

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д-р. техн. наук, проф.

_____ В. Ю. Ларін

«__» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«БЕСПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»

Тема: Експертна система оцінювання ефективності виконання групових польотів БПЛА за допомогою теорії графів.

Виконала: _____ **Н. О. Бойченко**

Керівник: д-р техн. наук, проф. _____ **Т.Ф. Шмельова**

Нормоконтролер _____ **Т.Ф. Шмельова**

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Навчальний ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Безпілотні авіційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д-р техн. Наук, професор

_____ В.Ю. Ларін

«___» _____ 2019р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

БОЙЧЕНКО НАТАЛІЇ ОЛЕКСАНДРІВНИ

1. Тема дипломної роботи «Експертна система оцінювання ефективності виконання групових польотів БПЛА за допомогою теорії графів» затверджена наказом ректора від 29 жовтня 2019р. № 2524/ст.
2. Термін виконання роботи: з 14.10.2019 по 29.12.2019р.
3. Вихідні дані до роботи: дані організацій EUROCONTROL, ICAO, УКРЕРОРУХ.
4. Зміст пояснювальної записки: Визначення ефективності виконання польотів групи БПЛА використовуючи теорію графів. Збір та аналіз експертних оцінок.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки результатів даних, таблиці, формули.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Підготовка та написання 1 розділу «Перспективи розвитку БПЛА в Україні. Групові польоти. Статистика та задачі»	16.11.19-16.11.19	Виконано
2.	Підготовка та написання 2 розділу «Методи експертних оцінок і локальної обчислювальної мережі»	17.11.19-18.11.19	Виконано
3.	Підготовка та написання 3 розділу «Основні критерії виконання польотів літальних апаратів»	18.11.19-20.11.19	Виконано
4.	Підготовка та написання 4 розділу «Основні критерії виконання польотів літальних апаратів»	21.11.19-23.11.19	Виконано

7. Дата видачі завдання: « 14 » жовтня 2019 р.

Керівник дипломної роботиШмельова Тетяна Федорівна

(підпис керівника)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконанняБойченко Наталія Олександрівна

(підпис студента)

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Експертна система оцінювання ефективності виконання групових польотів БПЛА за допомогою теорії графів» містить 77 сторінок, 13 рисунків, 32 таблиці, 20 використаних джерел.

Об’єкт дослідження – моделювання групового польоту безпілотних літальних апаратів.

Предмет дослідження – вибір оптимальної топології мережі для здійснення групового польоту БПЛА за допомогою теорії графів.

Мета роботи – визначення оптимальної топології мережі за допомогою експертних оцінок.

Методи дослідження – теорія графів; метод експертних оцінок; системний аналіз процесу використання даних.

У дипломній роботі досліджується процес групового польоту БПЛА, вимоги до експлуатації БПЛА, проводиться аналіз основних топологій мереж, пропонується метод визначення оптимальної топології за допомогою думки експертної групи.

БЕЗПІЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, ОПЕРАТОР, ТОПОЛОГІЯ МЕРЕЖ,
ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА, ТЕОРІЯ ГРАФІВ.

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	Ошибка! Закладка не определена.
ВСТУП.....	8
ЧАСТИНА 1. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БПЛА В УКРАЇНІ. ГРУПОВІ ПОЛЬОТИ. СТАТИСТИКА ТА ЗАДАЧІ	16
ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 1	Ошибка! Закладка не определена.
ЧАСТИНА 2. МЕТОДИ ЕКСПЕРНИХ ОЦІНОК ТА МЕТОДИ ДОСТУПУ В ЛОКАЛЬНІЙ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ	27
ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 2	Ошибка! Закладка не определена.
ЧАСТИНА 3. ОСНОВНІ КРИТЕРІЇ ВИКОНАННЯ ПОЛЬОТІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	39
ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 3	Ошибка! Закладка не определена.
ЧАСТИНА 4. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, РЕКОМЕНДАЦІЇ, ПРОТОКОЛИ УПРАВЛІННЯ БПЛА В ГРУПІ	64
ВИСНОВКИ ДО ЧАСТИНИ 4	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БПЛА, БЛА – безпілотний літальний апарат;

ДПЛА – дистанційно-пілотований літальний апарат;

ПЗ – програмне забезпечення;

СУ – система управління;

ЛА – літальний апарат;

БСМ – безпроводні сенсорні мережі (Wireless Sensor Network);

GPS – система глобального позиціювання (Global Positioning System);

MANET – мобільна мережа (Mobile Ad-Hoc Networks);

RPS – віддалена пілотна станція (Remote Pilot Station).

ВСТУП

Системи літальних апаратів з дистанційним пілотуванням - це новий компонент авіаційної системи. Ці системи базуються на передових розробках аерокосмічних технологій та відкривають безліч нових можливостей для безпеки авіації та розвитку промисловості. Зараз наука багато уваги приділяє дослідженню можливостей застосування безпілотної авіації.

Безпілотний авіаційний пристрій - це повітряне судно, яким управляє кваліфікований пілот, який знаходиться на віддаленій пілотній станції. Станція управління розташовується таким чином, щоб пілот мав доступ до літального апарату візуально, або апаратно, і мав змогу стежити за літальним апаратом у будь-який час і, в разі необхідності, мав змогу відповідати на команди диспетчерів з управління повітряним рухом, повідомляти по голосовому зв'язку або по лінії передачі даних необхідну інформацію щодо ведення польоту, виконувати цільові операції та нести пряму відповідальність за безпечне пілотування літального апарату протягом виконання польоту. Оператор з управління повітряним рухом може володіти різними типами технологій систем автоматичного пілотування, але в будь-який час пілот має право втручатися в управління польотом. Це необхідно для покращення рівня безпеки літального апарату, який перебуває у польоті: використовуючи систему автоматичного польоту, оператор має змогу скорегувати політ, виконати екстрену посадку або отримати контроль над літальним апаратом.

Безпілотна авіація має ряд переваг, а саме: низьку вартість експлуатації, малу радіолокаційну та оптичну помітність, стійкість і гнучкість, просту і доступну технологію їх створення. Безпілотні засоби можуть навіть використовуватись в тих випадках, коли використання пілотованої авіації є непрактичним, дорогим або ризикованим. Спочатку БПЛА застосовувалися в основному у військових цілях:

- ведення військової розвідки, спостереження, виявлення, розпізнавання та супроводження об'єктів (цілей);
- забезпечення двосторонньої та радіорелейного зв'язку;
- ведення радіо- і радіотехнічної та радіоелектронної розвідки, радіоелектронної боротьби;
- виявлення фактів застосування хімічної, біологічної, та ядерної зброї;
- доставки вантажів;
- участі в інформаційних операціях;
- вирішення завдань пошуку і рятування;
- безпосередньої авіаційної підтримки;
- участі в повітряно-наступальній операції;
- контролю стану навколишнього середовища.

У цивільній авіації основною перевагою застосування БПЛА є виконання завдань, що пов'язані з ризиком для людини та ефективність при вирішенні народногосподарських завдань. У деяких випадках використання одного літального апарату вважається неефективним – тоді є доцільним групове (колективне) застосування БПЛА, як у цивільній так і у військовій сфері:

- для ретрансляції зв'язку у тих місцях, де неможливо встановити антени покриття через складний рельєф;
- у сільському господарстві (групові обприскування полів);
- аерофотозйомка (групова зйомка великих територій, моніторинг лісових пожеж, патрулювання територій тощо);
- переміщення вантажу.

Ефективність використання безпілотних літальних апаратів значно збільшується при організації групових польотів. Групове використання безпілотних літальних апаратів широко застосовується в світі для вирішення господарських та військових завдань. Серед цих завдань – контроль за

станом великих лісових господарств з метою запобігання пожеж та повені, прийняття відповідних заходів щодо своєчасного гасіння пожеж та порятунку постраждалих, моніторинг безпеки на автотрасах, повітряний супровід вантажів, пошуково-рятувальні операції, аерофоторозвідка та інші. Застосування групових дій дистанційно пілотованих апаратів дозволяє своєчасно приймати рішення та зменшити часові витрати на виконання завдання.

При виконанні групових польотів БПЛА має місце проблема управління польотом групи безпілотних авіаційних апаратів, яке може бути здійснене одним із способів:

- 1) автономне – по закладеній в пам'яті бортового комп'ютера програмі польоту;
- 2) централізоване – за допомогою одного або декількох операторів, які забезпечують оперативне планування польоту в реальному часі зі стаціонарного або переносного пункту.

При автономному управлінні не можуть бути враховані непередбачувані заздалегідь зміни зовнішніх умов і поява нових цілей, виключена можливість при необхідності перепланування дій. При швидкому оновленні поточної польотної інформації і великому її об'ємі при централізованому способі управління навантаження на оператора значно зростає. Як варіант усунення недоліків першого і другого способів, нещодавно було виявлено третій:

- 3) створення бортових систем управління з елементом штучного інтелекту, що забезпечує оперативне планування групових дій в умовах постійно мінливої польотної ситуації.

Державні відомства і спецслужби, функції яких пов'язані з охороною, контролем та моніторингом об'єктів, ліквідацією пожеж, підприємства паливноенергетичного комплексу, а також фірми, бізнес яких пов'язаний з отриманням просторових даних, також виявляють зустрічний інтерес до

БПЛА. Відзначено додаткові корисні властивості: швидша площа покриття фрагменту місцевості як наслідок більш ефективна при аерофотозйомці, ретрансляції зв'язку, сільськогосподарських роботах – якими володіє група БПЛА в порівнянні з використанням одного БПЛА. Але, незважаючи на низку переваг існують певні недоліки, а саме:

- основні проблеми пов'язані з використанням повітряного простору, виділенням частотного діапазону для управління БПЛА і передачею інформації з борту на землю;
- відсутність оптимізації структури групи БПЛА.

Для управління групою БПЛА пропонується застосовувати теорію графів, як математичний апарат для моделювання і оптимізації систем складної структури:

- в математиці для розв'язання складних рівнянь;
- у фізиці для побудови електричних схем;
- у будівництві для найбільш раціонального розміщення об'єктів і прокладання доріг;
- у біології для розв'язання задач генетики;
- в економіці – для пошуку рішень мінімальної вартості;
- в інформаційних технологіях – при визначенні ефективності топології локальних та глобальних обчислювальних мереж та інших сферах застосування.

Теорія графів — розділ математики, що вивчає властивості графів. Наочно граф можна уявити як геометричну конфігурацію, яка складається з точок (вершини) сполучених лініями (ребрами). При зображенні графів найчастіше використовується така система позначень: кожна вершина зображується у вигляді точки на площині, і якщо між вершинами існує ребро, то відповідні точки з'єднуються відрізком.

В дипломній роботі розглянуті проблеми моделювання і планування групових польотів БПЛА. Для кожного із етапів процедури планування

групових дій розроблена нейромережева структура. При цьому відзначається складність задач у разі управління групою БПЛА, яка полягає у недоцільності застосування класичної теорії керування. Будемо представляти групу БПЛА інформаційною мережею з двонаправленим зв'язком між її елементами (вузлами). Вузли здатні приймати, перетворювати, передавати інформацію та обмінюватися певними даними, які дозволяють змінювати конфігурацію мережі. В якості середовища передачі інформації виступає повітря. За способом управління мережа відповідає архітектурі «клієнт-сервер». Спосіб організації зв'язку між вузлами в мережі визначає топологію мережі або так звану конфігурацію графа. В залежності від типу з'єднань вузлів розрізняють топології шина, кільце, зірка, коміркова та їх комбінації. Необхідність вибору топології мережі диктується рядом факторів, серед яких визначальними є відстань, безпека, надійність, вартість мережі та деякі інші показники, які слід розглядати в кожному окремому випадку розробки мережі. Враховуючи обмеженість та залежність застосування групи БПЛА від цільового призначення ставиться завдання щодо аналізу показників топології мереж для реалізації групового польоту. Топологія мереж характеризує фізичну організацію вузлів різноманітних мереж (в нашому випадку мережі БПЛА).

Під топологією (компонуванням, конфігурацією, структурою) мережі БПЛА звичайно розуміється фізичне розташування БПЛА один щодо іншого та спосіб їх з'єднання лініями зв'язку.

Топологія мережі відображає структуру зв'язку між її основними функціональними елементами. В залежності від компонентів, що розглядаються, розрізняють фізичну і логічну структури локальних мереж. Фізична структура визначає топологію фізичних з'єднань між БПЛА. Логічна структура визначає логічну організацію взаємодії комп'ютерів між собою. Доповнюючи одна одну, фізична та логічна структури дають найповніше уявлення про мережу.

Топологія мережі спричиняється її характеристиками. Зокрема, вибір тієї або іншої топології впливає на:

- склад необхідного мережного встаткування;
- характеристики мережного встаткування;
- можливості розширення мережі;
- спосіб керування мережею.

Додаткові способи є комбінаціями базових. У загальному випадку такі топології називаються змішаними або гібридними.

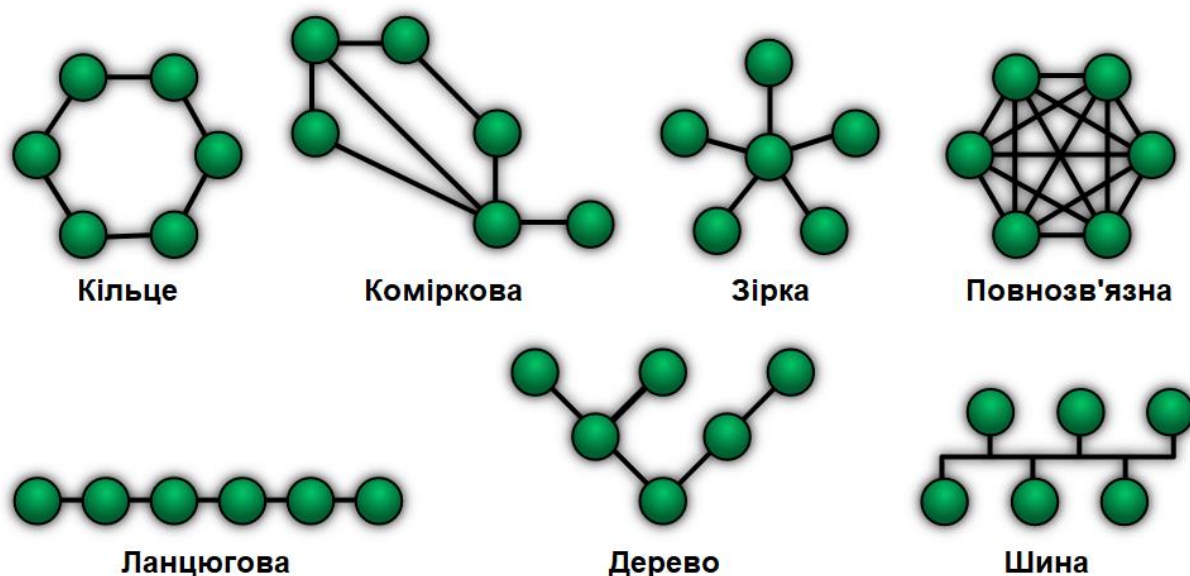


Рисунок 1- Топології мереж

Аналіз існуючих топологій інформаційних мереж та їх можливостей відповідно до табл. 1, показує переваги гібридних над класичними варіантами такими, як «ланцюгова», «шина», «кільце» та «зірка».

Таблиця 1 - Аналіз існуючих топологій інформаційних мереж та їх можливостей

Мережа	Переваги	Недоліки
Кільце	<ul style="list-style-type: none"> - просте розгортання; - стійка робота без істотного падіння швидкості передачі 	<ul style="list-style-type: none"> - активна участь кожної робочої станції мережі; - вимикання мережі при підключенні нової робочої

	даних при інтенсивному завантаженні мережі.	станції; - складність локалізації дефектів середовища передавання. - складність конфігурації і настройки.
Коміркова	- стійкість до відмов; - допускає з'єднання великої кількості станцій; - вихід із ладу однієї робочої станції не відображається на роботі всієї мережі.	- необхідність додаткового обладнання для розгортання.
Зірка	- легкість управління; - надійність роботи та можливість швидкого виявлення дефектів; - нескладне додавання в мережу нового вузла.	- необхідність додаткового обладнання для розгортання; - пошкодження концентратора спричиняє вихід з ладу всієї мережі.
Повнозв'язна	- вихід із ладу однієї робочої станції не відображається на роботі всієї мережі; - допускає з'єднання великої кількості станцій; - висока стійкість до відмов.	- необхідність додаткового обладнання для розгортання.

