

Міністерство освіти і науки України
Департамент освіти і науки Полтавської облдержадміністрації
Полтавське територіальне відділення Малої академії наук України
Опорний заклад «Вовчицький ліцей імені В. Ф. Мицика Лубенської міської
ради Лубенського району Полтавської області»

Таміла Костюк

**МАЛА АКАДЕМІЯ НАУК
ЯК ФОРМА ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНИЦЬКО-
ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ
НА УРОКАХ ФІЗИКИ**

Методичні рекомендації

Лубни – 2022

Костюк Т.Л. Мала академія наук як форма організації дослідницько-проектної діяльності учнів на уроках фізики: Методичні рекомендації. – Вовчицький ліцей, 2022, – 42 с.

У методичних рекомендаціях представлено теоретико-методичні та практичні основи наукової діяльності учнів загальноосвітніх закладів на основі включення у роботу Малої академії наук, як творчого об'єднання учнів, яке сприяє виявленню їх здібностей, обдарувань, самовизначенню та самореалізації особистості засобами залучення до пошукової, експериментальної, дослідницької роботи в різних галузях науки, техніки, культури. Для учнів різних типів загальноосвітніх закладів, вчителів, викладачів та студентів педагогічних навчальних закладів.

Костюк Таміла Леонідівна, керівник гуртка «Експериментальна та теоретична фізика» Лубенської філії Комунального закладу Полтавської обласної ради «Полтавська обласна Мала академія наук учнівської молоді», заступник директора з навчально-виховної роботи Опорного закладу «Вовчицький ліцей імені В. Ф. Мицика Лубенської міської ради Лубенського району Полтавської області»

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ I. <u> </u> ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ НА УРОКАХ ФІЗИКИ	5
1.1. Характеристика творчої діяльності учнів.....	5
1.2. Науково-дослідна діяльність учнів загальноосвітніх шкіл як засіб розвитку їх творчого потенціалу	6
1.3. Основні форми науково-дослідної діяльності школярів	7
РОЗДІЛ II. <u> </u> ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ НАУКОВО- ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	9
2.1. Загальна схема наукового дослідження.....	9
2.2. Основні вимоги до учнівських робіт МАН	11
2.2.1. Загальні положення.....	11
2.2.2. Структура роботи.....	12
2.2.3. Вимоги до змісту роботи.....	13
2.3. З досвіду науково-дослідницької діяльності МАН	15
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Демократичні зміни в суспільстві визначили принципово нові пріоритети розвитку системи освіти. У сучасних умовах особливого статусу набуває проблема оновлення діяльності загальноосвітніх навчальних закладів. Дедалі більше уваги приділяється розробці нового змісту освіти, системи принципів, методів та форм навчальної роботи, які не тільки сприяють забезпеченню досягнення учнями певного рівня знань, умінь та навичок, але й стимулюють розвиток їх власного творчого потенціалу. Здатність до саморозвитку, самореалізації є основною ознакою творчої особистості, важливим шляхом формування якої є залучення до науково-дослідної діяльності. Тому розробка та обґрунтування сучасних форм дослідницько-проектної діяльності у навчальних закладах, однією з яких є Мала академія наук, - слід вважати одним із пріоритетних напрямів педагогічних досліджень. Отже, проблема організації науково-дослідницької діяльності учнів загальноосвітніх закладів, як одного із засобів розвитку їх творчого потенціалу, та включення їх в ході її реалізації в роботу Малої академії наук зокрема, є актуальною з урахуванням нових соціальних та освітніх вимог.

РОЗДІЛ І.

ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ НА УРОКАХ ФІЗИКИ

1.1. Характеристика творчої діяльності учнів.

Вивчення творчих здібностей дитини – важлива проблема сучасної педагогічної науки. „Здатність до творчості, – відзначив академік В.О.Енгельгард, – це найвищий дар, яким нагородила природа людину на нескінченно тривалому шляху її еволюційного розвитку”. Як не дивно, але цей найвищий дар довгий час ігнорувався нашою системою освіти: всі школярі вивчали одні й ті самі предмети за однаковими програмами, підручниками, була відсутня диференціація навчання залежно від нахилів та здібностей дитини. Не зверталась увага на витoki творчого потенціалу школярів: уроки, як правило, присвячувались засвоєнню готових знань та вмінь, а ось як застосовувати їх у нестандартних ситуаціях, відкривати щось нове – цьому не вчили.[19]

Гармонійний розвиток особистості неможливий без виховання її творчої активності. Прогресивна педагогіка виходить з того, що кожна дитина по-своєму талановита, з кожної може вирости творча особистість. Треба лише, як свого часу зазначив Л.С.Виготський, вихованням сприяти утворенню та прояву таланту. Цей висновок вченого підтверджується сучасними психологами та педагогами, які засвідчують, що здатність до творчості формується в діяльності, в процесі пошуку та знахідок. Це діяльність, що породжує щось якісно нове і позначене оригінальністю та суспільно корисною, історичною унікальністю. Новим і цінним результатом діяльності може бути в масштабах як суспільства загалом, так і окремої людини[10].

Розвитком творчої особистості важко керувати. Є багато чинників, що впливають на інтелектуальний розвиток, серед них умови, у яких формується дитина, – середовище, що її оточує. Однак найважливішим для творчого розвитку особистості є характер її навчальної діяльності. Моделювання творчої діяльності у навчанні потребує осмислення самого поняття “творчість”.

Під творчістю найчастіше розуміють створення нових матеріальних або духовних цінностей. Творча діяльність є антиподом наслідування, копіювання, діяльності за шаблоном, готовим взірцем, правилом, алгоритмом.

У процесі творчої діяльності відбувається перетворення явищ, речей, процесів діяльності або їх зразків, чуттєвих чи розумових. Продукти творчості, нові ідеї, системи дій, невідомих закономірностей містять у собі новизну, оригінальність.

У сучасних психологічних дослідженнях творчості поширюється думка про те, що здатність до творчості не є винятковим явищем, властивим лише одиницям. Певною мірою творчість властива всім людям. Самореалізація й самовдосконалення неможливе без самопізнання. Лише глибоко пізнавши себе, дитина може зрозуміти складний і суперечливий характер свого внутрішнього і зовнішнього життя, конструктивно вирішувати проблеми адекватними для його “Я” способом, краще будувати стосунки з іншими, стати справжнім творчим суб’єктом своєї життєдіяльності [10]. Одним із шляхів формування творчого потенціалу учнів є включення їх у науководослідну діяльність. Такий підхід дає можливість запобігати догматичному накопиченню інформації та сприяти активності учня у процесі навчання.

1.2. Науково-дослідна діяльність учнів загальноосвітніх шкіл як засіб розвитку їх творчого потенціалу

Науково-дослідницька робота школярів – це один із видів пізнавальної діяльності, який є природнім продовженням і поглибленням навчального процесу шляхом вивчення певних конкретних тем і проблем, завдяки використанню системи методів досліджень, що сприяє розвитку в учнів наукового мислення, потреби в інтелектуальному становленні, саморозвитку та самовихованні, який здійснюється під керівництвом вченого-педагога. Реалізація науково-дослідної роботи учнів здійснюється у процесі їх навчально-творчої та навчально-дослідницької діяльності [13,17].

Предметом навчально-дослідницької діяльності є пошук, пояснення і обґрунтування закономірних зв’язків і відношень тих факторів, явищ, процесів,

які експериментально спостерігаються або теоретично аналізуються. Даний вид діяльності організовує педагога із використанням у більшості випадків дидактичних засобів непрямого або перспективного управління діяльністю учнів, в яких домінує самостійне застосування прийомів наукових методів пізнання. В результаті такої діяльності учні активно оволодівають знаннями, розвивають свої дослідницькі уміння і здібності [13].

1.3. Основні форми науково-дослідної діяльності школярів

Основними найбільш дієвими формами науково-дослідної роботи учнів у рамках навчального процесу, що використовуються у загальноосвітніх закладах України є:

- включення елементів наукового пошуку при вивченні певних тем, розділів навчальних предметів при виконанні індивідуальних завдань з окремих навчальних дисциплін в домашні завдання, що сприяє підвищенню ефективності самостійної роботи учнів;
- залучення учнівської молоді до виконання реферативних робіт у ході вивчення окремих навчальних дисциплін тощо.

У позанавчальний час науковий пошук учнями загальноосвітніх закладів здійснюється на основі використання таких форм, як:

- консультації учнів з питань методики і організації наукових досліджень, наукової організації самостійної роботи, методики роботи з науковою літературою і використання бібліотечних фондів;
- участь у конкурсах наукових робіт з окремих навчальних дисциплін, предметних олімпіадах, тематичних учнівських конференціях і семінарах;
- туристсько-краєзнавчі походи, екскурсії, профільні табори;
- благодійні акції, виставки;
- підготовка матеріалів до друку;
- участь у діяльності Малої академії наук [7].

На початку своєї наукової діяльності учні ознайомлюються з основними проблемами теми дослідницького проєкту. Для цього проводяться зустрічі з провідними вченими. Перед кожним керівником проєкту ставиться завдання –

навчити учня бачити наукову проблему і вміти її дослідити, використовуючи для цього різні форми і методи наукових досліджень.

Кожен учень отримує тему дослідження від наукового керівника, якого відвідує раз на тиждень. Програма науково-дослідницької роботи, завдання, етапи її виконання, звіт розміщують у “Щоденнику з науково-дослідної роботи учня”, яким він користується під час включення у науково-дослідну діяльність своєрідним звітом про науково-дослідницьку роботу старшокласників є традиційна щорічна загальношкільна науково-практична конференція. Її метою є перевірка можливостей учнів у науково-практичній діяльності, підведення підсумків науково-дослідної діяльності за поточний навчальний рік. Формами звіту за виконану науково-дослідницьку роботу є реферати, творчі роботи.

Важливими умовами реалізації науково-дослідницької роботи виступають:

- готовність наукових керівників до спілкування із старшокласниками із врахуванням їх вікових особливостей;
- використання електронно-обчислювальної техніки;
- виділення школярами вільного часу для занять у бібліотеці, консультацій у фахівців, роботі в архіві тощо;
- розвиток колективних та індивідуальних форм дослідницької роботи;
- створення у школі атмосфери змагання, творчості;
- включення учнів у взаємодію зі студентами, викладачами вузів і академічних установ.

