



Рисунок 3.15 – Використання БПЛА протягом певного часу моделювання



Рисунок 3.16 – Відсоток використання безпілотних систем

## ВИСНОВКИ

У даному проекті запропоновано інтелектуальну систему охорони здоров'я на базі БПЛА для моніторингу COVID-19, санітарної обробки, соціального дистанціювання, аналізу даних та генерації статистики для диспетчерської.

Дана система збирає дані за допомогою натільних датчиків, датчиків руху, розміщених у цільових зонах, або за допомогою обробки теплових зображень.

Дані обробляються за допомогою багаторівневої архітектури для аналізу та прийняття рішень.

У багаторівневій архітектурі периферійні обчислення контролюють запропоновані стратегії безпілотників, стійкі до зіткнень.

Запропонований підхід продемонстровано на прикладі реалізації та симуляції.

У симуляції запропонований підхід тестується для діяльності в приміщенні та на відкритому повітрі. Результати показують, що відстань у 1200 кілометрів можна подолати за 2293-18900 хвилин за допомогою від 3 до 30 дронів.

Ідентифікація пацієнтів на основі теплових зображень виявилася дуже ефективною під час пандемії COVID-19 у приміщеннях.

Імітаційні дослідження запропонованої інтелектуальної системи охорони здоров'я на основі дронів мають певні обмеження, оскільки вони розглядають рух дронів в ідеальному сценарії.

У реальному сценарії умови навколишнього середовища впливають на його рух і можуть змінити статистику його використання. Крім того, передбачається, що дрон, який використовується для зйомки та санітарної обробки приміщень, сумісний з його роботою.

У реальному сценарії для подібних операцій потрібен компактний дрон. Таким чином, для аналізу реальних фактів слід розглянути аспекти проектування компактних дронів.

Майбутні напрямки роботи: дана система може бути вдосконалена в широких масштабах, беручи до уваги наступні аспекти:

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						56
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1) масштабна доставка ліків: останнім часом хлорохін та гідроксихлорохін доставляють за допомогою безпілотників для боротьби з COVID-19.

Ліки від COVID-19 перебувають на стадії випробувань. У майбутньому може бути вивчена можливість широкомасштабної доставки ліків за допомогою різних стратегій, стійких до зіткнень, з урахуванням інфраструктурних обмежень.

2) облік та сканування мешканців: облік мешканців є ще одним важливим параметром для забезпечення сканування кожної людини, яка проживає на певній території.

Хоча асоціація соціального забезпечення мешканців веде облік кожного мешканця, але багато людей живуть і поза межами товариств. Таким чином, важливо вести облік кожного і зіставляти його з сканованим населенням;

3) послуги сканування в разі відсутності медичної інфраструктури: Було помічено, що багато лікарів неохоче працювали з пацієнтами, коли почалася пандемія COVID-19.

Це пов'язано з відсутністю медичних закладів, поведінкою пацієнтів та великими відстанями для надання послуг. У таких випадках немедична особа, здатна керувати дронами для полегшення сканування на COVID-19 або доставки ліків, може допомогти та пришвидшити процеси сканування та тестування;

4) статистика звичайного (ручного) та безпілотного теплового сканування: Порівняльний аналіз ручного та безпілотного теплового сканування необхідний для того, щоб показати важливість обох типів систем у медичній системі.

Наприклад, звичайна (ручна) система є кращою, якщо всі медичні засоби (включаючи засоби індивідуального захисту, хірургічний халат, рукавички, засоби захисту органів дихання, захисту очей, захисну маску і т.д.) є в наявності. Було помічено, що система на базі дронів є кращою у випадку дефіциту медичних закладів (як на початкових етапах пандемії COVID-19);

5) широке використання міні-дронів для роботи в приміщенні: Ми використовували дрони для теплового сканування як в режимі реального часу, так

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						57
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

і в експериментах на основі моделювання.