Ланцюгова	<ul style="list-style-type: none"> - просте розгортання; - нескладне додавання в мережу нового вузла; - просте управління трафіком між під'єднаними вузлами. 	<ul style="list-style-type: none"> - пошкодження одного з'єднання між двома вузлами виводить з ладу всю мережу; - складність локалізації дефектів середовища передавання.
Дерево	<ul style="list-style-type: none"> - надійність роботи та можливість швидкого виявлення дефектів; 	<ul style="list-style-type: none"> - вихід із ладу батьківської робочої станції або кореня відображається на роботі всієї мережі.
Шина	<ul style="list-style-type: none"> - просте розгортання; - вихід із ладу однієї робочої станції не відображається на роботі всієї мережі. 	<ul style="list-style-type: none"> - з додаванням нових робочих станцій падає загальна продуктивність мережі; - складність локалізації дефектів середовища передавання.

Результат проведеного аналізу включає необхідність додаткового аналізу гібридних топологій інформаційних мереж та їх можливостей.

Розділ 1. Перспективи розвитку бпла в Україні. Групові польоти.

Статистика та задачі

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) – літальний апарат без екіпажу на борту. БПЛА можуть володіти різним ступенем автономності - від керованих дистанційно до повністю автоматичних, а також відрізнятися по конструкції, призначенню і безлічі інших параметрів. Управління БПЛА може здійснюватися епізодичній подачею команд або безперервно - в останньому випадку БПЛА називають дистанційно-пілотованим літальним апаратом (ДПЛА).

Безпілотні літальні апарати важко класифікувати, так як вони мають дуже різні характеристики. Це різноманітність походить від великої кількості конфігурацій і компонентів БПЛА. Виробники поки не обмежені ніякими стандартами. В результаті сьогодні відсутні вимоги з боку авіаційних регуляторів про те, як БПЛА повинен бути оснащений.

У зв'язку з розвитком ринку безпілотної авіації з'являється необхідність більш точного його вивчення, так як наростає різноманітність БПЛА за типами, схемами, розширюється сфера їх застосування. Міжнародною асоціацією по безпілотним системам AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International) була запропонована універсальна класифікація БПЛА, яка об'єднує багато критеріїв [15].

Таблиця 2 - Універсальна класифікація БПЛА по льотним параметрам

Група	Категорія		Злітна маса	Дальність польоту, км	Висота польоту, м	Тривалість польоту, г
	укр.	англ.				
1	2	3	4	5	6	7
Малі БПЛА	Нано-БПЛА	Nano	< 0,025	< 1	100	1
	Мікро-БПЛА	Micro (μ)	< 5	< 10	250	1
	Міні-БПЛА	Mini	5...150*	< 10	150...300*	< 2
Тактичні	Легкі БПЛА для контролю	Close Range (CR)	25...150	10...30	3000	2...4

	переднього краю оборони					
	Легкі БПЛА з малою дальністю польоту	Short Range (SR)	50...250	30...70	3000	3...6
	Середні БПЛА	Medium Range (MR)	150...500	70...200	5000	6...10
	Середні БПЛА з великою тривалістю польоту	Medium Range Endurance (MRE)	500...1500	> 500	8000	10...18
	Маловисотні БПЛА для проникнення в глибину оборони противника	Low Altitude Deep Penetration (LADP)	250...2500	> 250	50...9000	0,5...1
	Маловисотні БПЛА з великою тривалістю польоту	Low Altitude Long Endurance (LALE)	15...25	> 500	3000	> 24
	Середньовисотні БПЛА з великою тривалістю польоту	Medium Altitude Long Endurance (MALE)	1000...1500	> 500	5000...8000	24...48
Стратегічні	Висотні БПЛА з великою тривалістю польоту	High Altitude Long Endurance (HALE)	2500...5000	> 2000	20000	24...48
	Бойові (ударні) БПЛА	Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAV)	> 1000	1500	12000	2
Спеціального призначення	БПЛА, оснащені бойовою частиною (летальної дії)	Lethal (LET) (Offensive)	-	300	4000	3...4
	БПЛА - помилкові цілі	Decoys (DEC)	150...500	0...500	50...5000	< 4

	Стратосферні БПЛА	Stratospheric (STRA)	> 2500	> 2000	> 20000	> 48
	Екзостратосферні БПЛА	Exostratospheric	-	-	> 30500	-

У конструкції безпілотного апарату є супутниковий навігатор і програмований модуль. Якщо БПЛА використовується для отримання, збереження і передачі інформації на пульт оператора, в ньому додатково встановлюються карта пам'яті і передавач.

Найбільш часто зустрічається класифікація БПЛА за наступними основними характеристиками:

- по дизайну / конфігурації;
- за типом зльоту;
- за цільовим призначенням;
- за технічними характеристиками;
- за типом харчування силової установки;
- з корисного навантаження;
- за типом системи автоматизації;
- по системі запобігання зіткнень;
- за типом навігації;
- за типами захисту від глушіння сигналів;
- по пропускній здатності радіочастотного спектру;
- по бортовий обробці даних;
- за спеціалізацією програмного забезпечення.

Конструкція і функціональність змінюються в залежності від призначення апарату:

- Сільське господарство

В агрономічній промисловості, карти, створені за допомогою БПЛА, показують динаміку розвитку посівів та надають інформацію про площі полів. БПЛА стежать за якістю посівів - можна оцінити стан вегетації рослин на момент проведення обльоту. Ідентифікуючи неоднорідні ділянки поля,

можна визначити проблему та оперативно вжити заходів. Яку б технологію для обміру полів не вибрав аграрій, необхідність цієї процедури залишається на першому місці. Без неї неможливо оптимізувати бюджети, отримати базові дані для систем точного землеробства, супутникового і GPS-моніторингу, а також - мінімізувати технічні втрати при інвентаризації земельного банку.

- Охорона

Контроль за масовими заходами, запобігання терористичним актам, операції по боротьбі з організованою злочинністю.

- Проектування, будівництво



Рисунок 2 - Схематичне зображення використання БПЛА в будівництві.

БПЛА може здійснювати збір просторових даних будівельної площадки, отримані дані оброблюються в цифрову копію об'єкта, платформа ПЗ порівнює копію об'єкта з планом, виводячи результати на екрани комп'ютерних пристроїв. Користувачі на різних рівнях служб будівництва регулярно відслідковують систему для контролю прогресу, визначення помилок і планування подальшої роботи.

Ключові перспективи розвитку ринку дронів в Україні:

- застосування поліцією: виявлення порушень правил дорожнього руху, охорона правопорядку, детальне обстеження місць злочину і пошуку постраждалих;

- застосування пожежними: протипожежні служби відправляють дрони до місця загоряння, використовуючи їх в якості розвідників. Спеціалізовані БПЛА, оснащені газоаналізаторами і камерами з тепловізорами, дозволяють не тільки оцінити масштаби лиха, а й рятувати життя;

- застосування в охороні здоров'я: медичні безпілотники ефективно доставляють ліки в сільські райони, розпізнаючи на своєму шляху перешкоди і уникаючи зіткнення з ними. У деяких країнах дрони почали використовуватися для доставки донорської крові;

- термінова доставка покупок, їжі, запасних частин, батарей, кабелів та інші кур'єрські послуги;

- моніторинг трубопроводів;

- використання в засобах масової інформації;

- збільшення комерційної активності в розробці програмного забезпечення.

Для управління групою БПЛА доцільно застосовувати теорію графів як математичний інструмент моделювання. Група БПЛА представлена у вигляді графіка з n вершинами (БПЛА). Вони з'єднані між собою інформаційними каналами даних. Необхідно розрахувати ефективність структури БПЛА за допомогою методів теорії графів. Розглянемо проблему використання групового польоту БПЛА за допомогою аерофотозйомки, наприклад. Пропонується побудувати схему з групою БПЛА, цілями якої є максимізація площі перекриття для картографічної інформації. Отже, головна проблема полягає в недостатній оптимізації групових операцій БПЛА залежно від мети завдання. Отже, переваги БПЛА полягають у виконанні завдань, пов'язаних із ризиком для людини та ефективністю у вирішенні економічних проблем. Порівнюючи використання групи БПЛА з одним БПЛА, ми маємо більше корисних властивостей: швидше охоплення фрагмента площі та більша ефективність при фото-/відеомоніторингу, релейному зв'язку, сільськогосподарських операціях.

Але, незважаючи на ряд переваг, є деякі недоліки. Головна проблема пов'язана з використанням розподілу повітряного простору частотного діапазону для управління БПЛА та передачі інформації з плати на землю; відсутність оптимізації структури БПЛА. Тому вищевикладене було

оптимізовано теорією графів. У досліджуваній некомформованій групі, що складається з БПЛА, ведеться складний обмін інформацією за допомогою використання каналів управління польотом, несучого каналу, а також взаємодії автономних елементів системи разом. Відзначається складність проблем у групі управління БПЛА, що полягає в недоцільному використанні класичної теорії управління. Для управління групою БПЛА доцільно застосовувати теорію графів як математичний інструмент для моделювання та оптимізації складної структури: в математиці - розв'язувати складні рівняння, у фізиці - для побудови електронних схем, у будівництві - для найбільш раціональних розподільних споруд та будівництві доріг, в біології - для вирішення проблем генетики, в економіці - для пошуку рішень з мінімальними витратами, в галузі інформаційних технологій - для визначення топології ефективності локальних та глобальних комп'ютерних мереж та ін.

Для групового польоту БПЛА доцільно застосувати теорію графів. Групова структура може мати різну конфігурацію, розташування та зв'язки між вузлами мережі, найпоширенішими з яких є: повністю з'єднані, зірка, кільце, дерево, із загальною шиною, змішаною, стільниковою. Від топології БПЛА, яка виконується під час польоту групи літаків, залежить ефективність завдання. Для управління БПЛА пропонується система управління одним або групою БПЛА, залежно від призначення БПЛА.

J'son & Partners Consulting - міжнародна консалтингова компанія, що спеціалізується на ринках телекомунікацій, медіа, інформаційних технологіях. За оцінками J'son & Partners Consulting, світовий ринок БПЛА в 2019 році склав \$ 9,8 млрд і продовжить активно рости. Велика частина вартості ринку припадає на військові БПЛА (53% ринку). У кількісному вираженні структура ринку зворотна: основну частку в кількості займають споживчі БПЛА (84%), 15% припадає на комерційні БПЛА і всього 0,5% - на

військові дрони. Пов'язано це з тим, що військові БПЛА коштують в середньому в 200 разів більше, ніж дрони для цивільних потреб.

У зв'язку з поступовим здешевленням компонентної бази БПЛА, а також виходом на ринок численних нових комплектуючих БПЛА, в тому числі і у військовому сегменті, середня вартість дронів продовжить знижуватися до 2020 року по всіх сегментах на 7-27%. Це призведе і до зміни структури ринку БПЛА (як в грошовому, так і в кількісному вираженні), оскільки на ринок будуть надходити сотні тисяч і навіть мільйони споживчих дронів, за функціоналом порівнянних вже з комерційними БПЛА, а на військовий ринок вийдуть нові, які запропонують сучасний зручніший функціонал за нижчою ціною, ніж у сьогоденних моделей. Світовий ринок БЛА буде рости набагато швидшими темпами в кількості, ніж у вартості. А його основним драйвером залишаться споживчі БЛА.

У регіональному розрізі переважну частку світового ринку БПЛА займають США. На їх частку припадає половина всіх продажів БПЛА. Настільки висока частка у вартості продажів дронів пов'язана з тим, що практично всі кількості військових БЛА в світі продається в США з часткою військового ринку в 87%. При цьому до 2020 р очікується зниження частки США в кількості дронів, так як попит на європейсько-азіатських ринках розвивається випереджаючими темпами, з потребами в більш дешевих пристроях.

У 2017 році в світі налічувалося принаймні 483 виробника БЛА (з них 276 цивільних і 308 військових, а деякі працюють в обох сегментах ринку одночасно), включаючи великих військових виробників, таких як Boeing, Lockheed Martin, Northrop Grumman і Sikorsky Aircraft.

Військові виробники відіграють досить малу роль на цивільному ринку. Більшість виробників цивільних БПЛА зараз - це компанії малого та середнього розміру з середнім віком роботи на ринку 6,5 років і середнім

числом співробітників 8,3 людини. Позиції традиційних, великих виробників авіатехніки, що домінували раніше, змінюються новими, менш відомими компаніями, стартапами, що пропонують більш інноваційну продукцію за аналогічною або меншою ціною.

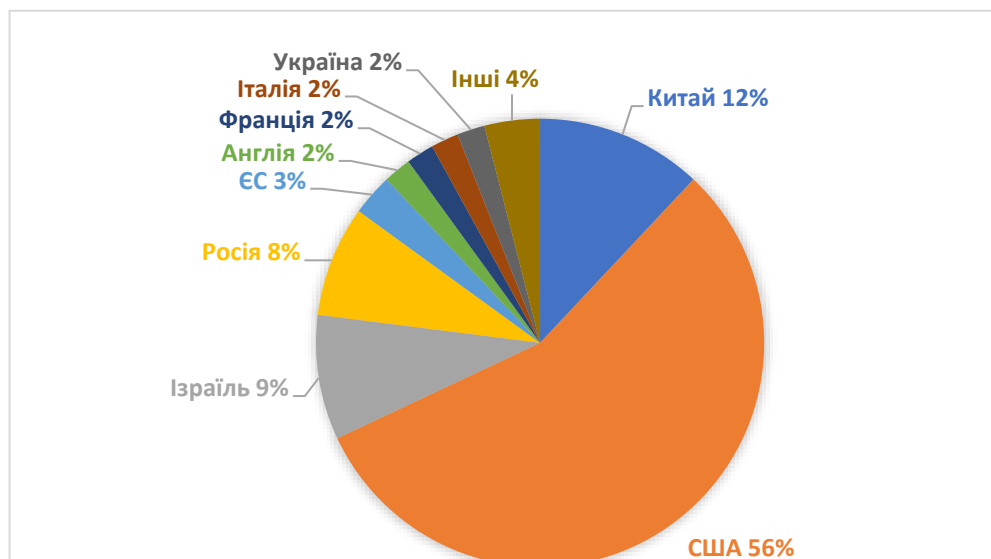


Рисунок 3 - Прогноз НІОКР на БПЛА по країнам світу в 2011-2020 рр

Американський експерт Джон Варден прогнозує, що до 2025 року близько 90% літаків будуть безпілотними, а лише 10% - пілотними, а пілоти стануть «золотим резервом» для найважливіших і найскладніших завдань (Ганін, 1999; Амелін, 2013 Чекунов, 2010; Ігнат'єв, 2010). Аналогічна ситуація спостерігається у зв'язку з розробкою БПЛА для цивільного використання. Це пов'язано з низкою важливих переваг. Перш за все, відсутність екіпажу на борту літака (літального апарату) і тим самим виключається ризик загибелі. Можливість виконувати маневри при великих перевантаженнях перевищує фізичні можливості пілота, велику довжину і дальність за відсутності коефіцієнта втоми екіпажу. Відносно невелика вартість БПЛА може мати невеликі розміри та низьку вартість експлуатації (Крепс, Zenko, 2014). Більшість робіт, які вивчають дії групи БПЛА, керуються основною монографією (Фрадков, 2013), яка використовує підходи класичної теорії управління для розгляду управління групою, організованої у формі " порядку", що передбачає окреме зображення руху

певного об'єкта групової математичної моделі для бічного та поздовжнього руху центру маси. У цьому випадку стоїть завдання розробити якийсь «оптимальний» маршрут для групи БПЛА. Рішення наукових робіт присвячено вирішенню завдання планування маршруту як одного БПЛА, так і всієї групи БПЛА. Відзначаються додаткові корисні властивості групи БПЛА порівняно з використанням одного БПЛА.