Досвід ще раз засвідчив, що проектна навчально-дослідницька діяльність школярів, індивідуальні і групові форми досліджень (наукові семінари, конкурси науково-дослідницьких робіт, конференції, підготовка рефератів, творчі роботи) є серйозним фактором розвитку творчого потенціалу учнів. У процесі виконання дослідження в учнів розвивається науковий світогляд, самостійність і критичність мислення, вміння критично аналізувати, узагальнювати, систематизувати.

РОЗДІЛ II

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

2.1. Загальна схема наукового дослідження

Весь хід наукового дослідження можна приблизно зобразити у вигляді такої логічної схеми:

- 1) Обґрунтування актуальності обраної теми.
- 2) Постановка мети і конкретних завдань дослідження.
- 3) Визначення об'єкта і предмета дослідження.
- 4) Вибір методів (методики) проведення дослідження.
- 5) Опис процесу дослідження.
- 6) Обговорення результатів дослідження.
- 7) Формулювання висновків і оцінка одержаних результатів.

Обґрунтування актуальності обраної теми — початковий етап будьякого дослідження. Поняття "актуальність" має особливе значення, адже те, як автор уміє обрати тему і наскільки правильно він цю тему розуміє й оцінює з точки зору своєчасності та соціальної значущості, характеризує його наукову зрілість і підготовленість. Що ж таке актуальність, або "кому це потрібно?". Чи інакше - "Якій галузі виробництва або знань і для чого необхідні запропоновані наукові результати?". Висвітлення актуальності не повинно бути багатослівним. Досить кількома реченнями висловити головне - сутність проблеми, з чого й випливає актуальність теми. Проблема завжди виникає тоді, коли старе знання вже виявило свою неспроможність, а нове ще не набуло розвинутої форми. Таким чином, проблема в науці - це суперечлива ситуація, котра вимагає свого вирішення. Така ситуація найчастіше виникає в результаті відкриття нових фактів, які явно не вкладаються у рамки колишніх теоретичних уявлень, тобто коли жодна з теорій не може пояснити щойно виявлені факти. Правильна постановка та ясне формулювання нових проблем часом має не менше значення, ніж їх вирішення. По суті, саме вибір проблеми, якщо не цілком, то дуже великою мірою визначає як стратегію дослідження взагалі, так і напрямок

наукового пошуку зокрема. Не випадково вважається, що сформулювати наукову проблему - означає показати вміння відокремити головне від другорядного, виявити те, що вже відомо і що поки невідомо науці з предмету дослідження.

Від доведення актуальності обраної теми логічно перейти до формулювання мети дослідження, а також вказати конкретні завдання, які мають бути вирішені відповідно до цієї мети. Це звичайно робиться у формі перерахування (вивчити..., описати..., встановити..., вияснити..., вивести формулу... і т.ін.). Формулювання цих завдань необхідно робити якомога ретельніше, оскільки опис їх вирішення складатиме зміст розділів дослідної роботи. Це важливо також і тому, що назви таких розділів з'являються саме з формулювання завдань дослідження.

Надалі формулюються об'єкт і предмет дослідження. Об'єкт - це процес або явище, що породжують проблемну ситуацію і обрані для вивчення. Предмет міститься в межах об'єкта. Об'єкт і предмет дослідження як категорії наукового процесу співвідносяться між собою як загальне і часткове. В об'єкті виділяється та його частина, котра є предметом дослідження. Саме на нього і спрямована основна увага дослідника, саме предмет дослідження визначає тему роботи, яка виноситься на титульний аркуш як заголовок.

Дуже важливим етапом наукової праці є вибір методів дослідження - інструменту отримання фактичного матеріалу і необхідної умови досягнення поставленої в роботі мети. Опис процесу дослідження - основна частина наукової роботи, де висвітлюються методика і техніка дослідження з використанням логічних законів і правил.

Дуже важливий етап ходу наукового дослідження - обговорення його результатів на засіданнях наукових семінарів, під час проведення науково-практичних конференцій з попередньою оцінкою теоретичної та практичної цінності роботи, що є першим колективним відзивом.

Заключним етапом ходу наукового дослідження є висновки, котрі містять те нове і суттєве, що складає наукові і практичні результати проведеної науково-дослідної роботи. Науковий результат - це знання, відповідні вимогам новизни, достовірності і практичної цінності. Науковий результат, як правило, -

творчий продукт. Сутність наукового результату формулюється у висновках. Формулювання сутності повинне бути коротким, зрозумілим, конкретним, без загальних слів і термінів, які потребують додаткового пояснення. Наукові результати можна поділити на два види: теоретико-методологічні (для глибоких теоретичних досліджень), у тому числі: концепція, гіпотеза, класифікація, закон, метод; та інструментальні (для прикладних та емпіричних досліджень), зокрема: спосіб, технологія, методика, алгоритм, речовина. Зрозуміло, що учнівській науковій роботі відповідає рівень прикладних та емпіричних досліджень.

2.2. Основні вимоги до учнівських робіт МАН

2.2.1. Загальні положення

1. На Конкурс подаються дослідницькі роботи (далі – роботи) проблемно-пошукового характеру, які відображають методологію, процес, результати власного дослідницького проєкту та відповідають віковим інтересам і пізнавальним можливостям учасників Конкурсу. Тематика проєктів (відповідно, і робіт) має відповідати напрямам наукових секцій наукових відділень Малої академії наук України.
2. Проєкт має ґрунтуватися на певних науковій та експериментальній базах, містити дані особисто проведених дослідів, спостережень чи пошукової роботи; результати їх опрацювання, аналізу та узагальнення; посилання на відповідні наукові джерела; відображати власну позицію дослідника. У проєкті мають бути чітко визначені: мета, об'єкт і предмет дослідження, завдання, методи дослідження, відмінність та перевага запропонованих підходів і результатів. Зміст і результати досліджень викладаються стисло, логічно, грамотно й аргументовано, без загальних слів і міркувань, бездоказових тверджень, тавтології. Назва проєкту має бути стислою і відповідати суті наукової проблеми (завдання), що вирішується.
3. До роботи мають бути додані відгуки наукового керівника і рецензія фахівця у відповідній галузі (досвідченого педагогічного, наукового чи

науково-педагогічного працівника). Достовірність наведених у проєкті результатів підтверджується у відгуку науковим керівником.

4. Робота оформлюється у двох примірниках: один використовується журі під час заочного оцінювання, другий – учасником під час Конкурсу. Обидва примірники роботи мають бути ідентичними.
5. До розгляду не приймаються проєкти (роботи):
 - тема та зміст яких не відповідають профілю наукової секції;
 - які були представлені в попередні роки і не мають суттєвого доопрацювання;
 - які містять плагіат або інші випадки порушення академічної доброчесності;
 - без самостійного дослідження, опрацювання джерел і власних висновків з обраної тематики;
 - без принаймні одного з необхідних структурних елементів роботи, передбачених розділом II цих правил, відредагованих та оформлених відповідно до цих вимог.

Автори таких робіт після заочного оцінювання дослідницької роботи отримують відповідну рецензію і до подальшої участі в Конкурсі не допускаються.

2.2.2. Структура роботи

Робота має бути побудована за певною структурою. Основними складовими структури роботи є такі:

- титульний аркуш;
- анотація;
- зміст;
- перелік умовних позначень, символів, скорочень, термінів (за необхідності);
- вступ;
- основна частина;
- висновки;
- список використаних джерел;
- додатки (за необхідності).

2.2.3. Вимоги до змісту роботи

1. Титульний аркуш є першою сторінкою роботи, що заповнюється за зразком, наведеним у [додатку 3](#).
2. Анотація є узагальненим коротким викладом основного змісту роботи. В анотації (текст обсягом до однієї сторінки) подається стисла характеристика змісту роботи з визначенням основної мети, актуальності та завдань наукового дослідження. Також у них зазначаються висновки й отримані результати проведеної роботи, ключові слова. Сукупність ключових слів має відповідати основному змісту роботи, відображати тематику дослідження. Кількість ключових слів становить від п'яти до десяти. Ключові слова подаються в називному відмінку, друкуються в рядок через кому наприкінці анотації. У заголовку анотації наводяться такі дані: назва роботи; прізвище, ім'я, по батькові автора; назва територіального відділення Малої академії наук України; назва закладу позашкільної освіти; назва закладу освіти; клас (курс); назва населеного пункту; прізвище, ім'я, по батькові, посада (за наявності – науковий ступінь, вчене звання) наукового керівника.
3. Зміст подається на початку роботи. Він містить назву та номери початкових сторінок усіх розділів, підрозділів та пунктів (якщо вони мають заголовок), зокрема вступу, висновків до розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел тощо.
4. Якщо в роботі використано специфічну термінологію, а також маловідомі скорочення, нові символи, позначення тощо, то їх перелік подається у вигляді окремого списку, який розміщується перед вступом. Перелік має розміщуватися двома стовпчиками: у лівому в алфавітному порядку наводяться умовні позначення, символи, одиниці скорочення або терміни; у правому – їх детальне розшифрування. Якщо в роботі спеціальні терміни, скорочення, символи, позначення тощо повторюються менше трьох разів, перелік не складається, а їх розшифрування наводиться в тексті при першому згадуванні.
5. У вступі коротко обґрунтовуються актуальність і доцільність обраної теми, акцентується сутність досліджуваної проблеми; формулюються мета

роботи, зміст поставлених завдань, об'єкт і предмет дослідження; подаються перелік використаних методів дослідження, характеристика проєкту (теоретична/прикладна); вказуються наукові положення, запропоновані учасником особисто, відмінність отриманих результатів від відомих раніше; повідомляється про наукове використання результатів досліджень або подаються рекомендації щодо їх використання, для прикладних робіт повідомляється про прикладну цінність отриманих результатів. У разі використання в роботі ідей або розробок, що належать співавторам, слід вказати на цей факт і зазначити конкретний особистий внесок учасника. Також зазначаються відомості про публікації за матеріалами проєкту та апробацію результатів дослідження (за наявності). Орієнтовний обсяг вступу – 2-3 сторінки.