В обох випадках для сканування розглядаються житлові райони. Тут дрони використовуються для сканування людей у багатоповерхівках і пішоходів в експериментах у реальному часі. У симуляції розглядалося сканування лише пішоходів.

Однак для сканування в приміщенні потрібно кілька міні-дронів, якщо люди не будуть самостійно виходити на балкони для сканування.

б) розумні міні-дрони та доступність у внутрішніх межах будинку/лікарні: Існує потреба в тестуванні дронів, здатних працювати на великій відстані та в приміщеннях.

Доступність управління такими дронами та безперервний збір даних є основними питаннями, які необхідно вирішити в майбутньому;

7) масштабна інтеграція медичної інфраструктури: Існує потреба в розробці інтегрованої медичної системи для швидкого моніторингу та системи колективної підтримки, яка здатна збирати дані про пацієнтів на великій відстані та надавати послуги у великих масштабах.

Такі системи можуть враховувати умови навколишнього середовища та інші бар'єри під час польотів дронів, збору даних, а також підтримувати безпеку даних відповідно до державної політики.

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						58
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Li L., Zhang Q., Wang X., Zhang J., Wang T., Gao T.L., Duan W. Characterizing the propagation of situational information in social media during COVID-19 epidemic. *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.* 2020.
2. Hopkins C., Kumar N. Loss of Sense of Smell As Marker of COVID-19 Infection, 2020. 19–20 p.
3. Wu J.T., Leung K., Leung G.M. Predicting the potential domestic and international spread of the COVID-19 outbreak originating in Wuhan, 2019. 689–697 p.
4. Draganfly обрана для глобальної інтеграції проривної технології діагностики стану здоров'я на автономні камери та спеціалізовані дрони для боротьби з коронавірусом (covid19) та майбутніми надзвичайними ситуаціями у сфері охорони здоров'я. URL: <https://apnews.com/Globe%20Newswire/dc01344350423d7d64c99ebbe8fb7548> (дата звернення: 04.04.2023).
5. Phantom-4-pro. URL: <https://www.dji.com/phantom-4-pro> (дата звернення: 12.03.2023).
6. Parrot-anafi. URL: <https://wazza.com.ua/ru/products/kvadrokopter-parrot-anafi/> (дата звернення: 12.03.2023).
7. DJI Mavic 2 Pro. URL: <https://www.dji.com/mavic-2/info> (дата звернення: 12.03.2023).
8. Бойовий безпілотник Corona: Індійське робототехнічне рішення запускає бойовий безпілотник Corona для боротьби з covid-19. URL: <https://government.economictimes.indiatimes.com/news/technology/indianrobotics-solution-launches-corona-combat-drone-to-fightcovid-19/75077517>. (дата звернення: 15.03.2023).
9. Луцький М. Г., Матійчик М. П., Михацький О. Ю., Фузик М. І. Безпілотні авіаційні системи та комплекси Національного авіаційного університету: навч.-метод. посібник. К. : НАУ, 2022. 252 с.

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

10. Бутов М. М., Харченко О. С., Кривошеїн В. А. Безпілотні літальні апарати, проблеми та перспективи використання: науковий вісник. Львів: НЛТУ, 2018. 55-61 с.

11. Білоус О. О., Левченко І. В., Мельник О. О., Литвиненко С. В. Автоматизована система управління безпілотним літальним апаратом. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2019.

12. Джонс, Річард В., Деспоту. Безпілотні авіаційні системи та охорона здоров'я: Можливості та виклики, 2019. 189-194 с.

13. Islam A., Young Shin S. A blockchain-based secure healthcare scheme with the assistance of unmanned aerial vehicle in Internet of Things, 2020.

14. Даник Ю.В., Бугайов М.В. Аналіз ефективності виявлення тактичних безпілотних літальних апаратів пасивними та активними засобами спостереження: зб. наук. праць. Житомир: ЖВІ, 2019.

