

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І.І.МЕЧНИКОВА

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Інформаційна технологія підвищення живучості  
ройової системи

«Information technology to increase the survivability of the swarm system»

Виконав: студент денної форми навчання

спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Освітня програма «Інформаційні системи та технології»

(назва освітньої програми)

Самбурський Володимир Олексійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник д-р тех. н., проф. Малахов Є. В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали, підпис)

Рецензент канд. фіз.-матем. н., доцент Крапівний Ю.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент канд. техн. н., доцент Глава М.Г.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рекомендовано до захисту:

Захищено на засіданні ЕК № \_\_\_\_

Протокол засідання кафедри

протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_ 2022 р.

№ \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_ 2022 р.

Оцінка \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Завідувач кафедри

Голова ЕК

Євгеній МАЛАХОВ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Володимир ВИЧУЖАНІН

(підпис)

(ім'я, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі розроблено інформаційну технологію підвищення живучості ройової системи.

Завдяки розвитку комунікаційних, обчислювальних і сенсорних технологій за останні два десятиріччя навігація і координація роїв безпілотних літальних апаратів привертає дедалі більшу увагу як з боку науковців, так і з боку промисловості. Використовуючи стратегії спільного управління, велика кількість БПЛА, з'єднаних через мережу зв'язку, може бути спрямована на досягнення спільної мети.

Метою роботи є підвищення живучості ройової системи шляхом розробки технології її реструктуризації на підставі визначення цільових функцій максимізації ширини та якості сканування території.

Об'єкт дослідження: процес сканування місцевості ройовою системою.

Предметом дослідження є методи та технології підвищення живучості ройової системи.

В рамках цієї роботи розроблено безпілотний авіаційний комплекс, до складу якого входять головний та територіальний центри керування польотом (до складу входять: станція зв'язку, менеджер датчиків, метеорологічна станція, менеджер інструкцій, логістична система, база даних результатів сканування, база даних станів БПЛА), система керування злітом та посадкою, інтерфейс оператора та власне ройова система – група БПЛА.

Було досліджено основні етапи дослідження місцевості спроектованим комплексом: підготовка до зліту, зліт, політ, повернення на базу та посадка, післяпольотні заходи.

Для підвищення живучості ройової системи сформульовано цільові функції системи та розроблено технологію максимізації ширини та якості сканування території, що досліджується роєм.

Застосування запропонованої технології промодельовано з урахуванням можливої втрати компонентів рою.

## ABSTRACT

In this thesis is developed an information technology to increase the survivability of the swarm system.

Due to the development of communication, computing and sensor technologies over the past two decades, the navigation and coordination of swarms of unmanned aerial vehicles has attracted increasing attention from both academia and industry. Using collaborative management strategies, a large number of UAVs connected through a communication network can be directed towards a common goal.

The purpose of the work is to increase the survivability of the swarm system by developing a technology for its restructuring based on the definition of objective functions for maximizing the width and quality of scanning the territory.

Object of study: the process of scanning the area by swarm system.

The subject of research is methods and technologies to increase the survivability of the swarm system.

Within the framework of this work, an unmanned aerial vehicle complex is developed, which includes the main and territorial flight control centers (including: communication station, sensor manager, meteorological station, instruction manager, logistics system, scanning results database, UAV status database), takeoff and landing control system, operator interface and the swarm system itself - a group of UAVs.

The main stages of terrain exploration by the designed complex are investigated: preparation for takeoff, takeoff, flight, return to base and landing, post-flight activities.

To increase the survivability of the swarm system, the target functions of the system are formulated and the technology for maximizing the width and quality of scanning of the territory explored by the swarm are developed.