6. Основна частина роботи складається з розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів. Кожний розділ розпочинається з нової сторінки. Основному тексту розділу може передувати коротка передмова з описом обраного напрямку дослідження й обґрунтуванням застосованих методів досліджень. У кінці кожного розділу формулюються висновки зі стислим викладенням наведених у розділі наукових і практичних результатів, що дає змогу звільнити основні висновки від другорядних подробиць. В основній частині роботи наводяться характеристика джерел, використаних для написання роботи, та короткий огляд літератури за тематикою дослідження, включаючи міжнародні й вітчизняні наукові публікації за темою останніх років, окреслюються основні етапи наукової думки за визначеною проблемою, вказуються питання, які залишилися невирішеними; обґрунтовується вибір напрямку досліджень, наводяться методика та техніка дослідження; подаються відомості про обсяг дослідження; викладаються, аналізуються та узагальнюються отримані результати, подається їх оцінка. Зміст основної частини має відповідати темі роботи і повністю її розкривати.
7. Висновки мають містити стислий виклад результатів вирішення наукової проблеми і поставлених завдань, зроблених у процесі аналізу обраного матеріалу, оцінок та узагальнень. Необхідно наголосити на їх самостійності, теоретичному та (або) прикладному значенні, акцентувавши увагу на кількісних і якісних показниках отриманих результатів, обґрунтувати

достовірність результатів і надати рекомендації щодо їх використання. Список використаних джерел – елемент бібліографічного апарату, який містить бібліографічні описи використаних джерел.

2.3. З досвіду науково-дослідницької діяльності МАН

На сторінках 15-49 даного методичного посібника розміщено матеріали науково-дослідницького проєкту – призера Всеукраїнського учнівського конкурсу-захисту наукових робіт МАН -2021 року Литвиненка Дмитра, учня Опорного закладу «Вовчицький ліцей».

Міністерство освіти і науки України
Департамент освіти і науки Полтавської облдержадміністрації
Полтавське територіальне відділення МАН України
Комунальний заклад Полтавської обласної ради
«Полтавська обласна Мала академія наук учнівської молоді»

Відділення технічних наук

**Секція: авіа- та ракетобудування,
машинобудування і робототехніка**

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ВІД ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ГВИНТО-МОТОРНОЇ ГРУПИ

Роботу виконав:

Литвиненко Дмитро Ігорович,
учень 11 класу опорного закладу «Вовчицький ліцей імені В.Ф.Мицика Лубенської міської ради Лубенського району Полтавської області»

Науковий керівник:

Костюк Таміла Леонідівна,
учитель математики опорного закладу «Вовчицький ліцей імені В.Ф.Мицика Лубенської міської ради Лубенського району Полтавської області»

Полтава – 2021

АНОТАЦІЯ

науково-дослідницької роботи

«Залежність енергоефективності електродвигуна безпілотного літального апарата від зміни параметрів гвинто-моторної групи»

Автор: Литвиненко Дмитро Ігорович, учень 11 класу опорного закладу «Вовчицький ліцей імені В.Ф.Мицика Лубенської міської ради Лубенського району Полтавської області»

Науковий керівник: Костюк Таміла Леонідівна, учитель математики опорного закладу «Вовчицький ліцей імені В.Ф.Мицика Лубенської міської ради Лубенського району Полтавської області»

У даній науково-дослідницькій роботі було розглянуто і проаналізовано аеродинамічні характеристики 7 квадрокоптерів, виготовлених самостійно, та практично визначено оптимальні параметри устаткування для швидкісного квадрокоптера.

Для дослідження змін у функціональній спроможності квадрокоптера при застосуванні різних комплектацій елементів, було виготовлено нове устаткування: стенд для визначення сили тяги квадрокоптера. Із застосуванням стенда проведено дослідження характеристик 7 різних гвинто-моторних груп. Визначено оптимальні співвідношення між гвинтом і масою квадрокоптера, які впливають на швидкість і час польоту літального апарату. На основі аналізу та досліджень кількох моделей квадрокоптерів обґрунтовано особливості та конструктивну конфігурацію нової моделі дрона. Результат досліджень реалізовано практично: розроблено удосконалену модель швидкісного квадрокоптера. Дана робота може бути застосована як у цивільній сфері, так і у військовій галузі.

Структура роботи складається зі вступу, 3 розділів, 6 підрозділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи 32 сторінки.

Ключові слова: квадрокоптер, безпілотний літальний апарат, дрон, регулятор, крен, тангаж, рискання, польотний контролер, аеродинаміка.

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати є сектором авіації, який розвивається дуже швидко і має великий потенціал для зростання. Особливо швидко розвивається сектор невеликих дронів.

Створення та використання безпілотних літальних апаратів є вагомим у сфері інтелектуальних досягнень. Інновації використані в усіх елементах цих пристроїв: від сучасних композитних матеріалів до найновішого навігаційного обладнання. Ще зовсім недавно літаючі в небі квадрокоптери здавалися всього лише дитячою забавою, іграшкою, а сьогодні ми часто вважаємо їх єдиним засобом, спроможним допомогти людям у складних ситуаціях.

Так, технології з використанням квадрокоптерів застосовуються в агрогосподарствах для точного, своєчасного і ефективного внесення добрив та пестицидів, для інспектування безпеки інфраструктурних об'єктів, таких як залізничні колії, дамби, канали, лінії електропередач, трубопроводи, автодороги. Впроваджуються технології для попередження катастроф та пом'якшення їх наслідків, наприклад, об'льоти затоплених територій та підтримка пожежогасіння.

Актуальність теми зумовлена інноваційним розвитком галузі безпілотних літальних апаратів і полягає в їх застосуванні для моніторингу природних ресурсів, охорони навколишнього середовища, досліджень поведінки диких тварин, шляхів їх міграції, захисту місць поселення живих істот, які знаходяться на межі зникнення, що може забезпечити їх від загибелі, для атмосферних досліджень, створення фільмів про живу природу, фотометрії фасадів споруд, інспектування об'єктів, у сфері медіа та розваг, спортивній фотографії.

На рубежі ХХІ століття робототехніка підійшла до наступного етапу свого розвитку – створення інтелектуальних роботів. Інтелектуальний робот - це робот конкретного призначення, в основних функціональних системах якого використовуються методи штучного інтелекту, що дозволяє розширити сферу застосування робототехніки практично на всі області людської діяльності.

Сьогодні керування квадрокоптером здійснюється у напівавтоматичному режимі, а інженери-робототехніки, авіаконструктори працюють над розробкою автоматизованого дрона, який вміє набувати різноманітних аеродинамічних конфігурацій, залежно від того, що йому треба зробити, та адаптується до зміни центру ваги у режимі реального часу. Це необхідно для участі у рятувальних операціях.

У майбутньому дрони могли б піднімати в атмосферу гігантські вітряні турбіни для продукування «зеленої» електроенергії. З іншого боку інженери працюють над мікро-

дронами, що могли б боротися з локальними витоками газу та хімічних речовин, а також які будуть запрограмовані так, щоб діяти як бджоли для штучного запилення рослин. [2].

У процесі конструювання нових безпілотних літальних апаратів існує необхідність використання аеродинамічного аналізу моделі, визначення силової схеми квадрокоптера, встановлення динаміки руху в просторі об'єкта. Тому **мета роботи** полягає у дослідженні залежності енергоефективності двигуна літального апарата від параметрів устаткування та визначенні оптимальних характеристик для розробки швидкісного квадрокоптера. План проєкту передбачає розробку моделі дрона, удосконаленої в результаті практичного застосування опрацьованих даних вимірювань, які одержані в процесі проведеного фізичного експерименту.

Предметом дослідження є 7 квадрокоптерів, виготовлених самостійно.

Об'єктом дослідження є визначення оптимальних параметрів устаткування швидкісного квадрокоптера.

Завдання роботи:

- 1) Вивчити галузі використання безпілотних літальних апаратів.
- 2) Здійснити аналіз аеродинамічних характеристик квадрокоптера.
- 3) Дослідити різновиди гвинто-моторних груп: двигун, гвинт, регулятор.
- 4) На практиці визначити, які відбуваються зміни у функціональній спроможності квадрокоптера при застосуванні різних комплектацій елементів устаткування безпілотних літальних апаратів.
- 5) Проаналізувати закономірності у процесі зміни аеродинамічних властивостей безпілотних літальних апаратів від підбору параметрів обладнання.
- 6) Дослідити вплив різних комплектацій гвинто-моторної групи на енергоефективність двигуна безпілотних літальних апаратів.
- 7) Розробити удосконалену модель швидкісного квадрокоптера.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Роль безпілотних літальних апаратів у сучасних технологіях

Безпілотні літальні апарати (більшість людей називають їх «безпілотники» або «дрони») є сектором авіації, який розвивається дуже швидко і має великий потенціал для зростання. Термін «безпілотний літальний апарат» включає як великі літаки, аналогічні за розміром і складністю пілотованому літаку, так і невеликі електронні пристрої для персонального використання. Особливо швидко розвивається сектор невеликих квадрокоптерів.

У квітні 2014 року Європейська Комісія прийняла звернення до Європейського Парламенту та Ради «A new era for aviation. Opening the aviation market to the civil use of remotely piloted aircraft systems in a safe and sustainable manner» [1]. Як сказано в цьому зверненні, дистанційно керовані авіаційні системи (RPAS) зможуть запропонувати «міриади нових послуг», значно змінюючи наше щоденне життя. Як технології інтернету на початку дев'яностих дали початок багатьом різноманітним застосуванням, RPAS технології мають привести в найближчі роки до розвитку широкого різноманіття послуг, особливо в поєднанні з іншими технологіями, такими як точне позиціонування за допомогою супутникової системи. Дистанційно керовані авіаційні системи у поєднанні з телекомунікаційними системами – для попередження та пом'якшення наслідків природних катастроф, для динамічного збільшення пропускнуої здатності комунікаційних мереж. Незважаючи на те, що точну природу і обсяг потенціального застосування RPAS наразі важко передбачити, очікується, що промисловість зможе генерувати достатні прибутки для швидкого розвитку цього нового напрямку.