15. Pace P., Aloï G., Caliciuri G., Fortino G. A mission-oriented coordination framework for teams of mobile aerial and terrestrial smart objects, 2020. 708–725 p.

16. Whaiduzzaman M., Hossain M., Shovon A.R., Roy S., Laszka A., Buyya R., Barros A. *A Privacy-Preserving Mobile and Fog Computing Framework To Trace and Prevent COVID-19 Community Transmission*. 2020.

17. Гордієнко Ю.О., Бугайов М.В., Солонець О.І., Солопій О.А. Особливості акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів, 2018.

18. Anylogic Simulator. URL: <https://www.anylogic.com/> (дата звернення: 09.03.2023).

19. Симулятор JaamSim. URL: <https://jaamsim.com/> (дата звернення: 10.03.2023).

20. Skorup B., Naaland C. How drones can help fight the coronavirus. *SSRN Electronic Journal*. 2020.

21. Peng C. F., Hsieh J. W., Leu S. W. Drone-based vacant parking space detection. *Proceedings - 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. 2018.

22. Kim S. J., Lim G. J., Cote M. J. Drone-Aided Healthcare Services for

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Patients with Chronic Diseases in Rural Areas. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2017. P. 163-180.

23. Pirbhulal S., Wu W., Li G., Sangaiah A. K. Medical Information Security for Wearable Body Sensor Networks in Smart Healthcare. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 2019. Vol. 8, P. 37-41.

24. Drones Combat COVID-19 Epidemic: Innovating and Monitoring Approach. *Digital Transformation and Emerging Technologies for Fighting COVID-19 Pandemic: Innovative Approaches*. Cham. 2021. P. 175–188.

25. "Як швидко можуть літати дрони?". URL: <https://3dinsider.com/drone-speed/> (дата звернення: 01.04.2023).

26. Tuli S., Tuli S., Tuli R., Gill S.S. Elsevier. *Predicting the Growth and Trend of COVID-19 Pandemic using Machine Learning and Cloud Computing Internet of Things*. 2020. Vol. 11.

27. Blockchain for decentralized multi-drone to combat COVID -19 and future pandemics: Framework and proposed solutions. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. 2021.

28. Pereira A.A., Espada J.P., Crespo R.G., Aguilar S.R. Platform for controlling and getting data from network connected drones in indoor environments. *Future Gener. Comput. Syst.* 2019. P. 656–662.

29. Thiels C.A., Aho J.M., Zietlow S.P., Jenkins D.H. Use of unmanned aerial vehicles for medical product transport. *Air Medical. Journal*. 2018. P. 104–108.

30. Graboyes R.F., Skorup B. Medical drones in the United States and a survey of technical and policy challenges. *SSRN Electron. Journal*. 2020.

31. Sethuraman S.C., Vijayakumar V., Walczak S. Cyber attacks on healthcare devices using unmanned aerial vehicles. *J Med Syst*. 2020.

32. Harnett B.M., Doarn C.R., Rosen J., Hannaford B., Broderick T.J. Evaluation of unmanned airborne vehicles and mobile robotic telesurgery in an extreme environment. *Telemedicine and e-Health*. 2008. P. 539–544.