Висновки до першого розділу

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) – літальний апарат без екіпажу на борту. Безпілотні літальні апарати класифікують по ряду характеристик, які походять від великої кількості конфігурацій і компонентів БПЛА. У зв'язку з розвитком ринку безпілотної авіації з'являється необхідність більш точного його вивчення, так як наростає різноманітність БПЛА за типами, схемами, розширюється сфера їх застосування. В частині приведена універсальна класифікація БПЛА, яка об'єднує багато критеріїв, запропонована Міжнародною асоціацією по безпілотним системам AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International). Розглянуто варіанти конструкції БПЛА. Конструкція і функціональність змінюються в залежності від призначення апарату. Приведені приклади експлуатації БПЛА в таких галузях:

- сільське господарство;
- охорона;
- проектування, будівництво.

Також розглянуто галузі, які мають перспективи розвитку ринку дронів в Україні:

- застосування поліцією;
- застосування пожежними;
- застосування в охороні здоров'я;
- кур'єрські послуги;
- моніторинг трубопроводів та ін.

Розкрита ідея та мета використання БПЛА при організації групних польотів. Приведено переваги та недоліки таких польотів. Поставлені головні проблеми, пов'язані з використанням розподілу повітряного простору частотного діапазону для управління БПЛА та передачі інформації з плати на землю. Аргументовано доцільність використання доцільно застосувати теорії графів при організації групового польоту БПЛА.

Проведено аналіз світового ринку комерційних та військових БПЛА. У регіональному розрізі переважну частку світового ринку БПЛА займають США. На їх частку припадає половина всіх продажів БПЛА. Настільки висока частка у вартості продажів дронів пов'язана з тим, що практично всі кількості військових БЛА в світі продається в США з часткою військового ринку в 87%.

Розділ 2. Методи експертних оцінок та методи доступу в локальній обчислювальній мережі

Метод експертних оцінок – це спосіб прогнозування та оцінки майбутніх результатів дій на основі прогнозів фахівців.

При застосуванні методу експертних оцінок проводиться опитування спеціальної групи експертів (4–7 осіб) з метою визначення певних змінних величин, необхідних для оцінки досліджуваного питання. До складу експертів слід включати людей з різними типами мислення – образне і словесно-логічне, що сприяє успішному вирішенню проблеми.

Залучені експерти можуть висловити свою думку щодо найкращих способів мобілізації резервів, залучення інвестицій, строків досягнення поставлених завдань, критеріїв відбору оптимальних варіантів рішення тощо.

Необхідною умовою ефективного застосування методів експертної оцінки є достатня обізнаність експерта з досліджуваною проблемою, високий рівень ерудиції, здатність його давати чіткі вичерпні відповіді, до того ж експромтом. Крім того, експерт не повинен бути зацікавленим в тому чи іншому варіанті вирішення поставленої перед ним проблеми. Експерти підбираються за ознакою їх формального професійного статусу – посади, наукового ступеня, стажу роботи та ін. Такий підбір сприяє тому, що в число експертів потрапляють високопрофесійні, з великим практичним досвідом у даній галузі спеціалісти.

Отже, методи експертної оцінки вимагають ретельної підготовки експертів, робота яких містить:

- 1) чітке визначення мети і завдань, а в деяких випадках об'єднання та систематизація висновків;
- 2) набір достатньо компетентних незалежних експертів в області відповідних об'єктів;

- 3) обговорення питання в групі експертів чи виключення безпосереднього спілкування між ними;
- 4) надання учасникам експертизи на кожному наступному етапі результатів і висновків попереднього етапу. Це дає змогу зробити певні висновки, які поділяють більшість експертів;
- 5) вибір оптимально підходящих методів обробки висновків експертів;
- 6) точне формулювання підсумкових висновків в експертній роботі.

Метод експертних оцінок – це фактично метод прогнозування, основоположним критерієм якого є досягнення згоди серед усіх членів експертної групи. Організаційно це виглядає так. Експерти, обізнані у взаємопов'язаних сферах діяльності, детально відповідають на питання анкети, пов'язаної з досліджуваною проблемою. Кожен з них фіксує свою думку про проблему, а потім повідомляє про відповідь своїм колегам. У випадку розбіжності його прогнозу з думкою інших, експерт зобов'язаний пояснити причину такої невідповідності. Далі процедура повторюється до тих пір, поки думки експертів не збіжаться. При цьому потрібно дотримуватися анонімності, що допомагає уникнути можливості групових роздумів над проблемною ситуацією.

Завдяки застосуванню експертних оцінок отримують два види інформації, на підставі якої вирішуються два види завдань різної значимості і на різних рівнях управління:

1. Інформація про поодинокі причинно-наслідкові зв'язки в конкретних умовах місця і часу. Вона призначена для пошуку напрямів підвищення ефективності виробництва і реалізації продукції шляхом встановлення причин непродуктивного використання ресурсів та формування дієвих заходів щодо їх усунення.
2. Інформація про типові взаємозв'язки досліджуваних економічних явищ і процесів. Таку інформацію здатні надати тільки експерти високого класу, професіонали, глибоко обізнані з сутністю та

закономірностями прояву вказаних явищ за різних умов господарювання.

Основними завданнями, які найчастіше вирішуються на практиці на основі отриманої від експертів інформації, є:

- ранжування (впорядкування, розміщення в порядку зростання чи спадання) факторів та відповідних показників, що їх характеризують, за їх значимістю в розвитку досліджуваного явища, процесу;
- ранжування підприємств чи їх структурних виробничих підрозділів (бригад, цехів, ділянок) за рейтингом, в основу якого покладено сукупність різних показників, що характеризують результати фінансово-господарської діяльності чи окремих її видів (фінансовий стан, рентабельність, платоспроможність тощо);
- попередня оцінка виконання плану за певним показником.

Цільовий аналіз, що ґрунтується на результатах експертних оцінок, здійснюється у декілька етапів:

1. Визначення мети дослідження.
2. Визначення необхідного кількісного та якісного складу групи експертів.
3. Створення групи експертів.
4. Визначення способу опитування.
5. Складання програми обстеження і анкети (листка) опитування.
6. Проведення опитування.
7. Зведення, групування та аналіз отриманої від експертів інформації.
8. Узагальнення результатів експертизи і розробка можливих варіантів рішень для досягнення поставленої мети.

Всі експертні методи поділяються на дві групи – індивідуальні: інтерв'ю та анкетування, і колективні: метод Дельфі, конференція ідей, метод комісії та метод відстороненого оцінювання.

Індивідуальні експертні методи – це використання думок експертів, які сформульовані особисто кожним із них самостійно без врахування думок інших експертів. До індивідуальних експертних методів належать: інтерв'ю та анкетування.

Сутність методу інтерв'ю полягає в організації співбесіди аналітика з експертом, в ході якої експерт дає відповіді на запитання аналітика щодо факторів впливу на досліджуваний об'єкт, очікуваних результатів.

Метод анкетування (аналітичного експертного оцінювання) полягає в наданні експертом письмових відповідей на запитання анкети. Проте цей метод має певні недоліки, зокрема експерт може не зрозуміти запитання анкети, проявити суб'єктивізм, небажання залишати свою письмову відповідь тощо.

Основними перевагами індивідуальних методів експертних оцінок є простота організації обстеження, зрозумілість, врахування і використання набутих знань і досвіду кожного експерта. Обмеженням застосування цих методів виступає обмеженість знань, інформації експертів з суміжних сфер діяльності. Виходячи з цього, більшого поширення на практиці набули колективні експертні методи.

Колективні експертні методи – це методи, які забезпечують формування єдиної спільної думки в результаті взаємодії залучених фахівців-експертів.

Серед колективних методів експертної оцінки виділяють: метод комісії (у тому числі проведення виробничих нарад, конференцій, семінарів, дискусій за "круглим столом"), методи Дельфі, відстороненого оцінювання, конференція ідей та ін.

Метод комісії полягає у виробленні експертами кращого варіанта досягнення поставленої мети з урахуванням усіх висловлених на нараді пропозицій, ідей.

Позитивною ознакою цього методу є можливість залучення для експертизи фахівців з широким діапазоном знань із суміжних областей

науки та практики. Негативним є можливий суб'єктивізм, наявні стереотипи мислення, що склалися в експертів, їх схильність до компромісу.

Метод відстороненого оцінювання полягає у виборі оптимального незалежного рішення із числа висловлених експертами на нараді. Робота наради поділена на дві частини: висунення ідей та їх критичний аналіз.

Метод Дельфі – один із методів колективної експертної оцінки, який передбачає проведення експертного опитування серед групи спеціалістів у кілька турів (частіше у 3–4 тури) для вибору найкращого із рішень. Метод Дельфі, або як його ще називають дельфійський метод, метод дельфійського оракула, отримав свою назву із назви містечка Дельфі у Стародавній Греції, в якому жили оракули-провидці при храмі бога Аполлона. Слово головного оракула не підлягало сумніву та приймалося за істину.

Метою застосування методу Дельфі є удосконалення групового підходу до вирішення завдання розробки прогнозу, оцінки за рахунок взаємної критики поглядів окремих спеціалістів, висловлюваних без безпосередніх контактів між ними та при збереженні анонімності думок чи аргументів на їх захист.

В одному з варіантів цього методу пряме обговорення замінюється обміном інформацією з використанням спеціально розроблених запитальників. Можливе також застосування особливих прийомів опитування через спеціально розроблене ПО.

Згідно з методом Дельфі учасників просять висловити свої думки, обґрунтувати їх, а в кожному наступному турі опитування їм видається нова, уточнена, інформація щодо висловлених думок, яку одержують в результаті розрахунку збігу думок за раніше виконаними етапами роботи. Цей процес продовжується до практично повного збігу думок. Після цього фіксуються думки, які не збігаються. Цей метод успішно застосовується у маркетингу. Його використовують для того, щоб зробити експертне прогнозування

шляхом організації системи збирання та математичної обробки експертних оцінок.

Конференція ідей подібна до мозкового штурму, але відрізняється від нього темпом проведення нарад та дозволеною короткою доброзичливою критикою ідей у формі реплік і коментарів. При цьому стимулюється поєднання кількох пропозицій, фантазування, що сприяє підвищенню якості ідей.

Всі висунуті ідеї занотовуються у протоколі без вказування їх авторів. До складу учасників конференції ідей включаються не лише висококваліфіковані фахівці, а й новачки, неспеціалісти – здатні висувати свіжі, нові, неординарні підходи.

Отже, методи експертних оцінок відіграють важливу роль в економічних дослідженнях, особливо у проведенні стратегічного і функціонально-вартісного аналізу. Застосування цих методів дає змогу визначити, наприклад, обсяг і структуру споживання продуктів харчування, товарів чи послуг населенням за значним колом показників, тоді як застосування інших методів аналізу ускладнене через відсутність необхідної інформації.

У практичних маркетингових дослідженнях метод експертних оцінок можна використовувати для розробки середньо- та довгострокових прогнозів структури попиту на товари широкого вжитку; прогнозування вказаної структури на наступний рік; визначення груп потенційних споживачів; а також для оцінки обсягу незадоволеного попиту за групами і видами товарів. Наприклад, метод експертної оцінки споживчої вартості товару і ціни на нього – метод із групи нормативно-параметричних методів ціноутворення. Він базується на результатах опитування чи результатах суджень колективу експертів про можливу цінність товару на ринку, попиту на нього і висунанні пропозицій про його ціну.

В даний час інформаційні технології зайняли одне з провідних положень у науці і техніці. Загальна комп'ютеризація сприяє розвитку мережевих технологій, що дозволяють об'єднувати розподілені інформаційні ресурси. Зростання попиту на мережеві технології підвищує вимогливість до їх технічних характеристик, що, в свою чергу, сприяє їх вдосконаленню. Найбільш високий попит на обладнання локальних обчислювальних мереж, пояснюється повсюдним впровадженням інформаційних технологій. Серед них мережеві рішення, що забезпечують пропускну здатність 10, 100 і 1000 Мбіт/с, і зберігають в основному принцип спадковості з традиційною дисципліною множинного доступу з виявленням колізій. Основним недоліком традиційної дисципліни множинного доступу, що призводить до зниження продуктивності мережі, є колізії. Велика кількість мережевих технологій, заснованих на традиційній дисципліні множинного доступу, що зберігає вищеписані недоліки, визначає актуальність дослідження даної дисципліни.

Доступом до мереж називають взаємодію станцій (вузлів мережі), які передають дані для обміну інформацією між іншими станціями. Управління доступом до мереж – це процес установаження послідовності, в якій станція отримує доступ до переданих даних. Для управління обміном (управління доступом до мережі, арбітражу мережі) використовуються різні методи, особливості яких у значній мірі залежать від топологічних мереж.

Існує кілька груп методів, заснованих на часовому розподілі каналу:

- централізовані та децентралізовані;
- детерміновані та випадкові.

Централізований доступ встановлюється з центру управління, наприклад від сервера. Децентралізований метод доступу функціонує на основі протоколів, без управляючих впливів з боку центру.

Детермінований доступ забезпечує кожній робочій станції гарантований час доступу (наприклад, час доступу за розкладом) до середовища передачі

даних. Випадковий доступ базується на рівноправності всіх станцій мережі і їх можливості в будь-який момент звернутися до середовища з метою передачі даних.

У мережах з централізованим доступом використовуються два способи доступу: метод опитування та метод передачі повноважень. Ці методи використовуються в мережах з явно вираженим центром управління.

Метод опитування здійснюється шляхом обміну даними в локальній обчислювальній мережі з топологією «зірка», з активним центром (центральною сервером). При даній топології всі станції можуть передавати інформацію на сервер одночасно. Центральний сервер може проводити обмін тільки з однією робочою станцією. Тому в будь-який момент треба виділити тільки одну станцію, провідну передачу. Центральний сервер посилає запити по черзі на всіх станціях. Кожна робоча станція, яка хоче передавати дані (перша з опитаних), посилає відповідь або ж відразу починає передачу. Після закінчення сеансу передачі центральний сервер продовжує опитування по колу. Станції, в даному випадку, мають наступні пріоритети: максимальний пріоритет у тій з них, яка ближче розташована до останньої станції, яка закінчила обмін.

Обмін даними в мережі з топологією шина відбувається теж за допомогою централізованого управління, як і в "зірці". Один з вузлів (центральною) посилає всім іншим запити, з'ясовуючи, хто хоче передавати, і потім дозволяє передачу того з них, хто після закінчення передачі повідомляє про це.

Метод передачі повноважень (передача маркера) включає послідовність передачі маркера по мережі від однієї робочої станції до іншої і задається сервером. Робоча станція отримує повноваження на доступ до середовища передачі даних при отриманні спеціального пакета-маркера.

До децентралізованого детермінованого методу середовища передачі даних відноситься метод передачі маркера. Маркер не має адреси, він вільно

циркулює по мережі, може бути вільним або зайнятим. Обмін даними в мережі з топологією кільце виконується за допомогою методу доступу "передача маркера". Алгоритм передачі наступний: вузол, якому потрібно передати, шукає вільний маркер, позначає його як зайнятий (змінює відповідні біти), додає до нього свій пакет і результат відправляє далі в кільце.

Кожен вузол, який отримав такий маркер, приймає його, перевіряє, чи йому адресований пакет. Вузол встановлює в маркері спеціально виділений біт підтвердження і відправляє змінений маркер з пакетом далі. Вузол-передавач отримує повідомлення повторно, як тільки посилання пройшло через все кільце, вузол позначає маркер як вільний, і знову посилає маркер в мережу.

Для нормального функціонування даної мережі необхідно, щоб один з комп'ютерів або спеціальний пристрій стежило за тим, щоб маркер не загубився, а в разі пропажі маркера комп'ютер повинен створити його і запустити в мережу.

