

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

ТІХОМІРОВ КИРИЛО АНАТОЛІЙОВИЧ

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЮЧИМ АПАРАТОМ**

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Автореферат
бакалаврської роботи
на здобуття кваліфікації бакалавра з автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

Миколаїв – 2020

Робота виконана у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили.

Керівник: **Прищепов Олег Федорович** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЧНУ ім. Петра Могили.

Рецензент: **Пишнєв Сергій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри дизайну НУК імені адмірала Макарова, голова секції технології і конструювання Миколаївського відділення Малої академії наук України, віце-президент Федерації судно модельного спорту України, відмінник освіти України.

Консультант: **Щербак Юрій Георгійович** д-р біол. наук, професор кафедри екології Медичного інституту ЧНУ ім. Петра Могили

Захист відбудеться « 23 » червня 2020 р. о 10⁰⁰ на засіданні Державної екзаменаційної комісії в ЧНУ ім. Петра Могили, ауд. 2-407

З дипломною роботою можна ознайомитись на сайті ЧНУ ім. Петра Могили за посиланням <http://chmnu.edu.ua>

Автореферат оприлюднений «16» червня 2020 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В даний час завдання створення безпілотних літаючих апаратів (БПЛА) різного призначення і конфігурації є вкрай актуальною і перспективною темою. Дана тематика дуже приваблива для молодих конструкторських колективів з огляду на її затребуваності та інноваційність. Цивільні БПЛА застосовують для аерофотозйомки, патрулювання районів, інспекцій, доставки вантажів, забезпечення зв'язком заданих областей, контролю повітряного простору і т. п.

Системи автоматичного керування БПЛА мають ідентичну морфологію, але в залежності від призначення літаючих апаратів (ЛА) архітектура їх системи керування (органи управління, склад бортових систем, система зв'язку, датчикова апаратура і т. п.) може бути сформована по-різному відповідно до конкретних завдань.

У зв'язку з цим система керування безпілотним літаючим апаратом повинна реалізовувати наступні функції:

- автоматичний зліт та посадка;
- автономний політ по заданій траєкторії, тобто програмне керування;
- стабілізація положення в просторі при зовнішньому збуренні (сильні повітряні потоки, зміщення центру мас БПЛА, тощо);
- високу маневреність, бистродію та точність руху по траєкторіям;
- планування маршруту з уникненням статичних та динамічних перешкод.

Неповна комплектація і відповідність встановленим вимогам сучасних безпілотних літаючих апаратів не надають максимальної ефективності та успішності при виконанні задач позиціонування на місцевості та стабільності польоту. Тому дослідження в напрямку покращення керування безпілотними літаючими апаратами націленими на підвищення точності польоту є актуальними і мають важливе практичне значення.

Мета: забезпечити ефективне керування безпілотним літаючим апаратом у просторі, що дозволить з більшою точністю переміщатися

визначеним маршрутом та підвищить стабільність польоту. Для досягнення мети були поставлені наступні **задачі**:

- огляд предметної області та аналіз існуючих рішень;
- розроблення функціональної схеми системи керування квадрокоптером;
- виведення математичної моделі системи керування квадрокоптером;
- моделювання системи керування квадрокоптером в пакеті прикладних програм MATLAB;
- аналіз показників стійкості та якості змодельованої системи керування квадрокоптером;
- виведення удосконаленої формули розрахунку коефіцієнтів ПД-регулятора для складних цифрових систем.

Об'єктом дослідження є безпілотний літаючий апарат (БПЛА).

Предметом дослідження є система керування безпілотним літаючим апаратом.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач використовувалися методи математичного аналізу та моделювання, синтезу модальних регуляторів та ПД-регуляторів для складних цифрових систем. Для математичних розрахунків застосовувався пакет прикладних програм MATLAB, моделювання систем виконувалося в графічному середовищі MATLAB/Simulink.

Наукова новизна одержаних результатів. До числа наукових результатів, отриманих в роботі, відноситься: аналіз властивостей БПЛА; визначено характеристики та параметри, що впливають на точність та позиціонування БПЛА; висвітлено коло питань, які необхідно враховувати при побудові системи керування безпілотним літаючим апаратом; удосконалена формула розрахунку коефіцієнтів ПД-регулятора для складних цифрових систем.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

– запропонована система керування безпілотним літаючим апаратом дозволяє підвищити ефективність керування положенням БПЛА та його стабілізацію в польоті;

– запропоновано удосконалена формула розрахунку коефіцієнтів ПІД-регулятора для складних цифрових систем.