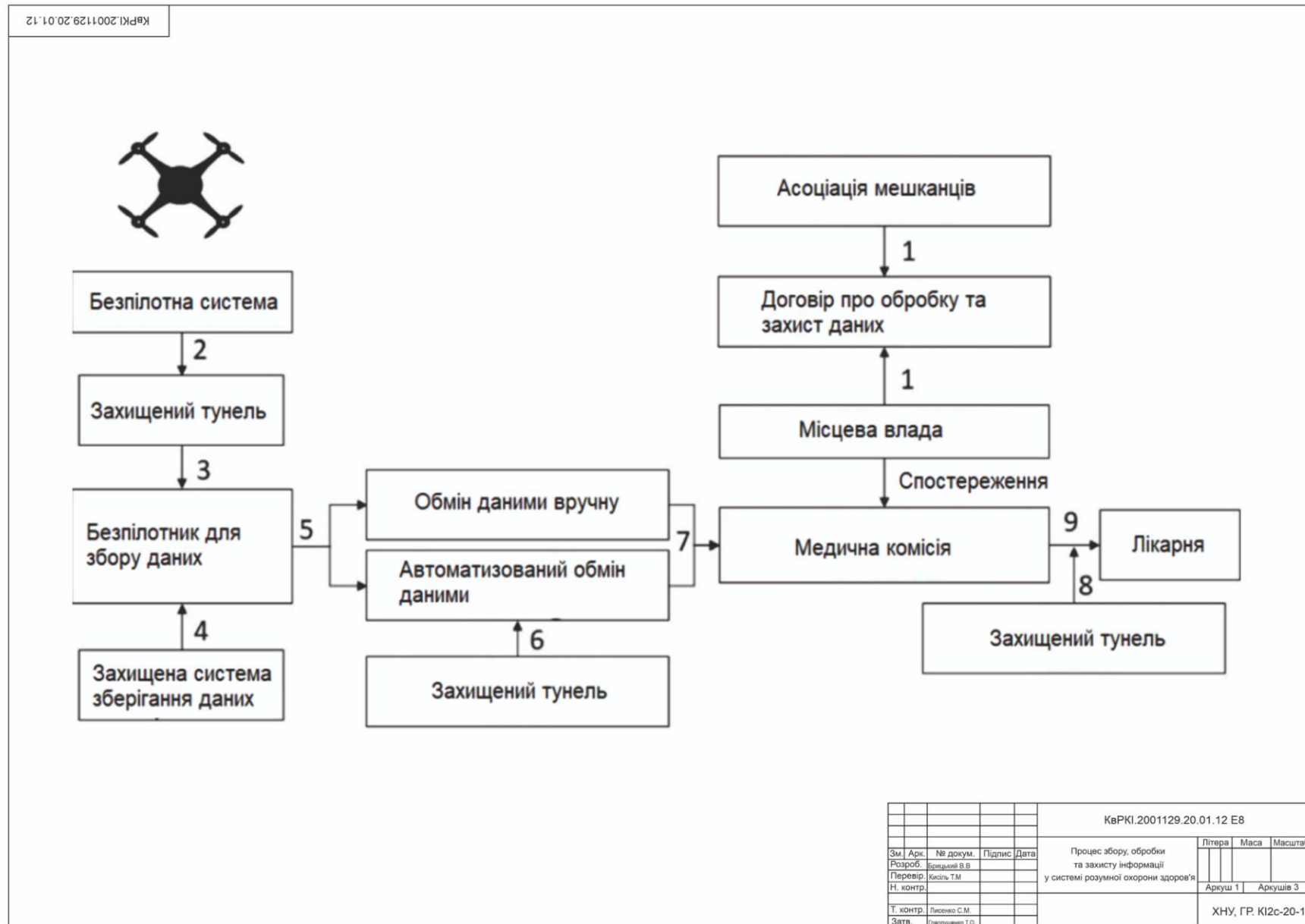
33. Young R., Richardson K. Counter-Drone Technologies: An Overview of Existing and Emerging Solutions, 2020.