Обмін даними в мережі з топологією шина (децентралізований випадковий метод доступу) використовує техніку, за якою всі вузли мають рівний доступ до мережі і рішення, коли можна передавати, приймається кожним вузлом на місці, виходячи з аналізу стану мережі. Виникає конкуренція між вузлами за захоплення мережі, і, отже, можливі конфлікти між ними, а також спотворення переданих даних через накладення пакетів. Найбільш часто застосовується метод множинного доступу з контролем несучої і виявленням колізій. Суть алгоритму в наступному: вузол, що бажає передавати інформацію, стежить за станом мережі, і як тільки вона звільниться, то починає передачу. Вузол передає дані і одночасно контролює стан мережі (контролем несучої і виявленням колізій). Якщо зіткнень не виявилось, передача доводиться до кінця. Якщо зіткнення виявлено, то вузол підсилює його (передає ще деякий час) для гарантії виявлення всіма

передавальними вузлами, а потім припиняє передачу. Також надходять і інші передавали вузли. Після припинення невдалої спроби вузол витримує випадково обраний проміжок часу, а потім повторює свою спробу передати, при цьому контролюючи зіткнення. При повторному зіткненні тзад збільшується. В кінцевому рахунку, один з вузлів випереджає інші вузли і успішно передає дані.

Висновки до другого розділу

В другій частині описано ефективність використання методу експертних оцінок, рекомендації щодо вибору складу експертів. Підкреслено необхідність та варіанти ретельної підготовки експертів перед експлуатацією методу. Описано етапи проведення оцінки думок експертів. Вказано, що завдяки застосуванню експертних оцінок отримують два види інформації, на підставі якої вирішуються два види завдань різної значущості.

Основними завданнями, які найчастіше вирішуються на практиці на основі отриманої від експертів інформації, є ранжування факторів та відповідних показників, що їх характеризують, за їх значимістю в розвитку досліджуваного явища, процесу.

Серед колективних методів експертної оцінки виділяють: метод комісії (у тому числі проведення виробничих нарад, конференцій, семінарів, дискусій за "круглим столом"), методи Дельфі, відстороненого оцінювання, конференція ідей та ін. В частині коротко описано кожен із методів.

Вказано, що методи експертних оцінок відіграють важливу роль в економічних дослідженнях, особливо у проведенні стратегічного аналізу. Застосування цих методів дає змогу визначити, наприклад, обсяг і структуру товарів чи послуг за значним колом показників, тоді як застосування інших методів аналізу ускладнене через відсутність необхідної інформації.

Також описано методи доступу до локальних обчислюваних мереж. Доступом до мереж називають взаємодію станцій (вузлів мережі), які передають дані для обміну інформацією між іншими станціями. Для управління обміном (управління доступом до мережі, арбітражу мережі) використовуються різні методи, особливості яких у значній мірі залежать від топологічних мереж.

Вказано про існування декількох груп методів, заснованих на часовому розподілі каналу:

- централізовані та децентралізовані;

- детерміновані та випадкові.

Детально описано про кожен із груп методів. У мережах з централізованим доступом використовуються два способи доступу: метод опитування та метод передачі повноважень.

Метод опитування здійснюється шляхом обміну даними в локальній обчислювальній мережі з топологією «зірка», з активним центром (центральною сервером). Обмін даними в мережі з топологією шина відбувається теж за допомогою централізованого управління, як і в "зірці".

Метод передачі повноважень (передача маркера) включає послідовність передачі маркера по мережі від однієї робочої станції до іншої і задається сервером. До децентралізованого детермінованого методу середовища передачі даних відноситься метод передачі маркера.

Обмін даними в мережі з топологією шина (децентралізований випадковий метод доступу) використовує техніку, за якою всі вузли мають рівний доступ до мережі і рішення, коли можна передавати, приймається кожним вузлом на місці, виходячи з аналізу стану мережі.

Розділ 3. Основні критерії виконання польотів літальних апаратів

Основними критеріями виконання польотів літальних апаратів (ЛА) є забезпечення безпеки, регулярності, економічності та ефективності повітряного руху.



Рисунок 4 - Основні критерії виконання польотів літальних апаратів

Економічність – вартість в авіаційній експлуатації. Під цим розуміється зниження вартості польоту внаслідок використання більш надійних двигунів, зменшення витрат палива, спрощення технологій виробництва ЛА тощо.

Найбільш поширеними критеріями ефективності польотів літальних апаратів є час виконання польоту і витрати палива. Згідно з Повітряним кодексом України одним з критеріїв ефективності виконання польотів є безпека авіації. Це стан галузі цивільної авіації, за якого ризик завдання збитків людям чи майну знижується до прийняттого рівня у результаті безперервного процесу визначення рівня небезпеки і керування ним, та утримується на такому рівні або знижується далі у сферах безпеки польотів, авіаційної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, економічної безпеки та інформаційної безпеки.

Метод експертних оцінок — один з основних класів методів науково-технічного прогнозування, який ґрунтується на припущенні, що на основі думок експертів можна збудувати адекватну модель майбутнього розвитку об'єкта прогнозування.

Головною інформацією при цьому є думка спеціалістів, які займаються дослідженнями й розробками в прогнозованій галузі.

Це фактично метод прогнозування, основоположним критерієм якого є досягнення згоди серед усіх членів експертної групи. Організаційно це виглядає так. Експерти, обізнані у взаємопов'язаних сферах діяльності, детально відповідають на питання анкети, пов'язаної з досліджуваною проблемою. Кожен з них фіксує свою думку про проблему, а потім повідомляє про відповідь своїм колегам. У випадку розбіжності його прогнозу з думкою інших, експерт зобов'язаний пояснити причину такої невідповідності. Далі процедура повторюється до тих пір, поки думки експертів не збіжаться. При цьому потрібно дотримуватися анонімності, що допомагає уникнути можливості групових роздумів над проблемною ситуацією.

а) Матриця індивідуальних уподобань.

Необхідно створити матрицю індивідуальних уподобань кожного експерта, засновану на анкеті. Я опитала 4 експертів по чотирьом основним критеріям виконання польотів ЛА: безпека, регулярність, ефективність, економічність, визначила думку кожного експерта та побудувала їх матриці індивідуальних уподобань за основними критеріями.

Таблиця 3 - Оцінки експерта №1

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево	sum	R
Повноз'язна		1	0,5	1	1	1	1	5,5	6,5
Коміркова	0		0	1	1	1	1	4	5
Дерево	0,5	1		1	1	1	1	5,5	6,5
Кільце	0	0	0		0	0,5	0	0,5	1,5
Зірка	0	0	0	1		1	1	3	4
Ланцюгова	0	0	0	0,5	0		0	0,5	1,5
Шина	0	0	0	1	0	1		2	3

Таблиця 4 – Оцінки експерта №2

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево	sum	R
Повноз'язна		1	1	1	1	1	1	6	7
Коміркова	0		1	1	1	1	1	5	6
Дерево	0	0		1	1	1	1	4	5
Кільце	0	0	0		0	0	0	0	1
Зірка	0	0	0	1		1	1	3	4
Ланцюгова	0	0	0	1	0		0	1	2
Шина	0	0	0	1	0	1		2	3

Таблиця 5 – Оцінки експерта №3

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево	sum	R
Повноз'язна		0,5	0,5	1	1	1	1	5	6,5
Коміркова	0,5		0,5	1	1	1	1	5	6,5
Дерево	0,5	0,5		0,5	0,5	1	1	4	5
Кільце	0	0	0,5		0	0,5	0	1	2
Зірка	0	0	0,5	1		1	0	2,5	3
Ланцюгова	0	0	0	0,5	0		0	0,5	1
Шина	0	0	0	1	1	1		3	4

Таблиця 6 – Оцінки експерта №4

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево	sum	R
Повноз'язна		1	1	0,5	1	1	1	5,5	7
Коміркова	0		0,5	0,5	1	1	1	4	5
Дерево	0	0,5		1	1	1	1	4,5	6
Кільце	0,5	0,5	0		0	0	0	1	1,5
Зірка	0	0	0	1		1	1	3	4
Ланцюгова	0	0	0	1	0		0	1	1,5
Шина	0	0	0	1	0	1		2	3

б) Матриця групових уподобань.

Наступний крок - зібрати думку експертів та створити матрицю групових уподобань. У результаті я отримала наступну матрицю групових уподобань:

Таблиця 7 - Матриця групових уподобань

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево
1	6,5	5	6,5	1,5	4	1,5	3
2	7	6	5	1	4	2	3
3	6,5	6,5	5	2	3	1	4
4	7	5	6	1,5	4	1,5	3

с) Визначення думки експертів групи: $R_{gr} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$, де m - кількість експертів.

Третій крок полягає у визначенні думки груп експертів відповідно до наших критеріїв.

Таблиця 8 - Визначення думки експертів відповідно до критеріїв

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево
1	6,5	5	6,5	1,5	4	1,5	3
2	7	6	5	1	4	2	3
3	6,5	6,5	5	2	3	1	4
4	7	5	6	1,5	4	1,5	3
Rgr	6,75	5,625	5,625	1,5	3,75	1,5	3,25

d) Координація думки експертів: D , σ , ν .

Четверте завдання аналогічно статистиці для визначення дисперсії (D), квадратного відхилення (σ) та коефіцієнта варіації (ν).

Визначення дисперсії відбувається за формулою: $D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{grj} - R_i)^2}{m-1}$.

Для визначення квадратного відхилення застосовується формула: $\sigma_j = \sqrt{D_j}$.

Для визначення коефіцієнта варіації застосовується формула: $\nu_j = \frac{\sigma_j}{R_{grj}} \cdot 100\%$

Використовуючи програму Excel, я отримала такі результати:

Таблиця 9 - Результати аналізу оцінок групи експертів

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево
1	6,5	5	6,5	1,5	4	1,5	3
2	7	6	5	1	4	2	3
3	6,5	6,5	5	2	3	1	4
4	7	5	6	1,5	4	1,5	3
Rgr	6,75	5,625	5,625	1,5	3,75	1,5	3,25
D	0,0833333	0,5625	0,5625	0,1666667	0,25	0,1666667	0,25
σ	0,2886751	0,75	0,75	0,4082483	0,5	0,4082483	0,5
ν	4,2766687	13,333333	13,333333	27,216553	13,333333	27,216553	15,384615

Необхідно брати до уваги результати розрахунку коефіцієнта варіації:

- якщо варіація складає менше 33% - думка експертів узгоджена;
- якщо варіація перевищує 33% - думка експертів вважається не узгодженою.

Як видно з таблиці, коефіцієнт варіації для всіх топологій менше 33%. Це означає, що думка експертів узгоджена.

e) Визначення коефіцієнта Кендала.

Наступним кроком є визначення координаційного коефіцієнта Кендала за такою формулою (де m - кількість експертів, n - кількість ОС для експертної оцінки):

$$\bar{R} = \Sigma \Sigma R_{ij} / 7 = 16,$$

$$S = \Sigma (\Sigma_{i=1}^m R_{ij} - \bar{R})^2 = 575,5,$$

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n) - m \Sigma_{j=1}^m T_j} = 1,3.$$

Коефіцієнт Кендала перевищує 0,7. Це означає, що думка експертів узгоджена.

f) Визначення критерію χ^2

Після цього потрібно визначити критерій χ^2 за такою формулою:

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{S}{\frac{1}{2} m(n+1) - \frac{1}{12(n-1)} \sum_{j=1}^m T_j} > \chi_t^2$$

Для цих розрахунків я використовую наступні дані:

Таблиця 10 – Визначення критерію χ^2

n	7
m	4
S	575,5
T	18
χ_{ϕ}^2	36,47208449

У результаті χ^2 дорівнює 36,4.

g) Визначення коефіцієнта Спірмана.

Для розрахунку коефіцієнта Спірмана використовується така формула:

$$r_{s_i} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)}$$

І для розрахунку нам потрібні наступні дані ($n = 5$):

Таблиця 11 - Результати розрахунку коефіцієнта Спірмана

		Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево
Rgr	Xi	6,75	5,625	5,625	1,5	3,75	1,5	3,25
R'gr	Yi	7	6	6	2	4	2	3

Rsi	0,9961868
-----	-----------

Якщо дорівнює, або близько 1 - узгодженість думок групи та експерта висока.

Якщо рівно 0 або близько 0 - узгодженість думок групи та експерта є низькою.

Мій результат – 0,99. Отже, узгодженість думок групи та експерта є високою.

h) Визначення вагового коефіцієнта.

Останній розрахунок - визначення вагового коефіцієнта за формулами:

$$\omega_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^n C_j}$$

$$C_i = 1 - \frac{R_{ij} - 1}{n}$$

Таблиця 12 – Результати – ваговий коефіцієнт

R'gr	7	6	6	2	4	2	3
C	0,1428571	0,2857143	0,2857143	0,8571429	0,5714286	0,8571429	0,7142857
wi	0,0571429	0,1142857	0,1142857	0,3428571	0,2285714	0,3428571	0,2857143

Таблиця 13 - Результати обчислень

	Кільце	Ланцюгова	Шина	Повноз'язна	Зірка	Коміркова	Дерево	ΣTj	R	S	ΣCk
1	6,5	5	6,5	1,5	4	1,5	3	16	16	575,5	3,7142857
2	7	6	5	1	4	2	3				
3	6,5	6,5	5	2	3	1	4				
4	7	5	6	1,5	4	1,5	3				
Rgr	6,75	5,625	5,625	1,5	3,75	1,5	3,25				
D	0,0833333	0,5625	0,5625	0,1666667	0,25	0,1666667	0,25				
σ	0,2886751	0,75	0,75	0,4082483	0,5	0,4082483	0,5				
v	4,2766687	13,333333	13,333333	27,216553	13,333333	27,216553	15,384615				
R'gr	7	6	6	2	4	2	3				
C	0,1428571	0,2857143	0,2857143	0,8571429	0,5714286	0,8571429	0,7142857				
wi	0,0571429	0,1142857	0,1142857	0,3428571	0,2285714	0,3428571	0,2857143				

Враховуючи результати розрахунків, можна побудувати графік:

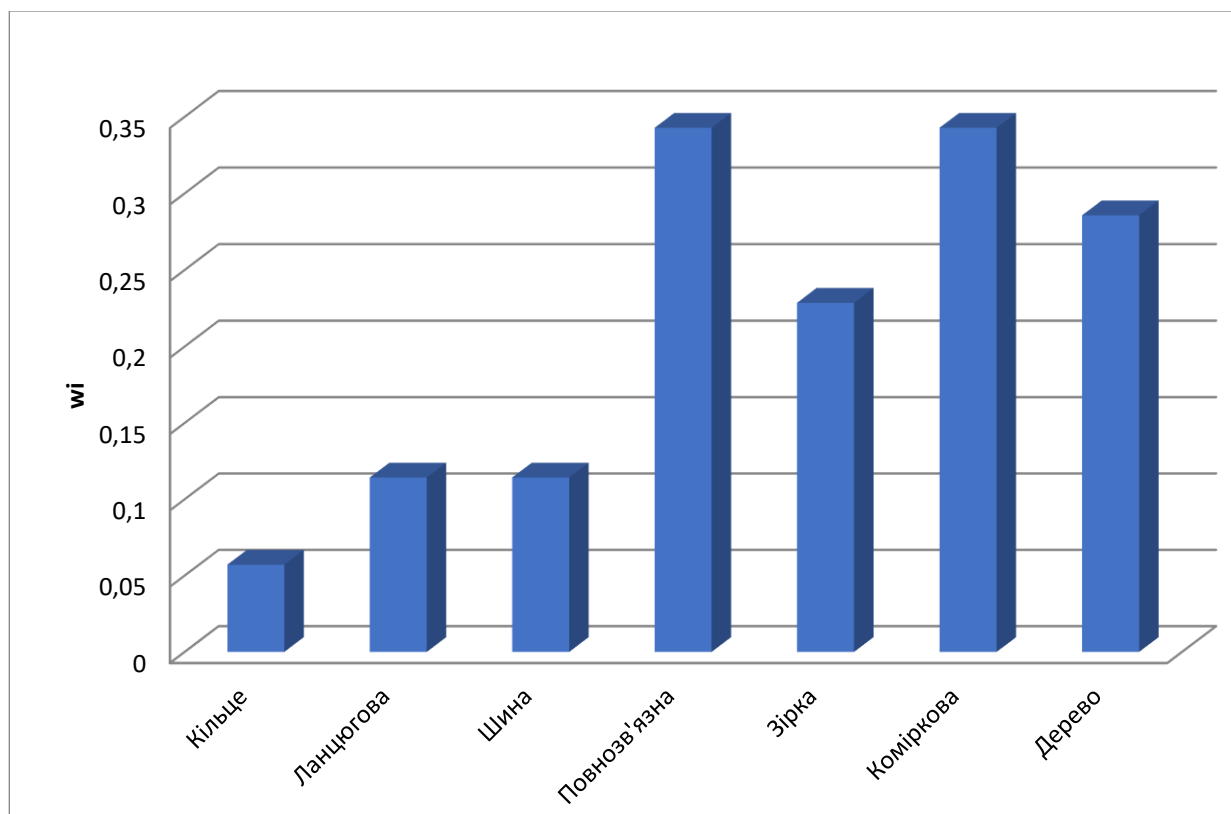


Рисунок 5 - Результати аналізу експертних оцінок, при виборі кращої топології мереж, за основними критеріями ЛА

Як видно з графіку, найкращими топологіями мереж, за думкою експертів, є «повнозв'язна», «коміркова» та «дерево».