Структура та обсяг роботи. Бакалаврська робота викладена на 107 аркушах і містить анотацію, вступ, п'ять розділів, висновки, перелік джерел з посиланнями з 34 найменувань, 2 додатки. Основна частина роботи становить 84 сторінки, серед яких 63 рисунки та 2 таблиці. Обсяг додатків – 3 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи бакалавра, сформульовано мету та завдання дослідження, вказано практичне значення одержаних результатів. Задача розробити автоматизовану систему управління рухом безпілотного літаючого апарату.

У першому розділі бакалаврської роботи «**Аналіз існуючих конструкцій БПЛА**», був проведений огляд існуючих різновидів безпілотників.

У другому розділі бакалаврської роботи «**Модель руху в просторі БПЛА**», була спроектована модель руху в просторі безпілотного літаючого апарату.

У третьому розділі бакалаврської роботи «**Система управління рухом квадрокоптера**», була наведена блок-схема системи управління квадрокоптера і розглянуті моменти і сили, що враховуються при розробці ММ системи управління польотом.

У четвертому розділі бакалаврської роботи «**Склад елементів БПЛА на прикладі квадрокоптера**», ведеться огляд складу елементів безпілотника на прикладі квадрокоптера, наведені загальні принципи обробки інформації з

датчиків квадрокоптера.

У спеціальній частині (п'ятий розділ) «**Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях**» наведено аналіз факторів виробничого середовища у приміщенні, а також визначений вплив цих факторів на здоров'я та працездатність працівників. Слід зазначити, що було встановлено відповідність всіх розглянутих показників чинним санітарним нормам та виявлено, що умови праці на робочому місці є оптимальними.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи була спроектована система управління безпілотним літаючим апаратом, яка забезпечує високу ефективність та керованість. На сьогоднішній день застосування безпілотного літаючого апарату є перспективним напрямком.

Були розглянуті різні методи, які можна застосувати до аналізу динаміки польоту квадрокоптера. Під час розроблення системи було виведено математичну модель БПЛА, яка є комплексом із трьох підсистем диференціальних рівнянь для керування положенням дрону, а саме швидкістю, висотою та кутами крену, тангажу та ристання. На основі знайдених систем було побудовано відповідні моделі в графічному середовищі MATLAB/Simulink. Подальше дослідження та аналіз моделей показав, що системи керування кутами є нестійкими, а система керування висотою має погані показники якості (перерегулювання становило 76,9%, час встановлення – 2 с, а час регулювання – 52,8 с). Для стабілізації та покращення якісних характеристик системи керування БПЛА було розроблено два види регуляторів. Синтез системи керування кутами було виконано з допомогою модального регулятора, завдяки якому вдалося перевести систему в стійкий стан та забезпечити високу швидкодію (час регулювання – 1,2 с, час встановлення – 0,612 с) та нульове перерегулювання, проте з'явилася стала похибка (0,56 – для системи керування кутом ристання, 0,263 – для системи керування кутом

крену/тангажу). Для її усунення було застосовано модифікований модальний регулятор, який до того ж забезпечив кращі показники якості (перерегулювання – 0%, час встановлення – 0,597 с, а час регулювання – 1 с). Для системи керування висотою було розроблено цифровий ПІД-регулятор на основі удосконаленої формули розрахунку коефіцієнтів ПІД-регуляторів для складних систем. Даний регулятор складається з одного ПІД-ланцюгу, відповідно має просту структуру, та покращує якісні характеристики системи керування висотою (перерегулювання – 0%, час встановлення – 1,42 с, а час регулювання – 2,5 с), зводячи при цьому значення сталої похибки до нуля.

Проведені дослідження підтверджують придатність зазначених підходів до дослідження динаміки польоту квадрокоптера з перспективою їх вдосконалення.

Представлено вимоги безпеки нормативно-правових документів щодо роботи з друком на 3D DLP принтері, слюсарним обладнанням, електрикою.

Розрахована витяжна система вентиляції та підібрано технічне обладнання. Розрахунковими параметрами системи вентиляції та аеродинамічний опір $\Delta p=80\text{т}$ водяного стовпчика, в якості вентилятора підібрано відцентровий вентилятор Maico ECA 100 ipro H з серії ECA ipro.

Можна підвести підсумок, що безпілотні літальні апарати є невід'ємною частиною робототехніки та автоматизації. Як факт, на продуктивність і на якість роботи БПЛА впливає його система автоматизації, а саме алгоритми управління і точність контрольно-вимірювальних приладів.

АНОТАЦІЯ

Тіхоміров К. А. Автоматизована система керування безпілотним літаючим апаратом. – Кваліфікаційна бакалаврська робота із спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» на здобуття кваліфікації «Бакалавр з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2020.