					КВРКІ.2001129.20.01.12 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

34. Middleton B. Warren and E. The Impact of COVID-19 on the Drone Industry, 2020.
35. Rzecki K. Using the Evaluation Nets Modeling Tool Concept as an Enhancement of the Petri Net Tool. Krakow, 2017.
36. Bart R, Vykovsk A. Any object tracking and following by a flying drone, 2017
37. Schneider D. Flying selfie bots. *IEEE Spectr.* 2019.
38. Deep Drone Racing: From Simulation to Reality With Domain Randomization. *IEEE Transactions on Robotics.* 2020. Vol. 36, P. 1–14.
39. Soria E., Schiano F., Floreano D. SwarmLab: a Matlab Drone Swarm Simulator. *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.* 2020.
40. Novel Drone Design Using an Optimization Software with 3D Model, Simulation, and Fabrication in Drone Systems Research. 2022. Vol. 6, P. 97.
41. Floreano, Wood R. J. Science, technology and the future of small autonomous drones, 2021. Vol. 521, P. 460.
42. González-Jorge, Martínez-Sánchez, Bueno M. Unmanned aerial systems for civil applications, 2022. Vol. 1, P. 2.
43. Borshchev A. Multi-method modelling: AnyLogic. *Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making.* 2018. P. 248–279.
44. Drone-Based Social Distancing, Sanitization, Inspection, Monitoring, and Control Room for COVID-19. *Artificial Intelligence and Machine Learning for COVID-19.* 2021. P. 153–173.
45. Gupta K., Bansal S., Goel R. Uses of Drones In Fighting COVID-19 Pandemic. *10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends.* 2021.

## ДОДАТОК А (обов'язковий)

Копія креслення «Процесу збору, обробки та захисту інформації у системі розумної охорони здоров'я»




# ДОДАТОК Б (обов'язковий)

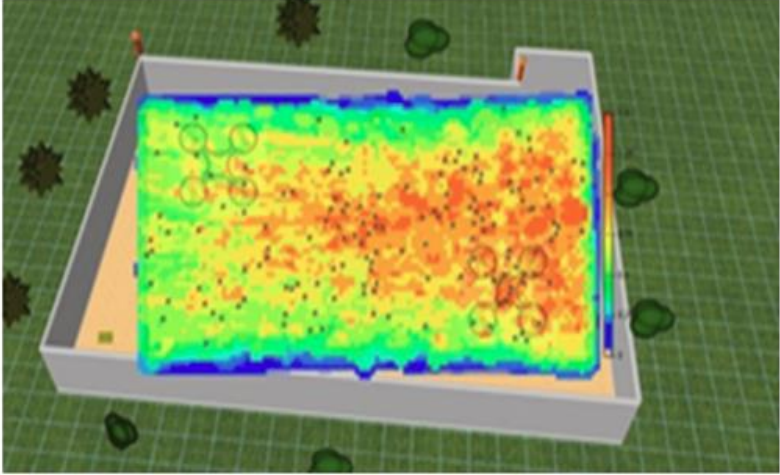
## Копія креслення «Система моніторингу температури»

КвРКІ.2001129.20.01.12

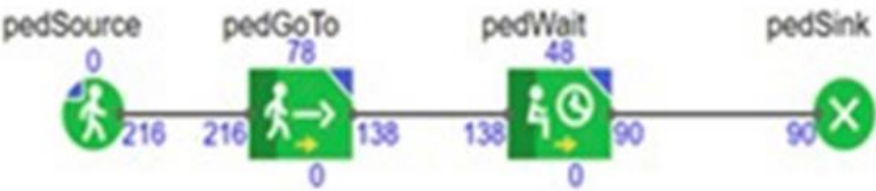
Зони пандемії, що розглядаються для моніторингу за допомогою дронів (вид збоку).



Теплове зображення, для моніторингу пересування людей та санітарної обробки в гарячих точках COVID-19 (одноденні спостереження)