The application of the proposed technology is modeled taking into account the possible loss of swarm components.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 РОЙОВИЙ ІНТЕЛЕКТ .....	8
1.1 Загальні відомості про ройовий інтелект .....	8
1.2 Живучість ройових систем .....	8
1.3 Приклади використання ройових систем .....	10
1.4 Алгоритми реалізації ройового інтелекту .....	10
1.5 Переваги та недоліки використання ройового інтелекту .....	14
2 БЕЗПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ СИСТЕМИ.....	16
2.1 Складові частини безпілотних авіаційних систем .....	16
2.2 Безпілотні літальні апарати .....	17
3 ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ БЕЗПЛОТНОГО АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ .....	20
3.1 Складові частини комплексу .....	20
3.2 Проміжні висновки .....	24
4 ЕТАПИ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЦЕВОСТІ БЕЗПЛОТНИМ АВІАЦІЙНИМ КОМПЛЕКСОМ .....	25
4.1 Головні етапи дослідження місцевості групою безпілотних літальних апаратів.....	25
4.2 Проміжні висновки .....	28
5 АЛГОРИТМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ БЕЗПЛОТНОЇ АВІАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ .....	29
5.1 Алгоритм максимізації ширини сканування.....	29
5.2 Алгоритм максимізації якості (глибини) сканування .....	32
6 МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ АГЕНТІВ.....	34
6.1 Базова поведінка ройової системи та її недоліки .....	34
6.2 Поведінка рою із застосуванням розроблених алгоритмів .....	36
6.3 Переваги та недоліки розроблених алгоритмів .....	41
6.4 Доцільність застосування технології підвищення живучості .....	42
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45
ДОДАТОК А Етапи дослідження місцевості групою безпілотних літальних апаратів.....	49

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

Агент, бойд – окремий компонент ройової системи

БАС – безпілотна авіаційна система

БПЛА - безпілотний літальний апарат

БпАК – безпілотний авіаційний комплекс

ДПАС – дистанційно пілотовані авіаційні системи

ІС – інформаційна система

РІ – ройовий інтелект

## ВСТУП

Роїння як поняття не є новим. Рої можна зустріти в природі, наприклад, косяки риби (для добування їжі та захисту від хижаків), бджолині колонії (розмноження) та пташині зграї (добування їжі та міграція).

Роїння – це також давня військова тактика, коли кілька підрозділів сходяться, щоб атакувати ціль з декількох напрямів у навмисно структурований, скоординований спосіб [1].

Завдяки розвитку комунікаційних, обчислювальних і сенсорних технологій за останні два десятиріччя навігація і координація роїв безпілотних літальних апаратів звертає на себе все більшу увагу з боку науковців. Використовуючи стратегії спільного управління, велика кількість БПЛА, з'єднаних певними зв'язками, може бути спрямована на досягнення однієї спільної мети.

При правильному проектуванні взаємодія об'єднаних в групу БПЛА може бути забезпечена за рахунок використання інформації про стан сусідніх апаратів через модулі зв'язку, що забезпечує більшу гнучкість і економічну ефективність у порівнянні з одним складним БПЛА при вирішенні складних і відповідальних завдань [2]. У порівнянні з колісними мобільними роботами, висока гнучкість і маневреність БПЛА роблять їх ідеальними платформами для виконання автономних завдань в екстремальних умовах.

Проблема швидкого та ефективного реагування в надзвичайних ситуаціях завжди хвилювала людство. З роками ефективність систем виявлення стихійних лих тільки зростає, і завдяки сучасним технологіям багато процесів рятувальних операцій можна автоматизувати.

Сьогодні сильні лісові пожежі, землетруси, повені та сходження лавин в горах по всьому світу [3] стимулювали дослідження в галузі розробки передових стратегій навігації БПЛА для моніторингу стихійних лих, їх наслідків та пошуку постраждалих.

Метою роботи є підвищення живучості ройової системи шляхом розробки технології її реструктуризації на підставі визначення цільових функцій максимізації ширини та якості сканування території.

Об'єкт дослідження: процес сканування місцевості ройовою системою.

Предметом дослідження є методи та технології підвищення живучості ройової системи.

Для досягнення мети були сформульовані такі завдання: дослідження та аналіз існуючих методів організації ройової системи, дослідження та аналіз алгоритмів живучості інформаційних систем, пошук оптимального рішення на підставі отриманих результатів, аналіз існуючих інструментів реалізації інформаційних систем, розробка інформаційної технології підвищення живучості, що включає в себе опис організації цілого комплексу, що забезпечує роботу такої системи.