Викладено актуальні аспекти розробки системи керування безпілотними літаючими апаратами на прикладі перспективних літаючих апаратів. Розглянуто загальні принципи побудови бортового комплексу керування, зокрема апаратної реалізації системи автоматичного керування на мікроконтролерних платформах Arduino.

Крім того, представлені найбільш поширені і перспективні шляхи щодо забезпечення безперебійного надійного зв'язку безпілотних літаючих апаратів з командним пунктом. Розглянуті питання математичного моделювання руху квадрокоптера. Запропоновані розрахункова схема і математична модель просторового руху квадрокоптера, що враховує кінематичні зв'язки, механічні процеси в системі обертових гвинтів квадрокоптера, а також алгоритми вироблення керуючих впливів.

Кваліфікаційна бакалаврська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання, 1 додатку та спеціальної частини(п'ятий розділ) з охорони праці.

У вступі подано обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи бакалавра, сформульовано мету та завдання дослідження, вказано практичне значення одержаних результатів. Задача розробити систему управління рухом безпілотного літаючого апарату.

У першому розділі бакалаврської роботи «Аналіз існуючих конструкцій БПЛА», був проведений огляд існуючих різновидів безпілотників.

У другому розділі бакалаврської роботи «Модель руху в просторі БПЛА», була спроектована модель руху в просторі безпілотного літаючого апарату.

У третьому розділі бакалаврської роботи «Систему управління рухом квадрокоптера», була наведена блок-схема системи управління квадрокоптера і розглянуті моменти і сили, що враховуються при розробці ММ системи управління польотом.

У четвертому розділі бакалаврської роботи «Склад елементів БПЛА на прикладі квадрокоптера», ведеться огляд складу елементів безпілота на прикладі квадрокоптера, наведені загальні принципи обробки інформації з датчиків квадрокоптера.

У спеціальному розділі з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях проаналізовано систему заходів і засобів по запобіганню впливу на людину несприятливих факторів, які супроводжують роботу працівника. Виконано аналіз мікрокліматичних умов на робочому місці, управління цивільним захистом на підприємстві у разі виникнення пожежі. Виявлено, що умови праці на робочому місці є оптимальними.

Ключові слова: система керування, стабілізація, навігація, безпілотний літаючий апарат, система зв'язку, математична модель.

ABSTRACT

Tikhomirov Kirill

Automated control system for unmanned aerial vehicle. Qualification work of the for qualification "Bachelor of Automation and Computer Integrated Technology". - Black Sea National University named after Petro Mohyla, 2020.

Discussing the advanced unmanned aerial vehicles (UAVs) the Qualifications Bachelor's work considers the actual aspects of the development of the control system for them. Since current and future UAVs are focused on the implementation of a wide range of tasks and taking into account the use of several types of payload, discusses the general principles of the onboard control complex

construction. The automatic control system hardware has been implemented in the Arduino microcontroller platforms.

Furthermore, the paper presents the most common and promising ways of ensuring the smooth and reliable communication of the command post with the UAVs as well. Considers the problem of quadcopter motion mathematical modeling. The design diagram and mathematical model of quadcopter spatial motion with regard to kinematic relations, mechanical processes in the system of quadcopter rotating propellers, as well as the algorithms of generating the control actions are proposed.

The explanatory note of the Bachelor work thesis consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of sources of reference, two applications supplement and a special part on labor protection.

In the introduction the substantiation of urgency of a theme of qualifying work of the bachelor is given, the purpose and tasks of research are formulated, the practical value of the received results is specified. The task is to develop a motion control system for unmanned aerial vehicles.

In the first section of the bachelor's thesis "Analysis of existing UAV designs", a review of existing types of drones was conducted.

In the second section of the bachelor's thesis "Model of motion in the space of a UAV", a model of motion in space of an unmanned aerial vehicle was designed.

In the third section of the bachelor's thesis "Quadcopter motion control system", a block diagram of the quadcopter control system was given and the moments and forces taken into account in the development of MM flight control system were considered.

In the fourth section of the bachelor's thesis "The composition of the elements of the UAV on the example of a quadcopter", an overview of the composition of the elements of the drone on the example of a quadcopter, the general principles of information processing from quadcopter sensors.

In a special part on occupational safety and protection in emergency

situations the system of measures and means for preventing the impact on the person of the adverse factors that accompany the work of the was analyzed. Analysis of microclimatic conditions in the workplace, management of civil protection in the company in the event of a fire was executed. It was found that working conditions in the workplace are optimal

Keywords: control system, stabilization, navigation, UAV, communications system, emergency situation, mathematical model.