Сьогодні технології з використанням дронів застосовуються в агрогосподарствах для чіткого і ефективного внесення добрив та пестицидів. В Європі дрони застосовуються для інспектування безпеки інфраструктурних об'єктів, таких як залізничні колії, дамби, канали, лінії електропередач, трубопроводи, автодороги. Впроваджуються технології попередження катастроф та пом'якшення їх наслідків, наприклад, обльоти затоплених територій та підтримка пожежогасіння. Також застосування дронів актуальне для моніторингу природних ресурсів, охорони оточуючого середовища, атмосферних досліджень, сфери медіа та розваг, спортивної фотографії, створення фільмів про живу природу, полювання та моніторингу дотримання правил мисливцями, досліджень поведінки диких тварин, шляхів їх міграції, захисту місць поселення живих істот, які знаходяться на межі зникнення, що може забезпечити їх від загибелі.

На рубежі XXI століття робототехніка підійшла до наступного етапу свого розвитку – створенню інтелектуальних роботів. Інтелектуальний робот - це робот конкретного призначення, в основних функціональних системах якого використовуються методи штучного інтелекту, що дозволяє розширити сферу застосування робототехніки практично на всі області людської діяльності. [3].

Сучасний дрон уміє набувати різноманітних конфігурацій, залежно від того, що йому треба зробити у польових умовах та адаптується до зміни центру ваги у режимі реального часу. Такі властивості розроблені спеціально для участі у рятувальних операціях.

Дрони включають в себе багато різних типів літальних апаратів, що мають підйомну силу від кількох грамів до понад 10 тонн, характеризуються швидкісними показниками від зависання на місці до швидкості понад 1000 км/год, можуть проводити в повітрі від кількох хвилин до місяців, з точки зору технології підймання вони можуть бути роторними, з фіксованим крилом або легші за повітря.

Окрім виробників та системних інтеграторів, індустрія дронів також включає широку мережу поставок різноманітних пристроїв та технологій (польотні контролери, засоби комунікації, двигуни, джерела живлення, сенсори, прилади телеметрії, тощо).

Дрони – це зростаючий ринок, що створює робочі місця і позитивно впливає на зростання економіки. Розвиток технологій RPAS буде ключовим для майбутньої конкурентоздатності Європейської та Української авіаційної промисловості. На сьогодні США та Ізраїль глобально домінують у цьому секторі промисловості, базуючись на досвіді будівництва великих військових RPAS . Інші країни, такі як Бразилія, Китай, Індія та Росія також демонструють потенціал стати сильними конкурентами.

Точні масштаби потенційного ринку БПЛА важко передбачити. Очікується, що глобальний бюджет на розробку та придбання БПЛА, враховуючи військові та державні закупівлі виросте з теперішніх більш ніж 5 млрд. дол. до понад 11,6 млрд. дол. у 2023 році. У 2018 році глобальні статистичні дані показали існування 1708 конструкцій дронів, виготовлених 471 виробником. Ринок розвивається надзвичайно стрімко. Так, кількість операторів БПЛА в Японії зросла з 18 осіб у 1993 році до близько 14000 у 2005 році. Головним рушієм цього росту було використання квадрокоптерів у сільськогосподарській галузі.

Зріст сфер застосування дронів спричиняє значний ріст робочих місць. У Сполучених Штатах прогнозується створення 100 000 робочих місць до 2025 року. У Європі прогнозується створення 150 000 робочих місць до 2050 року, не рахуючи безпосередніх операторів дронів.

1.2. Класифікація безпілотних літальних апаратів

1.2.1 Різновиди дронів

Дрони стають реальністю і є комерційно доступними. Ринок дронів дає реальну можливість створення робочих місць, є джерелом інновацій та економічного зростання в наступні роки. Також вони несуть нові виклики, пов'язані з безпекою та повагою прав громадян. Необхідне вдосконалення законодавства, а також зусилля з розробки та впровадження технологій для того, щоб інтегрувати дрони у загальний простір цивільної авіації та підвищити рівень упевненості у безпеці та дотриманні прав приватності.

Враховуючи різноманіття безпілотних літальних апаратів, важливою є їх класифікація. На основі узагальнення відомих класифікацій та тактико-технічних характеристик існуючих безпілотних літальних апаратів запропоновано їхню класифікацію за такими основними ознаками: використання; тип системи керування; правила польоту; клас; тип; тип крила; спосіб зльоту/посадки; тип двигуна; паливна система; тип паливного бака; кількість використань; категорія (з урахуванням маси і максимальної дальності дії); радіус дії; висота; функціональне призначення.

У цій роботі будуть розглядатися безпілотні літальні апарати типу «коптер». Коптери класифікуються за кількістю приводних двигунів. Існують три-, квадро-, гексо-, окто- та мультикоптери (рис. 1.1).



Рисунок 1.1. Квадрокоптер, гексокоптер та октокоптер

Найбільш поширеними коптерами для розваг та аматорської відеозйомки є квадрокоптери. Також вони є найбільш поширеними для моделювання.

1.2.2. Серійні моделі безпілотних літальних апаратів для застосування у цивільному секторі

Спектр застосування безпілотних літальних апаратів у цивільному секторі не обмежений, але при нинішньому стані правової бази щодо використання повітряного простору виконання польотів ускладнене. В інтересах народного господарства квадрокоптери можуть застосовуватися у таких сферах:

- 1) ведення пошукових робіт;
- 2) виконання геологічної розвідки;
- 3) аерозйомка місцевості;
- 4) виконання авіаційних хімічних робіт;
- 5) моніторинг територій і об'єктів;
- 6) ведення відеоспостереження. [5].

Для здійснення моніторингу наземних об'єктів найбільше підходять мультикоптери, які мають високу маневреність та керованість, просту конструкцію і можуть виконувати багато різних функцій, потребують досить простих навичок керування при відносно невисокій вартості. Поширені різні варіанти конструкцій квадрокоптерів. (Додаток В) Максимальна кількість несучих гвинтів принципово не обмежується, але в реалії обмежується вісьмома силовими двигунами з міркування оптимального використання живлення бортовими пристроями та гвинтомоторною групою [9].

Чим більше двигунів, тим більше живлення потребує апарат і тим більша повинна бути ємність батарей. Але чим більше двигунів, тим більше вантажопідйомність апарату та менше польотний час і тим меншу дальність може подолати безпілотник. У той же час, чим більше обертів двигунів в одиницю часу, тим більше вантажопідйомність і тим вище може піднятися дрон. На противагу останнього, чим більше двигунів, тим складніше керування апаратом, збільшуються його габарити і, як наслідок, збільшується «парусність». Пориви вітру на висоті можуть частіше перевертати літальний апарат, «здувати» його з курсу і для підтримки заданого напрямку польоту буде витрачатися більше живлення. Для мультикоптерів важливою характеристикою є кількість гвинтів. Вважалося, що кількість гвинтів впливає на стабільність польоту. Так, коптери з 8-ма гвинтами літали набагато стабільніше 4-х і 6-ти гвинтових, але на сьогоднішній день, завдяки розвитку алгоритмів польоту, всі коптери літають однаково стабільно, навіть у разі відмови одного з гвинтів. Енергетичні причини відмов у роботі безпілотних літальних апаратів є найбільш поширеними. (Додаток Б). Більшість моделей безпілотних літальних апаратів використовують електродвигуни. Характеристики двигуна відповідають за максимальну

дальність і час польоту. Електродвигуни живляться від акумуляторних батарей різного типу і залежать від розмірів. Компактні моделі можуть провести в повітрі 40 хвилин, а великі моделі до 4 годин, долаючи відстань до 300 км. Максимальна, середня і мінімальна швидкість впливають на можливість використання квадрокоптерів у вітряну погоду і на продуктивність зйомки. Середня швидкість невеликих моделей становить близько 50-60 км/год., швидкість більших моделей становить близько 100 км/год. Обмеження використання літальних апаратів за швидкістю вітру при старті і посадці в середньому складають близько 10 м/с.

Для зв'язку із безпілотними літальними апаратами під час польоту використовуються радіоканали. Частоти таких каналів варіюють від 433 МГц до 2,4 ГГц. Іноді за допомогою радіоканалу передають відео та фотоматеріали, отримані під час зйомки. Розмір і кількість антен, їх конструкція впливають на аеродинаміку, в першу чергу для платформи тактичної підтримки. Тому основним критерієм вибору схеми безпілотного літального апарату і платформи тактичної підтримки повинні бути перелік їх функцій і завдань, що вони повинні виконувати, дальність і висота польотів, а також вимоги до вантажопідйомності корисного вантажу та можливого бортового обладнання.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

2.1 Ідентифікація аеродинамічних характеристик квадрокоптера

Квадрокоптер – це безпілотний літальний апарат – платформа з чотирма роторами, одна пара обертається за годинниковою стрілкою, друга проти годинникової стрілки. У порівнянні з вертолітним типом, з кріпильними гвинтами, квадрокоптери мають ряд переваг: надійність і простота конструкції, велика стабільність, компактність і маневреність, мала вага та відносно вища швидкість руху. [4].

Аеродинамічний рух у тривимірному просторі дрон, як різновид гвинтокрилих літальних апаратів, здійснює шляхом зміни швидкості обертання роторів, що працюють парами.

У просторі квадрокоптер має шість ступенів свободи. Його рух описується шістьма параметрами. Адже, поступальний рух дрону як твердого тіла в просторі є рух його центру мас відносно Землі. Просторове положення квадрокоптера при поступальному русі відносно Землі повністю описується трьома параметрами: широтою, довготою і висотою. Але дрон здійснює відносно землі, крім поступального, також обертальний рух, що представляє собою рух навколо його центру мас. Таким чином, просторове положення квадрокоптера повністю описується шістьма параметрами: пройденою відстанню L , бічним відхиленням δ , висотою H , кутами рискання ψ , тангажу θ і крену φ . [13]. Розв'язок цих рівнянь визначає характер просторового руху квадрокоптера в будь-який момент часу. Але практично розв'язати ці рівняння Ньютона-Ейлера досить складно, навіть при застосуванні сучасних персональних комп'ютерів. (Додаток Є). Якщо за вихідний режим польоту взяти прямолінійний політ без ковзання і вважати відхилення параметрів руху від початкових даних невеликими, то завдяки симетрії квадрокоптера, систему шести рівнянь руху можна розділити на дві незалежні системи рівнянь з невідомим ступенем точності, які описують рух квадрокоптера в площині симетрії (повздовжній рух) і в двох інших площинах (бічний рух).