Імітаційна модель для операції COVID-19



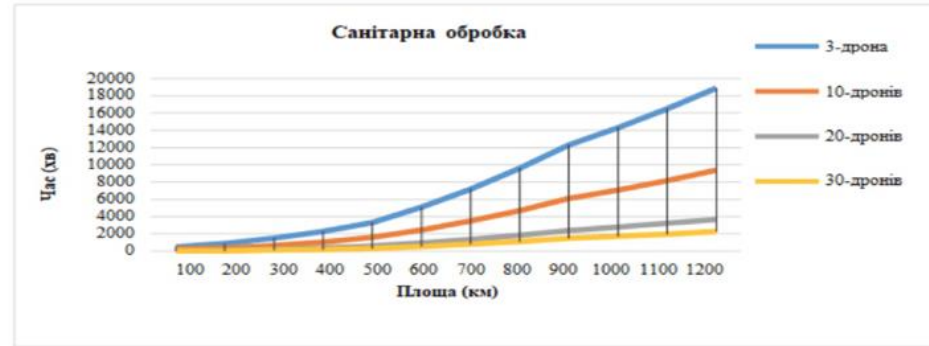
КвРКІ.2001129.20.01.12 E8										
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система моніторингу температури				Літера	Маса	Масштаб
Розроб.	Згодний В.В.									
Перевір.	Басиль Т.М.									
Н. контр.										
								Аркуш 1	Аркуш 3	
								ХНУ, ГР. КІ2с-20-1		
Т. контр.		Лисенко С.М.								
Завв.		Головченко Т.О.								

## ДОДАТОК В (обов'язковий)

### Копія креслення «Результати експериментів»

КвРКІ.2001129.20.01.12

Порівняльний аналіз часу, необхідного для санітарної обробки  
від 100 до 1200 кілометрів території при різній кількості дронів



Порівняльний аналіз кількості осіб, перевірених на дотримання  
соціальної дистанції, залежно від кількості БПЛА



					КвРКІ.2001129.20.01.12 E8			
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Результати експериментів	Літера	Маса	Масштаб
Розроб.	Брицький В.В.					Аркуш 1	Аркуш 3	
Перевір.	Кисель Т.М.							
Н. контр.								
Т. контр.	Лесина С.М.							
Затв.	Павлюченко Т.О.							
						ХНУ, ГР: К12с-20-1		

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1015329289

Дата перевірки:  
30.05.2023 19:46:57 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
30.05.2023 19:50:31 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Брицький\_Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі

Кількість сторінок: 64 Кількість слів: 9833 Кількість символів: 70873 Розмір файлу: 4.82 MB ID файлу: 1014999009

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 4.39% Схожість

Найбільша схожість: 2.82% з Інтернет-джерелом (<https://qmro.qmul.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/123456789/66943/GL..>)

3.88% Джерела з Інтернету

112

Сторінка 66

1.23% Джерела з Бібліотеки

93

Сторінка 66

## 0.03% Цитат

Цитати

3

Сторінка 67

Посилання

1

Сторінка 67

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

25

Підозріле форматування

15  
сторінок

**Anti-Plagiarism v-15.257****Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%****Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 12%**

ID: 114332 Назва: БКР Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі Додано в БД: 2023-05-30 Автора: В.В. Брицький Керівник: Т. М. Кисіль Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	57998	509	508 (1%)	7 (1%)

## Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Брицький Владислав Володимирович

Тема: Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи на основі БПЛА для боротьби з пандемією коронавірусної хвороби.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області: проаналізовано вимоги при розробці, моделюванні, впровадженні та аналізі розумної охорони здоров'я на основі дронів, здійснено порівняльний аналіз існуючих безпілотних систем, запропоновано архітектуру для інтелектуальної системи охорони здоров'я. В другому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто та запропоновано алгоритми та стратегії руху дронів. В третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено декілька імітаційних експериментів.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: слід було більше приділити увагу архітектурі системи .

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: добре/С/4.00

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

д.ф-м.н., професор, зав. каф. 1173 Бедрилох П.П.

“ 2 ” 06 2023 р.

 (підпис)

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

Брицького Владислава Володимировича  
ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-20-1

ЗАЯВА

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

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

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

01.06.2023

дата

підпис

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

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

Назва: Кіберфізична система боротьби з пандемією коронавірусної хвороби на основі БПЛА

Автор: Брицький Владислав Володимирович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Кисіль Тетяна Миколаївна, к.ф-м.н., доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) частина списку використаних джерел було визначено як плагіат.
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 4.39% і адресується до 112 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Т. М. Кисіль

С. М. Лисенко

Т. О. Говорущенко