## ВИСНОВКИ

В рамках цієї роботи розроблено безпілотний авіаційний комплекс, до складу якого входять головний та територіальний центри керування польотом (до складу входять: станція зв'язку, менеджер датчиків, метеорологічна станція, менеджер інструкцій, логістична система, база даних результатів сканування, база даних станів БПЛА), система керування злітом та посадкою, інтерфейс оператора та власне ройова система – група БПЛА.

Досліджено основні етапи дослідження місцевості спроектованим комплексом: підготовка до зліту, зліт, політ, повернення на базу та посадка, післяпольотні заходи.

Проаналізувавши всі кроки, які проходить ройова система під час польоту, дійшли висновку, що саме при пересуванні по координатах під час польоту можуть виникати проблеми із забезпеченням живучості системи, адже в залежності від місії, яку виконує система (локалізація лісової пожежі, пошук постраждалих під час повені або сходження лавини), цільова функція може змінюватися. Для підвищення живучості ройової системи сформульовано цільові функції системи та розроблено алгоритми максимізації ширини та якості сканування території, що досліджується роєм.

Роботу запропонованих алгоритмів промодельовано з урахуванням можливої втрати бойдів.

Під час моделювання роботи алгоритму максимізації ширини сканування стало зрозуміло, що для того, щоб система мала змогу продовжувати дослідження території, необхідно мати запас дронів, які замінять втрачені. З іншого боку, межі сканованої території можуть бути звужені так, щоб залишкова кількість апаратів змогла обслужити нову площу.

При дослідженні роботи алгоритму максимізації якості сканування з'ясували, що у випадку втрати одного або кількох апаратів, рій матиме можливість підтримувати привабливий рівень якості. Безумовно, для того,

щоб отримати більш якісне зображення, слід збільшити кількість агентів системи.

Подальший розвиток цієї роботи полягає у:

- реалізації описаного безпілотного авіаційного комплексу та його подальшому тестуванні;
- розробці модулю рекомендацій, який пропонує оператору системи можливі варіанти поведінки рою;
- розробці інтерфейсу оператора системи;
- аналізі можливих варіантів систем розпізнавання образів та їх імплементація;
- дослідженні поведінки рольової моделі ройової системи та можливостей підвищення її живучості;
- проектуванні технології бездротового спільного сховища даних, яке використовуватимуть бойди для зберігання проміжних результатів сканування.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бджолиний рій – тактика партизанської війни ХХІ століття [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://litsa.com.ua/13833/>
2. 10 Benefits of UAV for GIS Mapping and Data Collection Projects [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://geo-jobe.com/drones-uav/benefits-of-uav-data-collection-projects/>
3. Global reported natural disasters by type, 1970 to 2019 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/natural-disasters-by-type>
4. Матрєнин П.В. Системное описание алгоритмов роевого интеллекта [Електронне видання] / Матренин П.В., Секаев В.Г. // Новосибирск, 2013. – 19 с. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/281065239\\_Sistemnoe\\_opisanie\\_algoritmov\\_roevogo\\_intellekta](https://www.researchgate.net/publication/281065239_Sistemnoe_opisanie_algoritmov_roevogo_intellekta)
5. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ // К.: Наук. думка, 2011. —256 с.
6. U.S. Army. U.S. Army Roadmap for UAS 2010-2035 [Електронний ресурс] / U.S. Army UAS Center of Excellence – 2015 (Retrieved) – 140 с. Режим доступу: <https://irp.fas.org/program/collect/uas-army.pdf>
7. Lewis, M. Anthony. The Behavioral Self-Organization of Nanorobots Using Local Rules [Електронний ресурс] / Lewis, M. Anthony, Bekey, George A. // 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems – 1992 р. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/3690783\\_The\\_Behavioral\\_Self-organization\\_Of\\_Nanorobots\\_Using\\_Local\\_Rules](https://www.researchgate.net/publication/3690783_The_Behavioral_Self-organization_Of_Nanorobots_Using_Local_Rules)
8. al-Rifaie, M.M. Identifying metastasis in bone scans with Stochastic Diffusion Search [Електронний ресурс] / al-Rifaie, M.M., Aber, A. // Proc. IEEE Information Technology in Medicine and Education, ITME – 2012 р. – с. 519–523 – Режим доступу:

[https://www.researchgate.net/publication/262223271\\_Identifying\\_Metastasis\\_in\\_Bone\\_Scans\\_with\\_Stochastic\\_Diffusion\\_Search](https://www.researchgate.net/publication/262223271_Identifying_Metastasis_in_Bone_Scans_with_Stochastic_Diffusion_Search)

9. Kennedy J. Particle Swarm Optimization. [Электронный ресурс] / J. Kennedy, R. Eberhart // Proc. of IEEE International Conference on Neural Network, Piscataway, 27.11.1995-01.12.1995. NJ. Pp. 1942-1948 (1995). Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=488968>
10. Dorigo M. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents [Электронный ресурс] / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B. 1996. V. 26. No. 1. Режим доступа: <ftp://iridia.ulb.ac.be/pub/mdorigo/journals/IJ.10-SMC96.pdf>
11. D. Karaboga. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm [Электронный ресурс] / D. Karaboga, B. Basturk // Journal of Global Optimization. – 13 April 2007. – с. 459-471 – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10898-007-9149-x#citeas>
12. J. Kennedy. A discrete binary version of the particle swarm algorithm [Электронный ресурс] / J. Kennedy, R.C. Eberhart // 1997 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Computational Cybernetics and Simulation – Orlando, FL, USA, 1997. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/637339>
13. R. Vasundhara Devi. Monkey algorithm for robot path planning and vehicle routing problems [Электронный ресурс] / R. Vasundhara Devi, S. Siva Sathya, Nilabh Kumar // 2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES) – Chennai, India, 2017 – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8070743>
14. C. Blum. Ant colony optimization: Introduction and recent trends [Электронный ресурс] / Physics of Life Reviews – December 2005 – с. 353-373 – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2005.10.001>
15. Unmanned Aircraft Systems [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.trade.gov/unmanned-aircraft-systems>

16. Hu J. Fault-tolerant cooperative navigation of networked UAV swarms for forest fire monitoring [Электронный ресурс] / Hu J., Niu H., Carrasco J., Lennox B., Arvin F. // Aerospace Science and Technology – 2022 – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107494>
17. Tice, Brian P. Unmanned Aerial Vehicles – The Force Multiplier of the 1990s [Электронный ресурс] / Airpower Journal – 2009 – Режим доступа: <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj91/spr91/4spr91.htm>
18. A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2301385014300017>
19. An investigation of micro aerial vehicles (µAV) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/13434>
20. Roberts, James F. Quadrotor Using Minimal Sensing For Autonomous Indoor Flight [Электронный ресурс] / Roberts James F., Stirling Timothy, Zufferey Jean-Christophe, Floreano Dario // 2007 – Режим доступа: <https://infoscience.epfl.ch/record/111485>
21. Swarmanoid: A Novel Concept for the Study of Heterogeneous Robotic Swarms [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6603259>
22. Xiaoming Li. A Software Scheme for UAV's Safe Landing Area Discovery / AASRI Procedia 4 – 2013 – с. 230 – 235 – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2013.10.035>
23. E. Papageorgiou. Survivability Modelling for Unmanned Air System Design [Электронный ресурс] / 2022 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences – 21-24 February 2022 – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9734890>
24. A. Muraru. An Overview on The Concept of UAV Survivability [Электронный ресурс] / International Conference of Scientific Paper – 2011 – Режим доступа: <https://www.afahc.ro/ro/afases/2011/uav/MURARU.pdf>

25. Самбурський В.О. Проблема підвищення живучості ройової системи / Самбурський В.О., Малахов Є.В. // Інформатика, інформаційні системи та технології: тези доповідей дев'ятнадцятої всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців. Одеса, 29 квітня 2022 р. – Одеса, 2022. – с. 94-95.
26. Samburskyi V. The problem of the swarming system survival improvement / Samburskyi V., Malakhov E. // 1st Student Scientific Conference of Joint Research Cooperation between Odesa I.I. Mechnikov National University and Huaiyin Institute of Technology: CONFERENCE PROCEEDINGS. Dnipro, 16 травня 2022 р. – с. 147.