Мета аеродинамічного аналізу полягає у визначенні силової схеми квадрокоптера, вибору початку відліку руху об'єкта в просторі і розробці моделі динаміки квадрокоптера за допомогою диференціальних рівнянь.

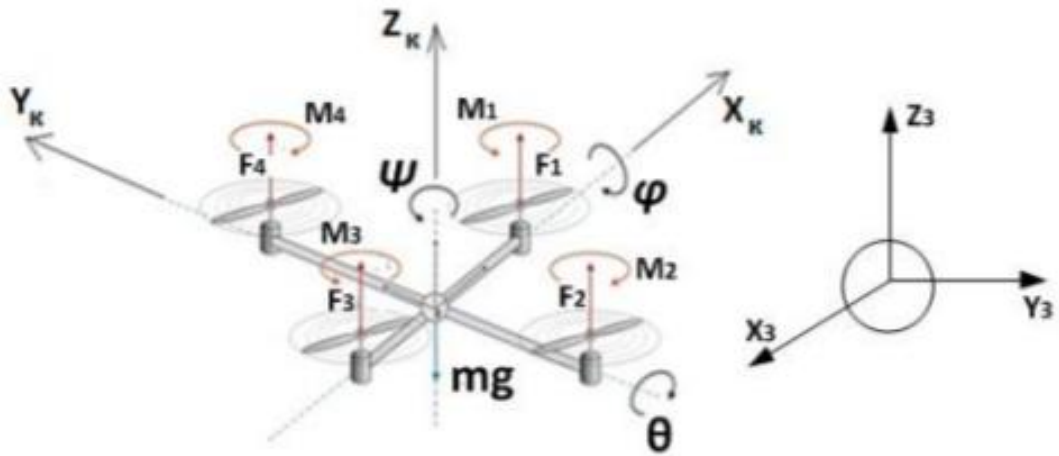


Рисунок 2.1. Система координат і початку відліку руху квадрокоптера

У теорії польоту (аеродинаміці) прийнято виділяти три кути, які задають орієнтацію і напрям вектора руху літального апарату. Ці три кути називають крен, тангаж і рискання. Крен (Roll) — це поворот апарату навколо його поздовжньої осі (осі, яка проходить від носа до хвоста). Тангаж (Pitch) — це поворот навколо поперечної осі (нахиляє носом, задирає хвіст). Рискання (Yaw) — поворот навколо вертикальної осі (рис.2.2), найбільше схожий на поворот у «наземному» розумінні. Та загальний газ (Throttle).

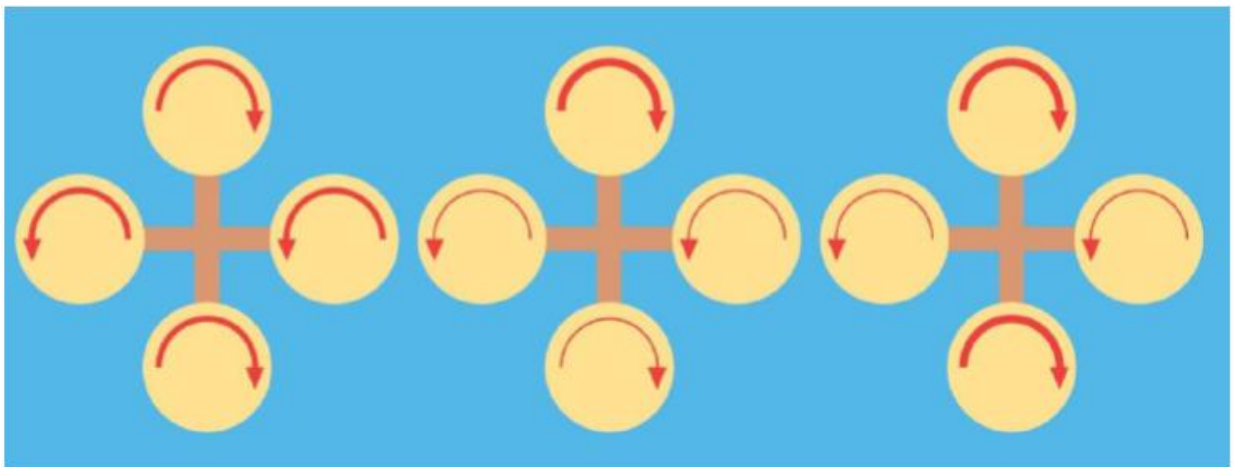


Рисунок 2.2. Основні маневри (зліва направо): рух по прямій, крен/тангаж та рискання

Квадрокоптер може літати тільки в чотирьох режимах: крен, тангаж, рискання і нависання. За допомогою законів аеродинаміки можна скласти узагальнені рівняння руху, які служать для опису математичної моделі польоту квадрокоптера. Аеродинамічний розрахунок заснований на двох теоріях: теорії моментів і теорії конструкції та дії гвинтів [5, 6, 9]. Теорія моментів моделює ротор як ідеальний двигун, обертання якого викликає постійну швидкість уздовж осі обертання без урахування тертя. Всі аеродинамічні сили і моменти, що діють на роторі визначаються за допомогою теорії дії гвинтів. Розглянемо аеродинамічну модель квадрокоптера: товщина диска нескінченно мала величина; вертикальна швидкість повітря постійна навколо ротора; повітря є ідеальним нестисливим

газом; ротори - жорсткі, сила, паралельна валу ротора, визначається як тяга ротора T , і сила, перпендикулярна осі ротора, визначається як сила T_c .

Діючі моменти на роторі є гальмівним M_T і рухомих M_P моментами. Оскільки розрахунок проводиться без урахування тертя, то можна припустити, що підйомна сила, що діє на гвинті, приблизно на порядок вище, ніж сили опору. На рис. 2.3 позначено аеродинамічні сили і моменти, що діють на роторі квадрокоптера. [9, 11].

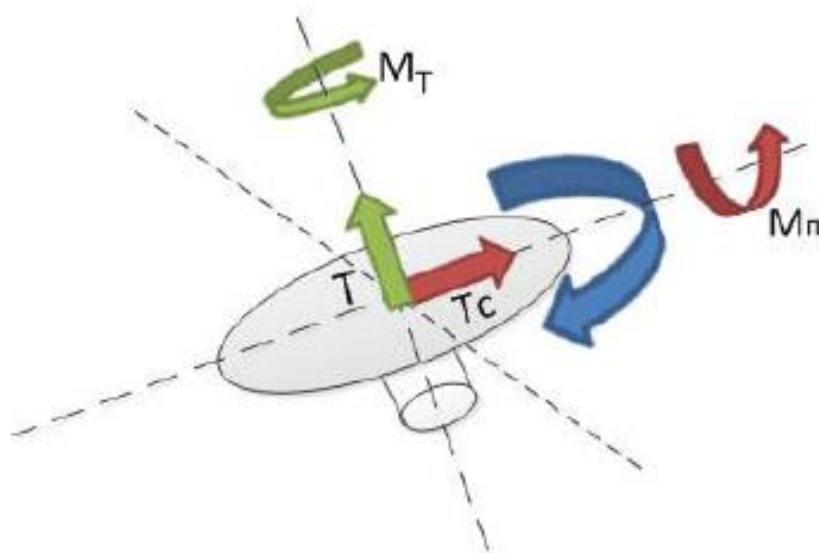


Рисунок 2.3. Аеродинамічні сили і моменти, що діють на роторі квадрокоптера

2.2 Складові квадрокоптерів

Польотом дрона безпосередньо керує польотний контролер. Існують десятки моделей популярних польотних контролерів різних виробників. Їх характеристики у кожній ційовій категорії загалом подібні, і вибір польотного контролера залежить від особистих уподобань конструктора дрона. Цінова шкала доступних на ринку польотних контролерів сягає від кількох десятків доларів до кількох тисяч доларів США [10].

До функцій польотного контролера відносяться:

- Стабілізація апарата в повітрі;
- Утримання висоти (за допомогою барометра) та позиції (за допомогою GPS);
- Автоматичний політ за заданими точками (опція);
- Передача на землю поточних параметрів польоту за допомогою модема або Bluetooth (опція)
- Забезпечення безпеки польоту (повернення в точку злету при втраті сигналу, автопосадка)
- Підключення додаткової периферії: OSD (накладання параметрів польоту на відео), світлодіодна індикація і т.д.

Кількість функцій залежить від наявності на борту коптера відповідної периферії, в дешевих контролерах ряд функцій може бути відсутнім.

Орієнтація квадрокоптера в просторі визначається та задається кутами тангажу, крену та рискання [9].

Політ квадрокоптера в необхідному напрямку досягається зміною цих трьох кутів. Наприклад, щоб летіти вперед квадрокоптер має нахилитися за рахунок того, що задні мотори крутяться трохи сильніше ніж передні.

Газ квадрокоптера – середнє арифметичне між швидкостями обертання всіх моторів. Чим більший газ – тим більша сумарна тяга моторів, тим сильніше вони тягнуть квадрокоптер вгору. Газ висіння – мінімальний рівень газу, що необхідний для того, аби квадрокоптер не втрачав висоту.

Щоб керувати квадрокоптером необхідно керувати газом, тангажем та рисканням. Їх називають каналами управління. Для повноцінного управління квадрокоптером, зі змінами режиму польоту, необхідний п'ятиканальний пульт управління. Для управління нахилом та повторотом камери на борту необхідно ще два канали (або окремий пульт для професійних систем відеозйомки).

Існує багато режимів польоту. Для їх реалізації застосовуються GPS, барометр та дальномір. В базовому режимі стабілізації (stab, stabilize) квадрокоптер тримає ті кути, які йому задаються з пульта, незалежно від зовнішніх факторів. У цьому режимі за відсутності вітру квадрокоптер може висіти майже на місці. Вітер доводиться компенсувати оператору.