При виконанні групових польотів БПЛА доцільно застосовувати специфічні критерії надійності групової структури:

- зв'язність
- структурна надлишковість
- нерівномірність розподілу зв'язків
- структурна компактність
- ступінь централізації в системі
- живучість.

Для кількісного оцінювання надійності виконання групового польоту БПЛА за вищезазначеними критеріями необхідно представити груповий політ у вигляді графу. За допомогою теорії графів ми можемо визначити ефективність при різних типах вишиковування групових структур БПЛА.

Від типу вишиковування (структури групи БПЛА), за якою виконується політ групи літаків залежить ефективність виконання задачі. Необхідно розрахувати кількісні значення ефективності групових польотів для різних видів зв'язків в групі БПЛА. Розглянемо політ групи з шести БПЛА, що виконують завдання аерофотозйомки фрагменту місцевості.

Повнозв'язна топологія мереж. Представимо груповий політ БПЛА у вигляді неорієнтованого графа $G(n; m)$, який має n вузлів (БПЛА) і m дуг (з'єднання), як показано на рис.3:

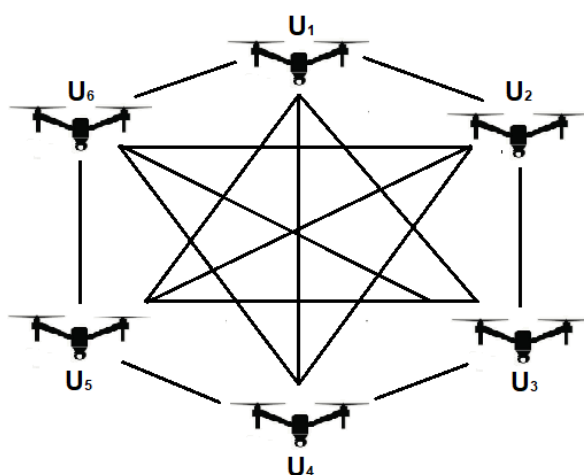


Рисунок 6 - Модель польоту групи з 6-ти БПЛА

Повнозв'язна топологія буде характеризувати ефективність групового завдання БПЛА. В табл. 1 представлено позначення показників надійності групової структури для виконання польотів БПЛА:

Таблиця 14 - Показники надійності групової структури

№	Показники надійності	Символ
1	Зв'язність графа	L
2	Структурна надлишковість	R
3	Нерівномірність розподілу зв'язків	ϵ^2
4	Структурна компактність	D
5	Ступінь централізації в системі	δ
6	Живучість	K

Надійність групового польоту БПЛА визначу за допомогою критеріїв теорії графів. Враховуючи обмеженість та залежність застосування групи БПЛА від цільового призначення ставиться завдання щодо аналізу показників топології мереж для реалізації групового польоту.

Представимо групу БПЛА з використанням матриці суміжності (табл. 3) та розрахуємо критерії ефективності топології структур групи БПЛА.

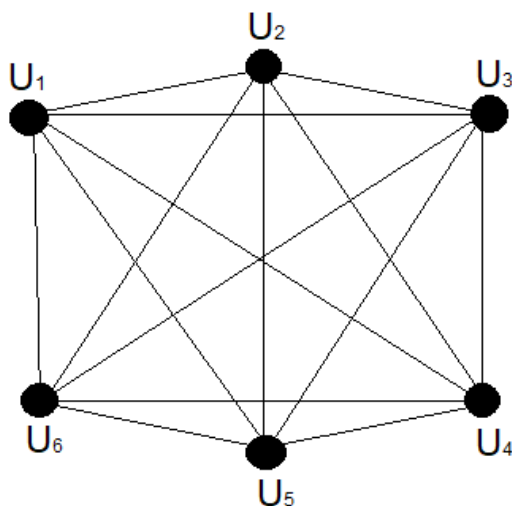


Рисунок 7 - Представлення групи БПЛА у вигляді неорієнтованого графа з шести елементів повнозв'язної мережі

Таблиця 15 - Матриця суміжності $A = \|a_{ij}\|$

Вершина графа $G(m, n)$	Вершина графа $G(m, n)$						
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	$\sum_j U_{ij}$
U_1	0	1	1	1	1	1	5
U_2	1	0	1	1	1	1	5
U_3	1	1	0	1	1	1	5
U_4	1	1	1	0	1	1	5
U_5	1	1	1	1	0	1	5
U_6	1	1	1	1	1	0	5
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij}$							30

Зв'язність відповідає наступним умовам:

$$L \geq L_{min};$$

$$L_{min} = n - 1 = 5;$$

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij} \geq n - 1 = 14,$$

де L_{min} – необхідна мінімальна кількість зв'язків неорієнтованого графа з n вершинами; $n = 6$; $m = 12$; U_{ij} – вершини і дуги графа $G(n; m)$. Так, як нерівність дотримується ($11 > 5$), то граф $G(n; m)$ являється зв'язним. Визначення структурної надлишковості R – перевищення загальної кількості зв'язків над мінімально необхідною. Мережа з великою надмірністю R потенційно більш надійна:

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = 2,$$

де U_{ij} – вершини і дуги графа $G(n; m)$; n – кількість БПЛА в групі.

При $R > 0$ – максимальна надлишковість, $R = 0$ – мінімальна надлишковість, $R < 0$ – система незв'язна. У нашому випадку система зв'язна і має максимальну надлишковість: $R = 2 > 0$. Нерівномірність розподілу зв'язків ε^2 характеризує невикористання можливостей структури, що має m ребер і n вершин в досягненні максимальної зв'язності:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 = \sum_{i=1}^m p_i^2 - 4 \frac{m^2}{n} = 54,$$

де $p = \|p_{ij}\|$ – елемент матриці інциденцій; n – кількість вершин у структурі повнозв'язної топології групи БПЛА; m – кількість дуг у структурі повнозв'язної топології групи БПЛА.

Таблиця 16 - Матриця інциденцій $p = \|p_{ij}\|$

Вершина графа $i = \overline{1, n}$	Ребро графа, $j = \overline{1, m}$														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U_1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
U_2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
U_3	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
U_4	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
U_5	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
U_6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

За допомогою даних матриці інциденцій, маємо нерівномірність розподілу зв'язків $2 \varepsilon = 0$, тобто повнозв'язна структура має рівномірний розподіл зв'язків. Структурна компактність вказує на близькість параметрів між собою через мінімальну довжину ланцюга:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij},$$

де d_{ij} – відстань між вершинами графа $G(n; m)$ групи БПЛА. Складаємо матрицю відстаней (табл. 5), елемент якої d_{ij} визначається як мінімальна відстань між вузлами.

Таблиця 17 - Матриця відстаней $D = \|d_{ij}\|$

Вершина графа $G(m, n)$	Вершина графа $G(m, n)$						
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	$\sum_{j=1}^n d_{ij}$
U_1	0	1	2	2	2	1	8
U_2	1	0	1	2	2	2	8
U_3	2	1	0	1	2	2	8

U ₄	2	2	1	0	1	2	8
U ₅	2	2	2	1	0	1	8
U ₆	1	2	2	2	1	0	8

Структурну компактність характеризує показник – діаметр структури d : $d = \max d_{ij}=2$, де d_{ij} – відстань між вершинами графа. Величини $D_{\text{від}}$ і d інтегрально характеризують інерційність процесів в системі, при рівних значеннях $2 \in i \in R$ їх збільшення відображає зростання кількості зв'язків, які роз'єднують. Така ситуація сприяє зниженню надійності системи в цілому. Загальна близькість розташування БПЛА у групі:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} = 48$$

Відносний показник $D_{\text{від}}$:

$$D_{\text{від}} = \frac{D}{D_{\text{min}}} - 1 = 0,6; D_{\text{min}} = n(n - 1) = 30.$$

Ступінь централізації в системі визначається за допомогою індексу центральності, обчислюваного для групи БПЛА за формулою:

$$\delta = (n - 1)(2Z_{\text{max}} - n) \frac{1}{Z_{\text{max}}(n - 2)} = 0,$$

де Z_{max} – максимальне значення показника Z_i ;

Z_i – індекс централізації конкретного БПЛА в групі;

n – кількість БПЛА в групі.

Для оцінки ступеня нерівномірності (C_i) елементів групової структури, і ступеня централізації системи використовується поняття центральності окремих її елементів C_i , що розраховується за формулою:

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^m d_{ij}}{\sum_{j=1}^m d_{ij}};$$

$$C_{max} = 6,$$

де d_{ij} – мінімальна відстань між вершинами графа $G(n; m)$ групової структури БПЛА;

C_{max} – максимальна центральність у будь якого з вузлів. Відносна периферійність вузла:

$$\Pi_i = C_{max} - C_i = 0.$$

Живучість мережі – кількість станів, при яких мережа зберігає працездатність. Живучість може розглядатися як найбільш об'єктивний і адекватний показник, який дозволяє найкраще оцінити всі аспекти структурно-функціональної надійності мереж, яке знаходиться у зовнішньому середовищі, що постійно змінюється, і піддається перманентним модернізаціям з метою поліпшення показників якості її функціонування.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n U_i - 2(n-1)}{2(n-1)} = 3,75$$

$K > 0$, при втраті хоча б одного зв'язку структура зберігає працездатність.

Кількісні значення ефективності повнозв'язної групової структури БПЛА.

Таблиця 18 – Кількісні значення ефективності повнозв'язної групової структури БПЛА.

R	ϵ^2	D	$D_{від}$	d	D_{min}	δ	Π	K
2	54	48	0,6	2	30	0	0	3,75

Коміркова топологія мереж.

Груповий політ БПЛА також буде представлений у вигляді графа $G(n; m)$, який має n вузлів (БПЛА) і m дуг (з'єднання), як показано на рис.:

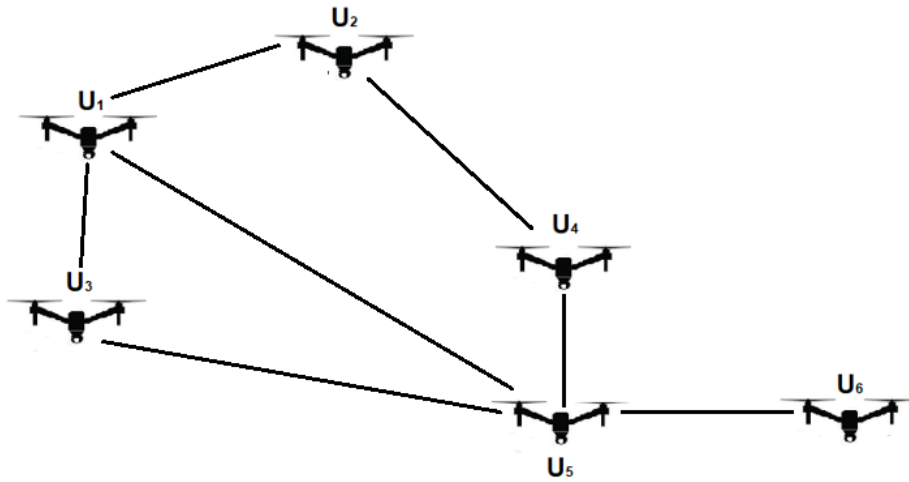


Рисунок 8 - Модель польоту групи з 6-ти БПЛА

Коміркова топологія мереж буде характеризувати ефективність групового завдання БПЛА. За допомогою критеріїв теорії графів визначу надійність групового польоту БПЛА.

Представлення групи БПЛА з використанням матриці суміжності та розрахунок критеріїв ефективності топології структур групи БПЛА.

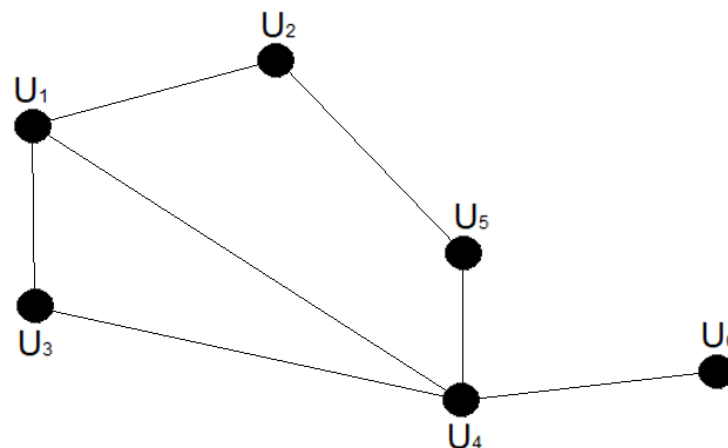


Рисунок 9 - Представлення групи БПЛА у вигляді неорієнтованого графа з шести елементів коміркової мережі

Таблиця 19 - Матриця суміжності $A = \|a_{ij}\|$

Вершина графа $G(m, n)$	Вершина графа $G(m, n)$						
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	$\sum_j U_{ij}$
U_1	0	1	1	1	0	0	3
U_2	1	0	0	0	1	0	2
U_3	1	0	0	1	0	0	2
U_4	1	0	1	0	1	1	4
U_5	0	1	0	1	0	0	2
U_6	0	0	0	1	0	0	1
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij}$							14

Зв'язність відповідає наступним умовам:

$$L \geq L_{min};$$

$$L_{min} = n - 1 = 5;$$

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij} \geq n - 1 = 7,$$

де L_{min} – необхідна мінімальна кількість зв'язків неорієнтованого графа з n вершинами; $n = 6$; $m = 7$; U_{ij} – вершини і дуги графа $G(n; m)$. Так, як нерівність дотримується ($6 > 5$), то граф $G(n; m)$ являється зв'язним. Визначення структурної надлишковості R – перевищення загальної кількості зв'язків над мінімально необхідною. Мережа з великою надмірністю R потенційно більш надійна:

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = 0.4 ,$$

де U_{ij} – вершини і дуги графа $G(n; m)$; n – кількість БПЛА в групі.

При $R > 0$ – максимальна надлишковість. У нашому випадку система зв'язна і має максимальну надлишковість: $R = 0,4 > 0$. Нерівномірність розподілу зв'язків ε_2 характеризує невикористання можливостей структури, що має m ребер і n вершин в досягненні максимальної зв'язності:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 = \sum_{i=1}^m p_i^2 - 4 \frac{m^2}{n} = -10,6,$$

де $p = \|p_{ij}\|$ – елемент матриці інциденцій; n – кількість вершин у структурі повнозв'язної топології групи БПЛА; m – кількість дуг у структурі повнозв'язної топології групи БПЛА.