Напряом обертання гвинтів вибирається не випадково. Якби всі двигуни обертались в одну сторону, квадрокоптер би обертався в іншу через створювані обертальні моменти. Тому одна пара протилежних гвинтів завжди обертається в одну сторону, а друга пара в іншу. Ефект виникнення обертальних моментів використовується, щоб міняти кут рискання: одна пара двигунів починає обертатися швидше другої і квадрокоптер обертається навколо вертикальної осі. (Додаток Д)

Швидкістю обертання двигунів керує польотний контролер.

Узагальненою задачею польотного контролера є кілька десятків разів на секунду виконати цикл управління, в який входить наступне: зчитування показів сенсорів, зчитування каналів управління, обробка інформації і видача управляючих сигналів моторам, щоб виконати команди оператора.

Різних видів сенсорів, які можна задіяти, дуже багато. Майже обов'язково у всіх квадрокоптерах застосовуються трьохосьовий гіроскоп та трьохосьовий акселерометр. Акселерометр вимірює прискорення, гіроскоп вимірює кутову швидкість. Завдяки їм польотний контролер визначає поточні кути тангажу, крену та рискання. Ці сенсори бувають умонтованими в польотний контролер, а бувають зовнішніми. Обрахування трьох кутів за показами сенсорів виконує окрема плата (MPU-6050). Вона передає на контролер значення кутів за протоколом i2c.

Контролер їх зчитує, обробляє разом із рештою даних і передає керуючі сигнали двигунам.

Двигуни на мультикоптерах споживають великі рівні струму, тому польотний контролер керує ними не напряму, а через спеціальні апаратні драйвери, що називаються регуляторами швидкості (ESC). Ці регулятори живляться від бортового акумулятора, управляючий сигнал отримують від контролера, а на виході мають по три проводи (А, В, С), які безпосередньо йдуть до двигунів (для кожного ротора – окремий регулятор).

Контролер програмно керує регуляторами. Найбільш поширені регулятори управляються за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ, PWM) сигналом прямокутної форми з мінімумом 0 Вольт і максимумом 3-5 Вольт.

Щоб дати команду мотору обертатися з максимальною швидкістю, контролер має відправляти імпульси тривалістю 2 мс, розмежовані логічним нулем тривалістю 10-20 мс. Тривалість імпульса в 1 мс відповідає зупинці мотора, 1,1 мс – 10% від максимальної швидкості, 1,2 мс – 20% і т.п. Тривалість нуля практично не грає ролі, важлива тільки тривалість самого імпульсу.

Значення діапазону регулювання від 1 до 2 мс не є універсальними, і в залежності від багатьох впливаючих факторів може виявитися, що на практиці діапазон регулювання знаходиться, наприклад, в межах 1,1 - 1,9 мс. Для того, щоб регулятор і контролер «розуміли» один одного, існує процедура калібрування.

У ході цієї процедури діапазони регуляторів змінюються і стають рівними діапазону контролера. Процедура зашита в програму кожного регулятора і включає в себе кілька простих кроків (процедура може відрізнитися в залежності від виробника):

- 1) Відімкнути живлення регулятора;
- 2) Зняти з двигуна гвинт;
- 3) Подати на вхід регулятора сигнал, що відповідає максимальній швидкості обертання;
- 4) Подати на регулятор живлення, гвинт при цьому має бути нерухомим;
- 5) Дочекатися звукового сигналу через 1-2 с.;
- 6) Подати на вхід регулятора сигнал, що відповідає мінімальній швидкості обертання;
- 7) Дочекатися звукового сигналу через 1-2 с.;
- 8) Відімкнути живлення регулятора.

Після цього в регулятор будуть занесені відповідні межі інтервалу. При намаганні злетіти з невідкаліброваними регуляторами наслідки можуть бути несподіваними, від неочікуваного ривка в довільному напрямку до повної нерухомості моторів.

ШИМ (PWM) з точно таким же принципом використовує і бортовий приймач.

Це невеликий пристрій, що отримує сигнали радіоуправління з землі і передає їх у польотний контролер. Найчастіше у польотному контролері для кожного каналу управління (газ, тангаж, крен і т.п.) є свій вхід, на який надходить ШИМ (PWM).

Логіка взаємодії проста, команда, наприклад «70% газ», безперервно йде з землі на приймач, де перетворюється в ШІМ і по окремому проводу надходить у польотний контролер. Аналогічно з тангажем, креном, ризканням.

Приймач і контролер також доведеться калібрувати, оскільки вони спілкуються за допомогою ШІМ. Контролер має підстроїтися під приймач. Процедура калібровки радіо, на відміну від калібровки регуляторів, пишеться як частина польотної програми. Загальний план калібрування такий:

- 1) Зняти пропеллери з моторів;
- 2) Перевести контролер в режим калібровки радіо;
- 3) Контролер запускає калібровку радіо на декілька десятків секунд;
- 4) За відведений час рухаємо всіма стіками пульта в усі сторони до упорів;
- 5) Контролер запам'ятовує максимуми і мінімуми для всіх каналів у внутрішню пам'ять. [9]

Таким чином, під час калібрування радіо польотний контролер запам'ятовує діапазони приймача по всіх каналах управління; під час калібрування регуляторів діапазон польотного контролера заноситься у всі регулятори.

Для польотного контролера необхідна ще одна програма – інтерфейс налаштування польотного контролера. Найчастіше це програма, яка з'єднується з польотним контролером по USB і дозволяє користувачу налаштовувати і перевіряти польотну програму, наприклад – запускати калібрування радіо, налаштовувати параметри стабілізації, перевіряти роботу датчиків, задавати маршрут польоту на карті, визначати поведінку мультикоптера при втраті сигналу і багато іншого.

У випадку незапланованого запуску моторів квадрокоптер може нанести оператору серйозні травми гвинтами, тому необхідно передбачити режими armed/disarmed. Стан квадрокоптера «disarmed» означає, що мотори відключені і навіть команда повного газу з пульта не має ніякого ефекту, хоча живлення подано. Стан «armed» квадрокоптера означає, що команди з пульта виконуються польотним контролером. В цьому стані квадрокоптери злітають, літають і сідають.

Квадрокоптер вмикається і повинен відразу потрапити в стан disarmed на той випадок, якщо неуважний пілот вмикає його, тримаючи стік газу на пультах не на нулі. Щоб перевести коптер в стан armed пілоту необхідно зробити передбачений програмно «жест» стіками пульта. Часто цим жестом є утримання лівого стіка в правому нижньому куті (газ = 0%, ризкання = 100%) протягом двох секунд. Після цього польотний контролер робить мінімальну самоперевірку і при її успішному проходженні переходить у режим armed (готовий до польоту). Іншим жестом (газ = 0%, ризкання = 0%) квадрокоптер «дизармиється». Ще один хороший захід безпеки – автодизарм, якщо газ був на нулі протягом 2-3 секунд.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ГВИНТО-МОТОРНОЇ ГРУПИ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОДВИГУНА БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА НА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ

3.1. Дослідження функціональної спроможності квадрокоптера при застосуванні різних комплектацій елементів устаткування

Для проведення експерименту були взяті зразки із різними характеристиками.

Перший квадрокоптер: рама 450 мм по діагоналі; мотори 2212; розміри статора-діаметр 22 мм і висота 12 мм; (920 kv) двигун безколекторний, трьохфазний. Використовуються неодимові магніти. Регулятори перетворюють з постійної напруги на змінну трьохфазну. Для цього квадрокоптера було використано регулятор 2-4 s, 30 ампер. (s) - це кількість послідовно з'єднаних акумуляторів. Середня напруга в ячейці 3.7 вольт, мінімальна напруга 3 вольти, максимальна 4.2 вольти. Акумулятор використовували 3s 8000 mAh 30 с. (с) – це ємність акумулятора в А/год помножена на кількість (с). Тепер можемо дізнатися, який струм може віддати акумулятор $30 \cdot 8 = 240$ А.

Гвинти для цих моторів можна використовувати різні від 2 лопастей до 3. Якщо 2 лопасті, тоді гвинт 10/4.5(inch). Більша ефективності в 2-х лопасного гвинта, але й менша тяга проти 3-х лопасного.

Польотний контролер використовував naza m lite з GPS. Польотний контролер потребує мінімум налаштувань ціна відповідна: від 3500 грн за комплект. GPS потрібний для утримання точки. Апаратура радіо керування 2.4 ГГц fly Sky i-6 має 6 каналів зв'язку.

Другий квадрокоптер: рама 210 мм по діагоналі; мотори 1806 2600 kv; регулятори 20 А 2-4s; акумулятор 3s 1500mAh 30с; гвинти 2-х лопасні 5.0/4.5; польотний контролер omnibus f4 pro v2 з прошивкою Cleanflight. Існує багато різних прошивок. Апаратура радіокерування 2.4 ГГц fly Sky i-6 має 6 каналів зв'язку.

Третій квадрокоптер: рама 250 мм діагональ; мотори 2205 2350 kv; регулятори 25 а 2-4s протокол dshot 600 протоколи бувають multishot, oneshot; акумулятор 4 s 1500mAh 75с; польотний контролер omnibus f4 pro v2 із прошивкою inav і GPS; гвинти 5.0/4.5, 3-х лопасні; апаратура frsky taranis Qx7 16 каналів 2.4ГГц. Відео передатчик 5.8ГГц 600міліват. Камера 600tvl.

Антенна «клевер» кругової поляризації (ще є лінійно-направленою). Підсилення 3dbi, в лінійній поляризації 1.5dbi. Це середнє значення підсилення для кругової від 3dbi, а в направленої від 9dbi. Відеосигнал спершу йде в польотник, там накладається OSD, це покази висоти, струму, напруги горизоннта, пройдена відстань, ємність яку затратив квадрокоптер, потім у відеопередатчик і в очки.

Четвертий квадрокоптер: рама 375 мм по діагоналі; мотори 2306 1700kv; регулятори 4 в 1 35a 3-6s dshot 600; акумулятор 4s 5000mAh 30с; польотний контролер matek f722-se;

гвинти 7.0/4.0 3-х лопасні або 8.0/4.0 2-х лопасні. Апаратура frsky taranis Qx7 16 каналів 2.4ГГц. Камера 1200tvl + запис відео на карточку в розширенні FullHD. Відеопередатчик Foxeer clear tx 800 міліват. Антена Foxeer Lollipop 3.2dbi

Щоб виготовити наступні два різнопланові квадрокоптери, в залежності від їх функціональних можливостей, відповідно, і сфер застосування, ми визначили їх відповідність таким критеріям: 1) для сільськогосподарських робіт; 2) для динамічних зйомок. Оскільки саме тип двигуна та напруга батареї живлення найбільше впливають на час польоту, то було використано літій-полімерні акумулятори 3S-4S, напруга в залежності від акумулятора 12.6-16.8 вольт. Час польоту квадрокоптерів відповідно до 6 хв, але швидкість 150 км/год, а іншого до 30 хв. із максимальною швидкістю 50 км/год!!! [11]

Розробка нової модифікованої моделі швидкісного квадрокоптера, удосконаленої в процесі проведених дослідів і є метою практичного фізичного експерименту.

У процесі підготовки фізичного експерименту було розроблено нове устаткування: стенд для визначення сили тяги квадрокоптера. Та 7 власних розробок – квадрокоптерів-роботів, які є предметом наукових досліджень і лабораторних випробувань. (Додаток А)

Зміст фізичного експерименту складається із сукупності дослідів, спрямованих на дослідження впливу параметрів силових установок на функціональні можливості безпілотних літальних апаратів типу «квадрокоптер». (рис. 3.1).

Цілеспрямоване, продумане спостереження за поведінкою ретельно підготовленої фізичної системи, становить суть експерименту. Дані вимірювань, які одержані в процесі проведеного фізичного експерименту, дали відповідь на поставлені завдання:

- 1) Як впливають різні гвинто-моторні групи на технічні можливості квадрокоптера?
- 2) Які відбуваються зміни у функціональній спроможності квадрокоптера при застосуванні різних акумуляторів?
- 3) Як змінюються аеродинамічні можливості квадрокоптерів при додатковому навантаженні?
- 4) Які оптимальні комплектації устаткування необхідні для удосконаленої швидкісної моделі дрона?



3.2. Аналіз результатів фізичного експерименту

Отримано сукупність результатів, які характеризують силові установки двигунів безпілотних літальних апаратів:

Гвинт (inch)	Напруга (В)	Струм (А)	Маса вантажу (г)	Напруга під навантаженням (В)	Ефективність (г/ват)	Потужність (ват)
1045	11.38	0.047	0	11.38	-	0.53
		2.057	100	11.00	4.41	22.627
		2.928	200	10.83	6.30	31.710
		4.021	300	10.62	7.02	42.703
		5.485	400	10.35	7.04	56.769
		7.248	500	10.01	6.89	72.552
		10.02	1000	9.56	10.43	95.791
	15.17	0.047	0	15.17	-	0.71
		1.435	100	14.81	4.70	21.25
		2.138	200	14.66	6.38	31.34
		2.645	300	14.59	7.77	38.59
		3.696	400	14.31	7.56	52.88
		5.341	500	13.95	6.71	74.50
		12.72	1000	12.24	6.42	155.69
1365	11.38	0.047	0	11.38	-	0.53
		1.031	100	11.15	8.70	11.49
		1.851	200	11.08	9.75	20.50
		3.681	300	10.76	7.57	39.60
		4.020	400	10.58	9.40	42.53
		5.463	500	10.28	8.90	56.15
		11.457	1000	9.15	9.53	104.83
	15.17	0.047	0	15.17	-	0.71
		0.838	100	14.93	7.99	12.51
		1.264	200	14.84	10.77	18.57
		1.985	300	14.64	10.32	29.06
		2.958	400	14.46	9.35	42.77
		3.651	500	14.29	9.58	52.17
		10.847	1000	12.65	7.23	138.18

Аналіз, обробка та співставлення даних, одержаних у результаті експерименту, практично показали, що з двох гвинтів використання 13/6.5(inch) є більш ефективним для сільськогосподарського квадрокоптера. Адже сила струму менша, відповідно час польоту

більший. А для швидкісного дрона більш пріоритетний менший гвинт: сила струму більша, швидкість більша, але менший час польоту на даній батареї.

Враховуючи практично визначені показники, здійснено підбір гвинто-моторної групи та комплектуючих і розроблено удосконалену модель швидкісного квадрокоптера (рис. 3.2).



Рисунок 3.2. Удосконалена модель швидкісного квадрокоптера

ВИСНОВКИ

Отже, підсумуємо основні результати роботи:

1. Досліджено вплив зміни параметрів гвинта на функціональні можливості квадрокоптера. **Ширина:** при збільшенні діаметра гвинта збільшується ефективність гвинто-моторної групи, але є максимальний діаметр гвинта для обраного двигуна, при якому ефективність різко падає. **Крок гвинта:** при збільшенні кроку зростає тяга, але й збільшується струм від акумулятора. При зменшенні кроку зменшується тяга, але ефективність гвинто-моторної групи квадрокоптера збільшується.
2. Встановлено технічні можливості гвинто-моторної групи літального апарату. При масі вантажу в 1000 г з гвинтами 13/6.5 (inch) та 10/4.5 (inch) струми від акумулятора є різними: в першому випадку 10.8 А, в іншому випадку 12.7 А.
3. При використанні гвинта 13/6.5 (inch) ми отримуємо більш ефективну силову установку, аніж із гвинтом 10/4.5 (inch). Різниця в 2 А є суттєвою для квадрокоптера. При повній масі квадрокоптера в 3.5 кг ми отримаємо економію в 8 А порівняно з гвинтами 10/4.5(inch). Ємність акумулятора 10 А/год, тобто можна розрахувати приблизний час польоту квадрокоптера, розділивши ємність акумулятора на весь струм квадрокоптера: $10/(10.8*4)=0.23$ годин переведемо в хвилини 13.8 хвилин.
4. Створено удосконалену модель швидкісного квадрокоптера, в якому було враховано результати експерименту і підібрано гвинти та двигуни для найбільшої швидкості та ефективності.
5. Опрацьовано сфери використання квадрокоптерів у різних галузях роботи. Майже в кожній галузі використовуються дрони, які частково або повністю замінюють людей у певних небезпечних випадках.
6. Удосконалена модель швидкісного квадрокоптера успішно апробована практично для виконання завдань у цивільній сфері. (Додаток Е).

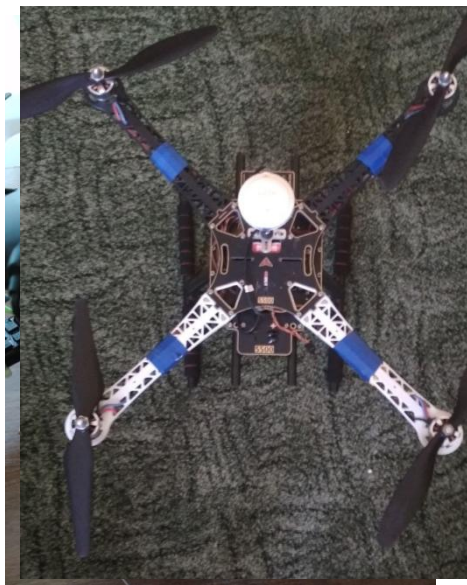
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL – EASA – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/Communication_Commission_Drones.pdf – Дата доступу: 09/09/2019.
2. <http://droneport.com.ua> – [Електронний ресурс] – Дата доступу: 17/02/2020
3. http://kafinf.tnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/12/проект_Робот-своїми-руками.pdf – Дата доступу: 26/06/2019.
4. Класифікація UVS International: <http://helpiks.org/6-70010.html>. – [Електронний ресурс] – Дата доступу: 17/02/2020
5. https://www.mooyo.ua/news/16_unikalnyh_sposobov_primeneniya_kvadrokov_terov.html– Дата доступу: 10/11/2019.
6. <https://madcap.com.ua/aksessuary/akkumulyatory-3/li-polli-ion/> – Дата доступу: 21/11/2019.
7. <http://drone-irk.ru/?p=19729>
8. Правила гарного дрону – Ахон – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ахон.partners/uk/uncategorized/the-rules-of-good-drone/> – Дата доступу: 19/10/2019.
9. https://www.npi-tu.ru/assets/files/full_text_diss/daher/Dissertaciya_Sajfeddin.pdf
10. <https://drongeek.ru/novichkam/chto-takoe-kvadrokopter> – Дата доступу: 17/11/2019.
11. Зинченко О.Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс] / О.Н. Зинченко. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=681>.
12. Яровий А. В. Вибір оптимальних моделей безпілотних літальних апаратів та систем управління для виконання задач щодо моніторингу наземних об'єктів. /А. Яровий // «Молодий вчений». – 2018. – Травень.(№ 5/57). – с. 191 – 195.
13. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25534/1/Nagaiko_magistr.pdf#page=50&zoom=100,72,604