Таблиця 20 - Матриця інциденцій $p = \|p_{ij}\|$

Вершина графа $i = \overline{1, n}$	Ребро графа, $j = \overline{1, m}$						
	1	2	3	4	5	6	7
U_1	1	1	0	0	1	0	0
U_2	1	0	0	1	0	0	0
U_3	0	1	1	0	0	0	0
U_4	0	0	0	0	0	1	1
U_5	0	0	0	1	0	1	0
U_6	0	0	0	0	0	0	1

За допомогою даних матриці інциденцій, маємо нерівномірність розподілу зв'язків $\varepsilon_2 = 0$, тобто повнозв'язна структура має рівномірний розподіл зв'язків. Структурна компактність вказує на близькість параметрів між собою через мінімальну довжину ланцюга:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij},$$

де d_{ij} – відстань між вершинами графа $G(n; m)$ групи БПЛА. Складаємо матрицю відстаней (табл. 12), елемент якої d_{ij} визначається як мінімальна відстань між вузлами.

Таблиця 21 - Матриця відстаней $D = \|d_{ij}\|$

Вершина графа $G(m, n)$	Вершина графа $G(m, n)$						
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	$\sum_{j=1}^n d_{ij}$
U_1	0	1	1	2	2	3	9
U_2	1	0	2	2	1	3	9
U_3	1	2	0	2	2	3	10
U_4	2	2	2	0	1	1	8
U_5	2	1	2	1	0	1	7
U_6	3	3	3	1	1	0	11

Структурну компактність характеризує показник – діаметр структури d :
 $d = \max d_{ij} = 3$. Загальна близькість розташування БПЛА у групі:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} = 44$$

Відносний показник $D_{\text{від}}$:

$$D_{\text{від}} = \frac{D}{D_{\text{min}}} - 1 = 0,46; D_{\text{min}} = n(n - 1) = 30.$$

Ступінь централізації в системі визначається за допомогою індексу центральності, обчислюваного для групи БПЛА за формулою:

$$\delta = (n - 1)(2Z_{\text{max}} - n) \frac{1}{Z_{\text{max}}(n - 2)} = 0,$$

де Z_{max} – максимальне значення показника Z_i ;

Z_i – індекс централізації конкретного БПЛА в групі;

n – кількість БПЛА в групі.

Для оцінки ступеня нерівномірності (C_i) елементів групової структури, і ступеня централізації системи використовується поняття центральності окремих її елементів C_i , що розраховується за формулою:

$$C_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} / \sum_{j=1}^m d_{ij};$$

$$C_{max} = 5.5 ,$$

де d_{ij} – мінімальна відстань між вершинами графа $G(n; m)$ групової структури БПЛА;

C_{max} – максимальна центральність у будь якого з вузлів. Відносна периферійність вузла:

$$P_i = C_{max} - C_i = 0.$$

Живучість мережі – кількість станів, при яких мережа зберігає працездатність. Живучість може розглядатися як найбільш об'єктивний і адекватний показник, який дозволяє найкраще оцінити всі аспекти структурно-функціональної надійності мереж, яке знаходиться у зовнішньому середовищі, що постійно змінюється, і піддається перманентним модернізаціям з метою поліпшення показників якості її функціонування.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n U_i - 2(n-1)}{2(n-1)} = 0,6$$

$K > 0$, при втраті хоча б одного зв'язку структура зберігає працездатність.

Кількісні значення ефективності коміркової групової структури БПЛА.

Таблиця 22 – Кількісні значення ефективності повнозв'язної групової структури БПЛА.

R	ε^2	D	D _{від}	d	D _{min}	δ	П	К
0,4	-10,6	44	0,46	3	30	0	0	0,6

Топологія мереж дерево.

Груповий політ БПЛА, у вигляді графа $G(n; m)$, який має n вузлів (БПЛА) і m дуг (з'єднання), як показано на рис.7:

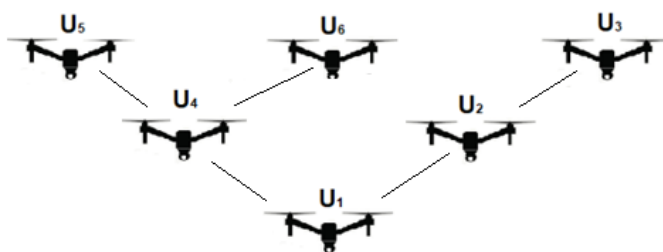


Рисунок 10 - Модель польоту групи з 6-ти БПЛА

Топологія мереж дерево буде характеризувати ефективність групового завдання БПЛА. За допомогою критеріїв теорії графів визначу надійність групового польоту БПЛА.

Представлення групи БПЛА з використанням матриці суміжності та розрахунок критеріїв ефективності топології структур групи БПЛА.

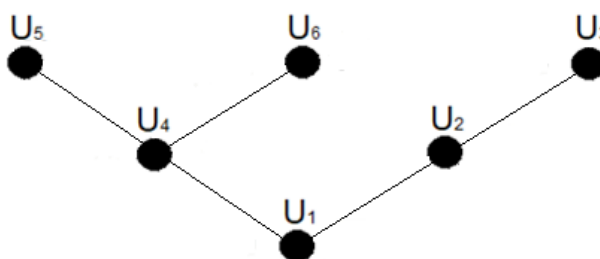


Рисунок 11 - Представлення групи БПЛА у вигляді неорієнтованого графа з шести елементів коміркової мережі

Таблиця 23 - Матриця суміжності $A = \|a_{ij}\|$

Вершина графа $G(m, n)$	Вершина графа $G(m, n)$						
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	$\sum_j U_{ij}$
U_1	0	1	0	1	0	0	2
U_2	1	0	1	0	0	0	2
U_3	0	1	0	0	0	0	1
U_4	1	0	0	0	1	1	3
U_5	0	0	0	1	0	0	1
U_6	0	0	0	1	0	0	1
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij}$							10

Зв'язність відповідає наступним умовам:

$$L \geq L_{min};$$

$$L_{min} = n - 1 = 5;$$

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij} \geq n - 1 = 5,$$

де L_{min} – необхідна мінімальна кількість зв'язків неорієнтованого графа з n вершинами; $n = 6$; $m = 5$; U_{ij} – вершини і дуги графа $G(n; m)$. Так, як нерівність дотримується ($6 > 5$), то граф $G(n; m)$ являється зв'язним. Визначення структурної надлишковості R – перевищення загальної кількості зв'язків над мінімально необхідною. Мережа з великою надмірністю R потенційно більш надійна:

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = 0 ,$$

де U_{ij} – вершини і дуги графа $G(n; m)$; n – кількість БПЛА в групі.

У нашому випадку система має мінімальну надлишковість: $R = 0$. Нерівномірність розподілу зв'язків ε^2 характеризує невикористання можливостей структури, що має m ребер і n вершин в досягненні максимальної зв'язності:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 = \sum_{i=1}^m p_i^2 - 4 \frac{m^2}{n} = 3,3,$$

де $p = \|p_{ij}\|$ – елемент матриці інциденцій (табл. 8); n – кількість вершин у структурі повнозв'язної топології групи БПЛА; m – кількість дуг у структурі повнозв'язної топології групи БПЛА.

Таблиця 24 - Матриця інциденцій $p = \|p_{ij}\|$

Вершина графа $i = \overline{1, n}$	Ребро графа, $j = \overline{1, m}$				
	1	2	3	4	5
U_1	0	1	1	0	0
U_2	0	0	1	1	0
U_3	0	0	0	1	0
U_4	1	1	0	0	1
U_5	1	0	0	0	0
U_6	0	0	0	0	1

За допомогою даних матриці інциденцій, маємо нерівномірність розподілу зв'язків $\varepsilon^2 = 0$, тобто повнозв'язна структура має рівномірний розподіл зв'язків. Структурна компактність вказує на близькість параметрів між собою через мінімальну довжину ланцюга:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij},$$

де d_{ij} – відстань між вершинами графа $G(n; m)$ групи БПЛА. Складаємо матрицю відстаней (табл. 9), елемент якої d_{ij} визначається як мінімальна відстань між вузлами.

Таблиця 25 - Матриця відстаней $D = \|d_{ij}\|$

Вершина графа $G(m, n)$	Вершина графа $G(m, n)$						
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	$\sum_{j=1}^n d_{ij}$
U_1	0	1	2	1	2	2	8
U_2	1	0	1	2	2	1	7
U_3	2	1	0	2	3	1	9
U_4	1	2	2	0	1	1	7
U_5	2	2	3	1	0	1	9
U_6	2	1	1	1	1	0	6

Структурну компактність характеризує показник – діаметр структури d :
 $d = \max d_{ij} = 3$. Загальна близькість розташування БПЛА у групі:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} = 46$$

Відносний показник $D_{\text{від}}$:

$$D_{\text{від}} = \frac{D}{D_{\text{min}}} - 1 = 0,53; D_{\text{min}} = n(n - 1) = 30.$$

Ступінь централізації в системі визначається за допомогою індексу центральності, обчислюваного для групи БПЛА за формулою:

$$\delta = (n - 1)(2Z_{\text{max}} - n) \frac{1}{Z_{\text{max}}(n - 2)} = 0,$$

де Z_{max} – максимальне значення показника Z_i ;

Z_i – індекс централізації конкретного БПЛА в групі;

n – кількість БПЛА в групі.

Для оцінки ступеня нерівномірності (C_i) елементів групової структури, і ступеня централізації системи використовується поняття центральності окремих її елементів C_i , що розраховується за формулою:

$$C_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} / \sum_{j=1}^m d_{ij};$$

$$C_{max} = 7.6,$$

де d_{ij} – мінімальна відстань між вершинами графа $G(n; m)$ групової структури БПЛА;

C_{max} – максимальна центральність у будь якого з вузлів. Відносна периферійність вузла:

$$\Pi_i = C_{max} - C_i = 0.$$

Живучість мережі – кількість станів, при яких мережа зберігає працездатність. Живучість може розглядатися як найбільш об'єктивний і адекватний показник, який дозволяє найкраще оцінити всі аспекти структурно-функціональної надійності мереж, яке знаходиться у зовнішньому середовищі, що постійно змінюється, і піддається перманентним модернізаціям з метою поліпшення показників якості її функціонування.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n U_i - 2(n-1)}{2(n-1)} = 0,1$$

$K > 0$, при втраті хоча б одного зв'язку структура зберігає працездатність.

Таблиця 26 – Кількісні значення ефективності повнозв'язної групової структури БПЛА.

R	ϵ^2	D	D_{від}	d	D_{min}	δ	Π	K
0	3,3	46	0,53	3	30	0	0	0,1

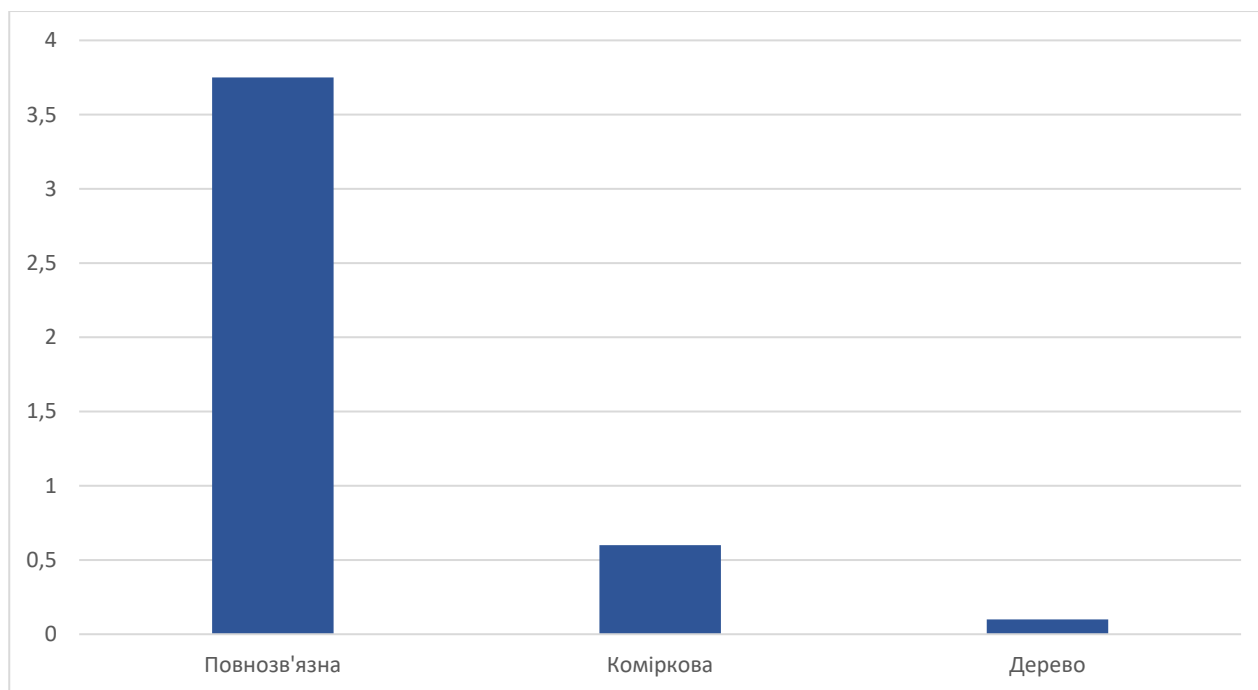


Рисунок 12 - Графічне представлення кількісних значень ефективності польотів групи БПЛА за критерієм живучості.

Висновки до третього розділу

В частині я дослідила три види топології мереж: повнозв'язну, коміркову та дерево.

У розділі проаналізовано критерії ефективності виконання завдань групового польоту БПЛА.

Проведено оцінку основних топологій за теорією графів, для використання в групових польотах БПЛА, з врахуванням чотирьох критеріїв ефективності виконання завдань групового польоту, використовуючи метод експертних оцінок. За результатами аналізу, метод експертних оцінок показав, що для критеріїв безпеки, регулярності, ефективності та економічності, найкращими топологіями за теорією графів є «повнозв'язна», «коміркова» та «дерево».

Була використана теорія графів для оцінки кількості ефективності групового польоту БПЛА. Також були призначені критерії ефективності групи польотів для всіх типів з'єднань БПЛА (повністю з'єднані, зірка, кільце, дерево, із загальною шиною, змішаною).

Таким чином, створення топологічних груп БПЛА доцільно орієнтуватися на пов'язану топологію, як найбільш ефективну.

Розділ 4. Програмне забезпечення, рекомендації, протоколи управління БПЛА в групі

Групове використання БПЛА широко використовується у світі для вирішення національних економічних та військових завдань. Варіант побудови групового польотного БПЛА визначається конкретним завданням, покладеним на групу. Важливим компонентом польотних операцій групи БПЛА є наявність інтегрованого та обчислювального обладнання, що говорить про те, що група БПЛА є частиною інформаційної мережі, елементи якої обмінюються інформацією один з одним.

Для координації взаємодії та обміну інформацією між віддаленими пілотами розроблена база даних локальної RPS NoSQL. Під час розробки бази даних локальних RPS, користувачів БПЛА було проведено аналіз компонентів UAS, БПЛА, RPS, C2 тощо. Враховуючи процедуру експлуатації БПЛА, яка включає призначення польоту, правила польоту, зони польоту, лінії функціонального рівня C2 та інші стандарти.

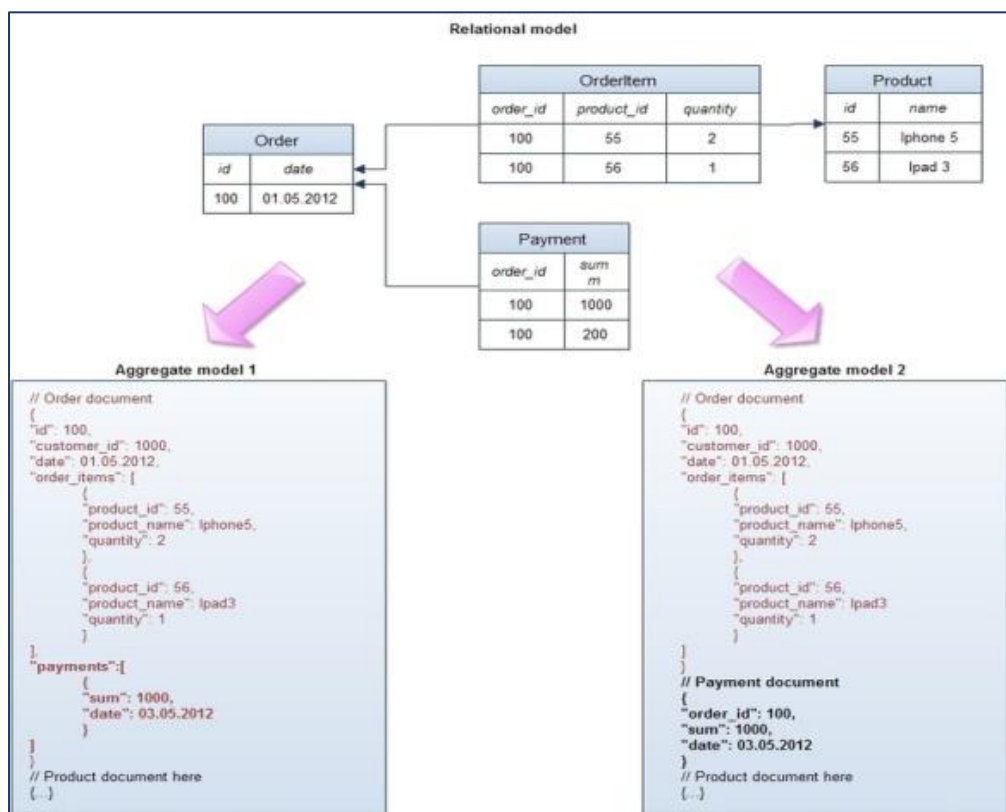


Рисунок 13 - Фрагмент бази даних NoSQL для дистанційно пілотованого БПЛА

Структура інформаційної системи визначається її топологією. Найвідоміші топології – повнозв'язна, зірка, кільце, дерево, шина звичайна, клітинна, змішана. Слід зазначити, що аналіз топології традиційно враховує статичний характер структури, що не завжди виправдано з точки зору рухомих середовищ та продуктивності окремих елементів групи. Робота бездротової мережі супроводжується несправностями, збоями вузлів. За допомогою теорії графів можна визначити ефективність групових структур у різних типах формування БПЛА.

Під час основного повідомлення генерального директора Intel Брайана Крзані, в день відкриття виставки CES технологій у Лас-Вегасі, США, відбулася демонстрація технологій безпілотників корпорації Intel за участю 100 малих літальних апаратів. Це був новий рекорд Гіннеса у груповому польоті БПЛА (Гіннес, 2017). Рекорд був встановлений у співпраці з Ars Electronica Futurelab, щоб показати можливості застосування БПЛА.

Автори пропонують використати можливість керувати групою БПЛА від центрального БПЛА, який є ретранслятором зв'язку з безпіотною станцією. Центральний ретрансляційний безпілотник визначається за допомогою методу організації управління в локальних комп'ютерних мережах (Olefir, 2007).

Системи літальних апаратів з дистанційним пілотуванням (RPAS) - це нова складова авіаційної системи Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО). Ці системи базуються на передових розробках аерокосмічних технологій, пропонуючи просування, що може відкрити нові та вдосконалені цивільні / комерційні програми, а також поліпшення безпеки та ефективності всієї цивільної авіації.

Теорія графів в інформаційних технологіях (наприклад, підключення комп'ютерів до мережі) широко застосовується для моделювання об'єктів, використовуючи різні типи топологій. Для підвищення ефективності

групових польотів безпілотних літальних апаратів пропонується використовувати теорію графів.

Метою ІКАО у боротьбі з безпіотною авіацією є створення основної міжнародної нормативно-правової бази за допомогою Стандартів та Рекомендованих практик (SARPs).

RPAS використовується при необхідності ефективного прийняття рішень (DM). Їх можна використовувати для забезпечення безпеки прикордонного патрулювання, використовуючи програмне забезпечення для польоту літаків. Віддалена пілотна станція (RPS) визначається як компонент системи дистанційного пілотування літальних апаратів, що містить обладнання, яке використовується для дистанційного пілотування пілотуваного літального апарату.

Як загальний принцип, RPS повинна надавати віддаленому пілоту рівнозначну можливість командувати та керувати польотом. RPA пілотується з RPS, використовуючи команду та управління. Разом з іншими компонентами, такими як обладнання для запуску та відновлення, якщо вони використовуються, зв'язок RPA, RPS і C2 містить RPAS. RPA може пілотуватись з однієї з багатьох RPS під час польоту, однак лише одна RPAS повинна контролювати RPA в даний момент часу. Група RPA може бути пілотована з групи багатьох RPS під час польоту або організації групи RPA як інформаційна мережа.

Розглянемо основні принципи моделювання групових дій на прикладі групи літальних апаратів.

Сучасний розвиток комплексів з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) передбачає все більш складні тактичні сценарії різного роду застосування, що передбачають взаємодію в групі БЛА, обмін даними з наземними пунктами управління і наведення, а також взаємодія з пілотованими літальними апаратами.

Сукупність завдань з обміну даними в інтересах комплексів з БЛА доцільно розділити на два класи:

- високошвидкісна передача зображень;
- передача даних і команд управління.

Необхідність даного поділу впливає з фундаментального протиріччя пов'язаного з кордоном Шеннона між необхідною швидкістю передачі інформації і необхідної стійкості до перешкод. Розрахунки показують, що дальність придушення каналу передачі зображень (високошвидкісного каналу) приблизно в 10 разів більше, ніж дальність придушення каналу передачі даних і команд управління при однаковій ширині смуги сигналу.

Як видно з наведеного переліку стандарти передачі зображень відокремлені від стандартів передачі даних і управління. Крім того, засоби зв'язку для наземних роботизованих комплексів уніфіковані до стандартів, що застосовуються для комплексів з БЛА. Аналіз структури сучасного бортового комплексу зв'язку пілотованого літального апарату показує, що комплекс зв'язку являє собою сукупність різних систем зв'язку.



Рисунок 14 - Комплекс зв'язку для БПЛА

Основні вимоги до інтегрованої системи обміну інформацією комплексів з БЛА можуть бути:

- завадостійкість,

- уніфікація,
- криптозахиснені на сигнальному рівні (захист від імітаційних перешкод),
- децентралізація (в мережі не повинно бути вузлів, відключення якого призводить до неможливості функціонування системи зв'язку),
- зворотна сумісність (система зв'язку повинна мати можливість взаємодії з іншими системами зв'язку),
- самоорганізована мережа (система зв'язку повинна мати засоби автономної синхронізації між користувачами і процедури автоматичної адаптації до нової заводонестійкої обстановки, відключення окремих вузлів мережі).

Одна з основних вимог до інтегрованої системи обміну інформацією - це стійкість до перешкод. В інтегрованій системі обміну інформацією використовується принцип псевдовипадкової перебудови частоти для розширення спектру, але на відміну від інших систем зв'язку – застосовується розподілений часовий розподіл при організації каналів зв'язку, що забезпечує додаткову стійкість перед перешкодами, і, головне, можливість одночасної роботи в декількох мережах (приймати і отримувати інформацію від безлічі точок одночасно). Багато в чому це нагадує багатозадачність роботи в сучасних обчислювальних машинах, коли для кожного завдання виділяються короткі тимчасові доріжки, система переключається від однієї задачі до іншої, загальний обчислювальний ресурс поділяється між завданнями на основі системи пріоритетів. Зазначені особливості дозволяють

стверджувати, що система може забезпечити взаємодію при групових діях роботизованих комплексів, в тому числі і БЛА. Фактично мова йде про програму з технологією інтегрованої системи обміну інформацією стосовно БЛА і робототехнічних комплексів в цілому.

Інтегрована система обміну інформацією забезпечує:

- завадо- і крипто- захищений цифровий зв'язок, і обмін даними в радіомережах і радіонаправленням, в тому числі з ретрансляцією;
- дальномірні вимірювання в автономних групах літальних апаратів, а також до виділених абонентів системи (пунктів прив'язки з відомим місцем розташування);
- взаємне пізнання абонентів системи на основі координатно-зв'язкового принципу ідентифікації.

Технологія на якій базується інтегрована система обміну інформацією може стати основою для перспективної системи зв'язку для комплексів БЛА.

На даний час в Україні ідуть інтенсивні розробки Мобільної компоненти мереж зв'язку військового призначення елементом якої будуть безпроводні сенсорні мережі тактичної розвідувальної інформації про супротивника та видачу її органам управління військами та зброєю.

Безпроводні сенсорні мережі (Wireless Sensor Network) – розподілені мережі, що складаються з маленьких вузлів (сенсорів), з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних. Основними елементами сенсорних вузлів є: датчики для контролю зовнішнього середовища, блок мікрокомп'ютера, батареї, прийомопередавач (додатково система позиціонування, наприклад, система GPS).

Загальна ідея функціонування БСМ полягає у використанні великої кількості неоднорідних безпроводових сенсорів, які можуть бути розташовані на значних географічних територіях для моніторингу за цілями або різномірних параметрів навколишнього середовища (в деяких випадках побудови радіонапрямку при знищенні основної опорної мережі зв'язку). Отримана безпроводовим сенсорним вузлом інформація передається на спеціальні шлюзи безпосередньо, або шляхом ретрансляції через проміжні сенсорні вузли. У випадку, якщо площі території для моніторингу дуже великі, у якості шлюзів можуть використовуватися сенсорні вузли на базі безпілотних літальних апаратів.

Таблиця 27 - Загальна класифікація тактичних сенсорних мереж.



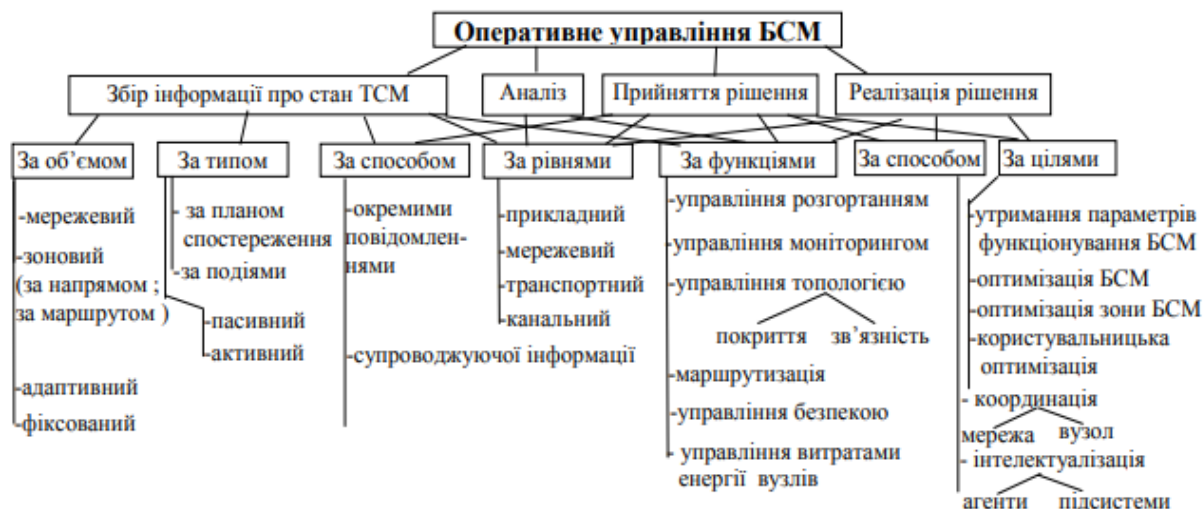
Можливо використовувати стаціонарні сенсорні вузли для моніторингу та рухомі сенсори (роботи) для збору інформації серед сенсорних вузлів (гібридна мережа) або навпаки. Мобільні сенсорні мережі відносяться до класу мобільних радіомереж або MANET (mobile ad-hoc networks), а стаціонарні до класу чарункових безпроводних мереж (Wireless Mesh Network) [3]. Децентралізовані, ієрархічні і гібридні сенсорні мережі. Ієрархічна організація мережі припускає розбиття мережі на зони (кластери) з виділенням в кожній зоні головних і простих сенсорів-вузлів, а також сенсорів-шлюзів (для зв'язку між зонами). Вона є комбінацією централізованого і децентралізованого (між головними вузлами) способів управління. В даний час сенсорні мережі ефективно використовуються для проведення військових операцій. При проведенні антитерористичної операції застосування сенсорних вузлів на блокпостах, лінії розмежування сторін, сірих зонах для проведення розвідки, тимчасове створення радіо напрямів зв'язку передачі інформації бойового управління, тимчасової організації зв'язку (ретрансляції).

Проведений аналіз можливих варіантів побудови тактичних сенсорних мереж продемонстрував перевагу застосування БСМ класу MANET:

- відсутність етапу планування (можливість самоорганізації),
- швидке розгортання,
- робота в русі.

На даний час запропоновані підходи до оптимізації радіомереж класу MANET за одним або декількома показниками [4 – 7]. Зокрема, в [9] запропоновано управляти витратами енергії батарей, в [5] – здійснювати багатокритеріальну оптимізацію маршруту з урахуванням його мобільності, в [6] – оптимізувати топологію мережі за декількома показниками, у [11] – враховувати тип трафіка тощо. Однак, непередбачуваність умов функціонування радіомереж класу MANET призводить до необхідності трактування того, що функції (цільові функції) управління не є статичними, а визначаються в часі в залежності від етапів і функцій управління, а також параметрів стану об'єкта (об'єктів) управління (вузол, радіоканал, маршрут, зона, мережа) та наявних ресурсів [4]. В [12] запропонована нова парадигма, яка передбачає використання множини методів управління на кожному з рівнів мережевої інфраструктури, об'єднаних у базу методів, а вибір необхідного методу здійснюється системою управління (СУ) в залежності від стану вузла та умов, які склалися в БСМ. Відповідно децентралізованого або гібридного (централізовано в зоні, децентралізовано між зонами), СУ повинна бути реалізована на кожному вузлі БСМ (сенсор, мобільний робот, БПЛА, мобільна або стаціонарна базова станція), що потребує створення відповідного математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення. Існуючі технології управління безпроводовими сенсорними мережами розраховані на статичні або квазістатичні умови їх функціонування та не враховують особливостей тактичних сенсорних мереж. Як зазначається в [1], основними відмінностями між цивільними та військовими системами управління сенсорними мережами є: різні цілі, етапи, функції, рівні управління та вимоги до оперативного управління. Так відповідно до концепції [5], за етапами задачі діляться на задачі планування розгортання і оперативного управління. Предметом розгляду даної задачі є прийняття рішень в процесі оперативного управління групою БЛА:

Таблиця 28 - Оперативне управління БСМ



Крім того, функціонування БСМ в умовах частоті зміни обстановки (оперативної, тактичної, з моніторингу, тощо) тому забезпечення стійкого, безперервного і прихованого управління мережею в цих умовах потребує наявності у складі кожного вузла ефективної СУ, здатної приймати рішення в умовах невизначеності. Основними причинами невизначеності є:



Рисунок 15 - Функціональна модель системи оперативного управління.

Основна перевага використання БПЛА - це завдання, які передбачають ризик для людини та ефективність у вирішенні економічних проблем. Метою ІКАО у боротьбі з безпіотною авіацією є створення основної міжнародної нормативно-правової бази за допомогою Стандартів та Рекомендованих практик (SARPs), що підтримують Процедури аеронавігаційних служб та керівні матеріали.