Додаток А

Предмет досліджень: власні розробки квадрокоптери-роботи

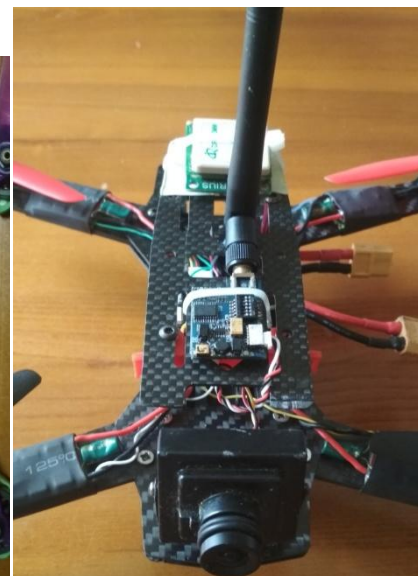
Модель 1



Модель 2



Модель 3



Модель 4



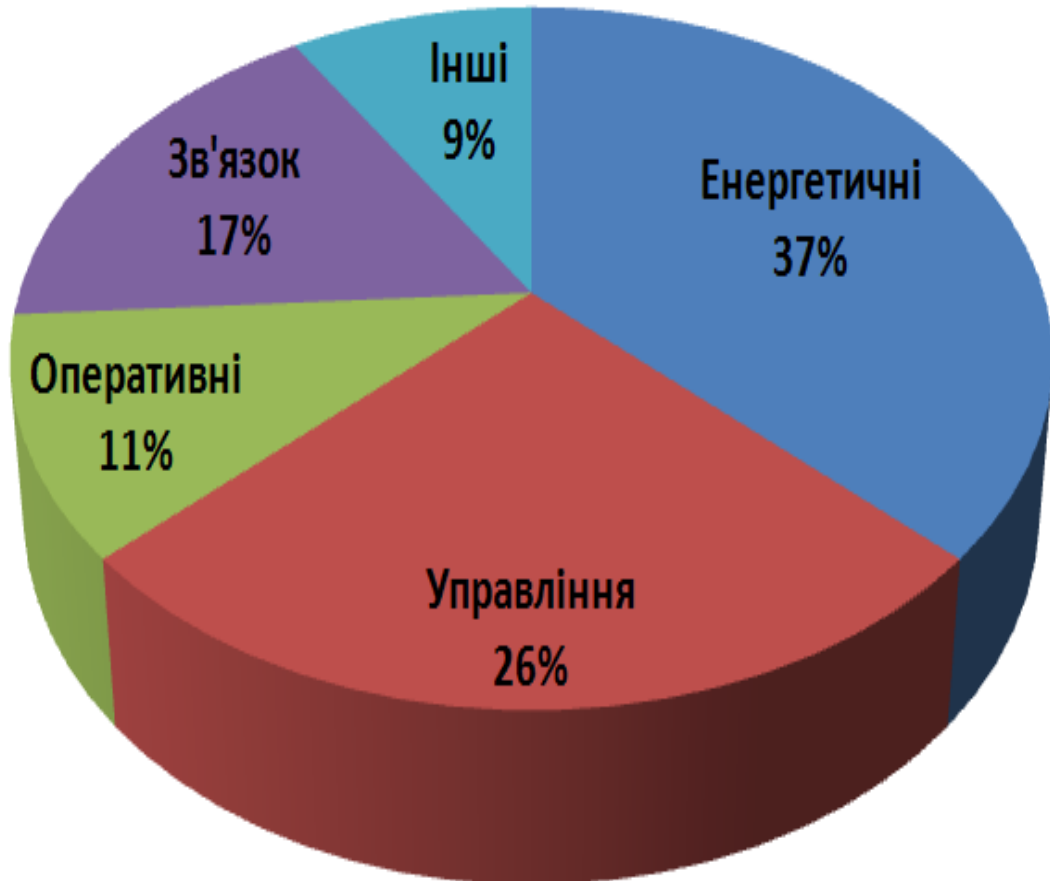
Модель 5



Модель 6

Додаток Б

Статистика причин відмов та аварій
військових безпілотних літальних апаратів у США



Додаток В
Приклади серійних моделей квадрокоптера

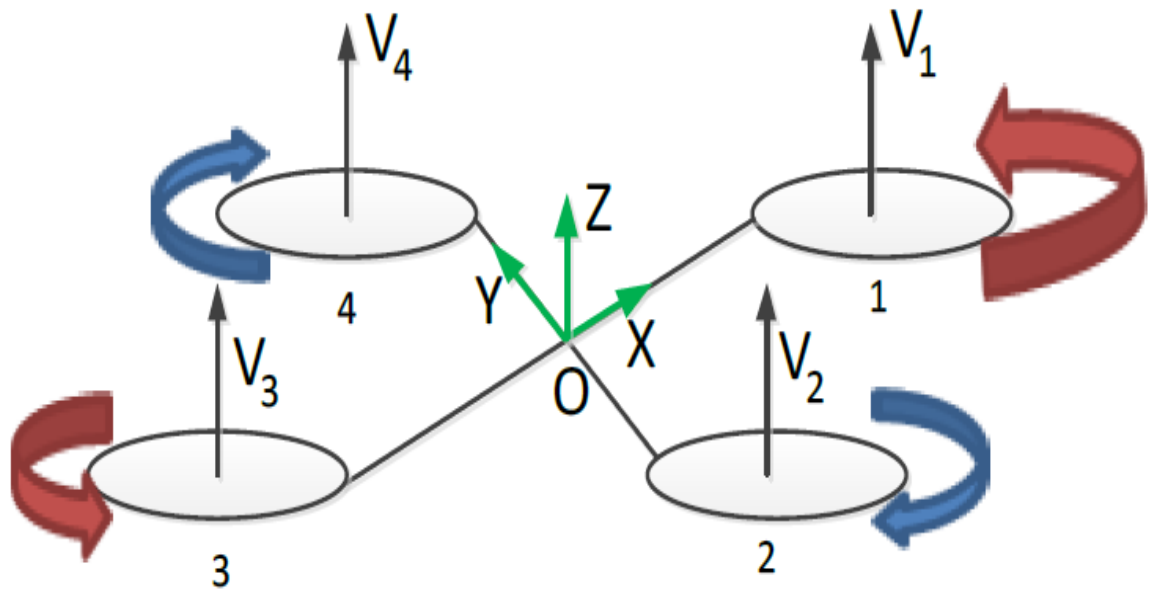


Приклади моделі квадрокоптера для цивільних задач моніторингу



Приклад гексакоптера класу «mini» із зовнішньо підвішеним вантажем

Додаток Д
Спрощена швидкісна схема квадрокоптера



Додаток Е
Апробація удосконаленої моделі швидкісного квадрокоптера для отримання
оперативної екологічної інформації



Фото річки Сулиця у с. Козубівка Лубенського району від 29.02.2020,
надані провідному гідрологу Полтавщини Смирновій Вірі Геннадіївні для досліджень
проблем малих рік Полтавщини

Електронний ресурс: <https://m.youtube.com/watch?feature=share&v=d2qliC9ONgo>

Додаток Є

Математична модель безпілотного літального апарату типу «Кадрокopter»[13] Модель Ньютона-Ейлера

БПЛА здійснює відносно землі, крім поступального, також обертальний рух, що представляє собою рух навколо його центру мас.

Таким чином, просторове положення дрону повністю описується шістьма параметрами: пройденою відстанню L , бічним відхиленням δ , висотою H , кутами ролування ψ , тангажу θ і крену φ .

Для переходу від однієї системи координат до іншої використовуються обертальні матриці. Процес обертання пояснюється за допомогою моделі Ньютона-Ейлера. Матриці R_X , R_Y та R_Z використовуються для визначення обертання дрону у фіксованій системі координат, що рухається в рухомій системі координат. Узагальнена матриця обертання представляється за допомогою рівняння:

$$R = R_X \cdot R_Y \cdot R_Z;$$

$$R = \begin{bmatrix} S_\theta S_\varphi S_\psi + C_\theta C_\psi & C_\varphi S_\psi & C_\theta S_\varphi S_\psi - S_\theta C_\psi \\ S_\theta S_\varphi C_\psi - C_\theta S_\psi & C_\theta C_\varphi & C_\theta S_\varphi C_\psi + S_\theta S_\psi \\ S_\theta C_\varphi & -S_\varphi & C_\theta C_\varphi \end{bmatrix}, \quad (5.1)$$

де R – матриця повороту навколо осі Z , $S = \sin$ – синус відповідного кута, $C = \cos$ – косинус відповідного кута.

$$R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_\varphi & S_\varphi \\ 0 & -S_\varphi & C_\varphi \end{bmatrix}; R_Y = \begin{bmatrix} C_\theta & 0 & -S_\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ S_\theta & 0 & C_\theta \end{bmatrix}; R_Z = \begin{bmatrix} C_\psi & S_\psi & 0 \\ -S_\psi & C_\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Отже, за допомогою R_X , R_Y та R_Z можна визначити рухи квадрокоптера по відношенню до землі в будь-який момент часу. Це допомагає стежити за правильністю роботи вимірювальних бортових систем БПЛА.

Матрицю перетворення кутових швидкостей з абсолютної системи координат в рухому позначимо за

$$W_\eta = \begin{bmatrix} 1 & S_\varphi T_\theta & C_\varphi T_\theta \\ 0 & C_\varphi & -S_\varphi \\ 0 & \frac{S_\psi}{C_\theta} & \frac{C_\psi}{C_\theta} \end{bmatrix}, \quad (5.2)$$

де $T_\theta = \tan(\theta)$. Матриця W_η обернена при $\theta \neq \frac{(2k-1)}{2}\varphi, k \in \mathbb{Z}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алфімов В., Соболевська Т. Науково-дослідницька робота – розвиток творчої особистості ліцеїста // Рідна школа - № 5 - 2000. – С.52-53.
2. Білоус Н. Розвиток творчих здібностей учнів // Рідна школа - № 2 - 2001. – С.51-52.
3. Волощук І. Не закопуйте таланти в землю // Рідна школа - № 1- 1998. – С.63.
4. Кисільова В.П., Олійник В.Ф. Формування в учнів готовності до науково-дослідницької діяльності // Єдність раціонального та емоційного-почуттєвого в освітньовиховних системах: Наук.-метод. зб. / І.А.Зязюн, І.Ф. Прокопенко, Н.Г.Ничкало та ін. – Харків, 1996. – С.343-345.
5. Кисільова В.П. Організація науково-дослідницької діяльності учнів профільних ліцеїв: Методичні рекомендації. – Кривий Ріг: 2001. – С.69.
6. Кисільова В.П. Формування творчої особистості учнів профільного ліцею у процесі навчання: Автореф. дис... канд. пед. наук. – К., 2001. – С.22. 15.
7. Ковальчук В.А. Методичні основи розв'язання соціально-педагогічних задач у процесі підготовки майбутніх учителів // Вісник Житомирського педагогічного університету. Випуск 12. – Житомир, 2003.– С.70-73.
8. Психологія праці та професійної підготовки особистості: Навч. посібник / За ред. П.С.Перепелиці, В.В.Рибалки. – Хмельницький: 2001. –.330 с.
9. Развитие творческой активности школьников /Под ред. Матюшкина А.М.– М., 1991.–160 с. 30. Рибалка В.В. Методологічні питання наукової психології .