Віддалена пілотна станція (RPS) визначається як компонент системи дистанційного пілотування літальних апаратів, що містить обладнання, яке використовується для пілотування віддаленого пілотуваного літального апарату. RPS функціонує так само, як і пілотований літальний апарат, і надає віддаленому пілоту рівнозначну можливість керувати польотом. БЛА пілотуються з RPS, використовуючи компоненти, такі як обладнання для запуску та відновлення. БЛА може пілотуватись з однієї з багатьох RPS під час польоту, однак лише одна RPS повинна контролювати БЛА в даний момент часу. Група БЛА може бути пілотована з групи багатьох RPS під час польоту або організації групи БЛА.

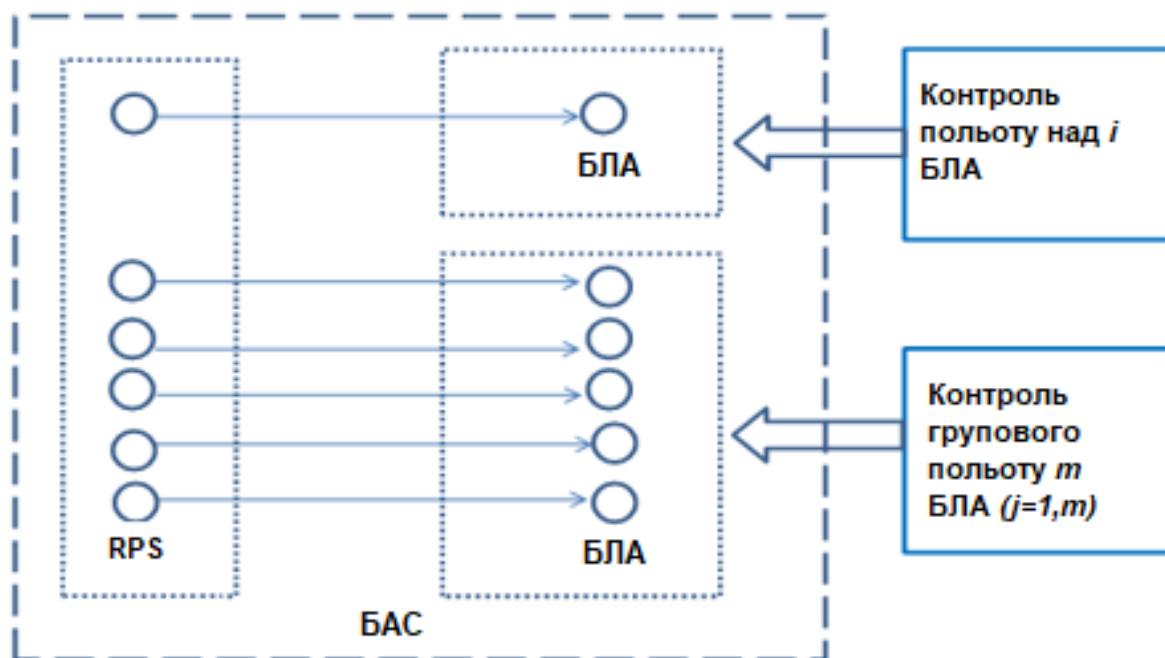


Рисунок 16 - Система управління одним або групою БПЛА

Такі системи вигідніші, бо немає потреби оплати великої кількості персоналу за виконання завдання. Вони здатні літати в небезпечні зони

протягом тривалого періоду часу. Для управління групою безпілотників автори пропонують вибрати та використати ретранслятор - повторювач для підключення до оператора на землі та керування іншим безпілотником.

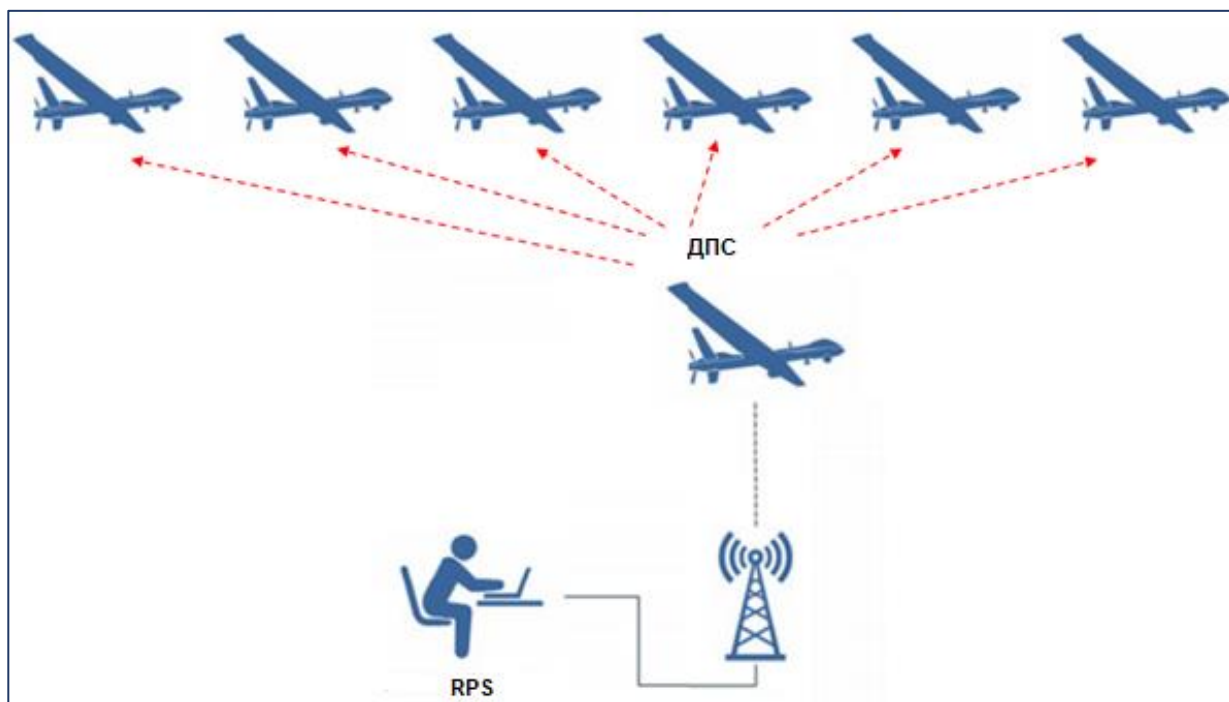


Рисунок 17 - Система управління групою БПЛА від RPS за допомогою ретранслятора.

До недоліків БПЛА можна віднести обмежену пропускну спроможність через невеликий розмір БПЛА, який можна компенсувати за використання групового польоту. Крім того, група малих і легких БПЛА ефективно взаємодіють, виявляються більш корисні якості: швидкість завдання, збільшення щільності площі поверхні при обприскуванні сільськогосподарських культур тощо. Очевидна ефективність групових літаючих безпілотників у моніторингу лісових пожеж, пошуково-рятувальних операціях з переробки сільськогосподарських культур, ретрансляції зв'язку та моніторингу руху вантажів значно вища, ніж у одиночних польотах БПЛА.

Програмне забезпечення бортової системи управління літака має бути розподілено на дві основні групи: компоненти, що не залежать від фізичного

пристрою (наприклад, планувальник маршруту, фільтри) і залежні (драйвери сенсорів, автопілот).

Програмне забезпечення бажано використовувати таке, що основане на методі взаємодії "проксі". Проксі - програмне представлення кожного учасника команди. За допомогою проксі можна ефективно реалізувати спілкування між БЛА і людиною. Ця технологія дає змогу правильно використовувати можливості кожної сутності і враховувати обмеження між проксі – протокол передачі повідомлень і чітко визначений алгоритм взаємодії. Програмне забезпечення кожного проксі буде складатися з п'яти компонентів:

- 1) алгоритм комунікації;
- 2) алгоритм координації в групі;
- 3) пул станів;
- 4) алгоритм регулювання автономності проксі, який визначає, коли проксі повинен діяти автономно, а коли передавати контроль групі;
- 5) інтрефейс взаємодії з проксі.

Взаємодія між агентами пропонується використовувати, розроблений на основі відомого методу класної дошки. Коли приходить нове повідомлення, воно додається в пул станів, як нове уявлення проксі про зовнішнє середовище. В свою чергу будь-яка зміна стану проксі тягне запуск алгоритму координації і регулювання автономності. Проксі може отримувати три основні види повідомлень:

- 1) про стан виконуваного завдання;
- 2) про притягнення даної проксі в наступне завдання;
- 3) про завершення завдання.

Залежно від отриманого знання, проксі відповідно до свого алгоритму координації, приймає рішення про взаємодію з групою. Наприклад, передає далі отримане повідомлення або встановлює з'єднання з іншим проксі.

Технічно програмне забезпечення кожного БПЛА буде розміщуватися на бортовому мікрокомп'ютері, який безпосередньо передає керуючу інформацію, необхідну для переміщення моделі. Модель подібної організації роботів і людини має ряд очевидних переваг. Техніка, яка працює під управлінням людини, але в той же час здатна приймати автономні рішення, дозволяє вирішувати ряд завдань, пов'язаних з дослідженням важкодоступних або небезпечних місцевостей, пошуком, нанесенням точкових ударів.

Висновки до четвертого розділу

Розглянуто проблеми використання безпілотників для різних цілей у цивільній авіації та проведено аналіз переваг групових польотів БПЛА. Для управління групою безпілотників пропонується вибрати та використовувати ретранслятор для підключення до оператора на землі та для управління безпілотниками під час групового польоту. Для вибору ефективного ретранслятора та оптимальної мережі конфігурації групи БПЛА використовується метод вибору сервера в комп'ютерних мережах. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вирішення практичних проблем впровадження управління групою в керуванні БПЛА, що призводить до більш ефективного використання БПЛА, а саме можливості планування коригування та оптимізації маршруту польоту, виходячи з даних, вже отриманих від інших БПЛА. Можливість постановки різних завдань для членів багатопілотних БПЛА з урахуванням ефективності топологічних груп.

Висновки

Підсумовуючи загальний зміст дослідження, можемо зробити такі загальні висновки:

1. Системи літальних апаратів з дистанційним пілотуванням - це новий компонент авіаційної системи. Ці системи базуються на передових розробках аерокосмічних технологій та відкривають безліч нових можливостей для безпеки авіації та розвитку промисловості. Зараз наука багато уваги приділяє дослідженню можливостей застосування безпілотної авіації.
2. В дипломній роботі розглянуті проблеми моделювання і планування групових польотів БПЛА. Для кожного із етапів процедури планування групових дій розроблена нейромережева структура. При цьому відзначається складність задач у разі управління групою БПЛА, яка полягає у недоцільності застосування класичної теорії керування.
3. Коміркова топологія мереж характеризує ефективність групового завдання БПЛА. За допомогою критеріїв теорії графів визначила надійність групового польоту БПЛА. Представлена група БПЛА з використанням матриці суміжності та розрахунок критеріїв ефективності топології структур групи БПЛА.

У дипломній роботі досліджується процес групового польоту БПЛА, вимоги до експлуатації БПЛА, проводиться аналіз основних топологій мереж, пропонується метод визначення оптимальної топології за допомогою думки експертної групи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міночкін А.І. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж / Міночкін А.І. , Романюк В.А. //Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ” – 2007. – № 4.. – С. 63 – 71.
2. Sitharama I.S. Distributed Sensor Networks, Second Edition: Image and Sensor Signal Processing / Sitharama Iyengar S., Richard R. – USA: CRC Press, 2012. – 764 p.
3. Жук О.В. Система управління тактичними сенсорними мережами / Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 2. – С. 88 – 96.
4. Сова О.Я. Методологія синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних мобільних радіомереж з динамічною топологією/ Сова О.Я., Романюк В.А. Жук П.В., Уманець Я.Л.//Збірник наукових праць ХУПС – 2012. – № 3. С. 51 – 60.
5. Романюк В.А. Интеллектуальные самоорганизующиеся радиосети: сборник тезисов докладов и выступлений участников XXI Международной крымской конференции /, Романюк В.А., Сова О.Я. Жук П.В. // Севастополь. – 2011.– С. 491 – 492.
6. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв’язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
7. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH // СПб: Петербург. – 2012. – 736 С.
8. Сова О.Я. Архітектура управління мережами MANET: тези доповідей та виступів учасників V науково-технічної конференції [„ Проблеми телекомунікацій – 2011”], (Київ – 2011р.) / Сова О.Я. Жук О.В., Романюк В.А. – К.: ІТС НТУУ „КПІ”, 2011. – С.77.
9. Жук О.В. Енергозберігаюча методика побудови топології безпроводної сенсорної мережі / Жук О.В. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ” – 2008. – № 2.. – С. 63 – 71.

10. Ramanathan R. A Radically New Architecture for Next Generation Mobile Ad Hoc Networks // In IEEE Proceeding MOBICOM, 2005.
11. Романюк В.А. Многопутевая маршрутизация в мобильных радиосетях / Минович А.И., Романюк В.А. // Зв'язок. – 2004. – № 6.
12. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами / Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2012. – № 1. – С. 109 – 117.
13. <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-gruppovyh-deystviy-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov/viewer>
14. Бондарев, Д.П. Кучеров, Т.Ф. Шмельова Національний авіаційний університет, Київ. Літальні апарати: аеродинаміка, силові установки, обладнання та озброєння» .УДК 004.942:629.735.33 519:629.7.076.46(045) Д.І.
15. А.Г. Гребеников, Т.Н. Середа, Т.П. Цепляева, Е.Ю. Шевченко, А.А. Юхно. Анализ статистических данных беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 80, 2018 / УДК629.735.33 – 2018 – 18.
16. Трубников Г.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в гражданских целях. 2008.
17. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. № 6. С. 45—61.
18. Scerri P., Pynadath D., Johnson L., Rosenbloom P., Si M., Schurr N., Tambe M. A Prototype Infrastructure for Distributed RobotAgentPerson Teams — Information Sciences Institute and Computer Science Department. University of Southern California. 4676 Admiralty Way, Marina del Rey, CA 90292.

19. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов: справ. пособие / А. Г. Гребеников, А. К. Мяслица, В. В. Парфенюк и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008.-377 с.
20. Беспилотные летательные аппараты: справочное пособие / сост. М. С. Иванов [и др.]; под общ. ред. С. А. Попова. - Воронеж: Научная книга, 2015. - 619 с.
21. International Civil Aviation Organization. (2005). Global Air Traffic Management Operational Concept . Doc. ICAO Doc 9854-AN/458. Canada, Montreal : Author.
22. International Civil Aviation Organization. (2009). Manual on Global Performance of the Air Navigation System. Doc. ICAO 9883. Canada, Montreal : Author.
23. International Civil Aviation Organization. (2015). Manual of Remoted Piloted Aircraft Systems (RPAS). Doc. ICAO 10019/AN 507. Canada, Montreal : Author.
24. Unmanned Aerial Vehicles: Breakthroughs in Research and Practice. Information Resources Management Association (USA)/ Chapter 8 Applications of Decision Support Systems in Socio-Technical Systems / Tetiana Shmelova, Yuliya Sikirda, - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania. IRMA 2019. – P.182-214
25. Shmelova T. Graph Theory Applying for Quantitative Estimation of UAV's Group Flight / T. Shmelova, D. Bondarev // Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APPUAVD).
26. Шмельова Т.Ф. Визначення критеріїв ефективності групових польотів безпілотних літальних апаратів методами теорії графів / Т.Ф. Шмельова, Д.П. Кучеров, Д.І. Бондарєв // АВІА-2015 : XII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2015. – 7.87 – 7.91

27. Shmelova T.F. Graph theory applying for quantitative estimation of UAV's group flight into aerial photography/ T.F. Shmelova, D.I. Bondarev // Electronics and Control Systems 2016. N 4(46): P.128-133.
28. Shmelova T. Group flights of Unmanned Aviation Vehicles for Smart cities / T. Shmelova, V.Lazorenko, D.Bondarev, O.Burlaka // 2019 IEEE 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2019), Ceske Budwovice, Czech Republic, June 5-7, 2019.- P.230-233
29. Stochastic Methods for Estimation and Problem-Solving in Engineering: Stochastic Methods of Decision Making in Aviation, / Tetiana Shmelova - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania.2018. – P.139-160