

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра програмного забезпечення

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Розробка методу та програмного засобу підвищення якості
виготовлення безпілотних літальних апаратів

Виконав: студент 2-го курсу
групи ПІ-22м спеціальності
121 – Інженерія програмного забезпечення

Майданюк Артем Вікторович

Керівник: к.т.н., ст. викл. каф. ПЗ Стахов О.Я.

« 07 » 06 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ЗІ Лукічов В.В.

« 07 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ПЗ

д.т.н., проф. Романюк О. Н.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
 Кафедра програмного забезпечення
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
 Галузь знань 12 – Інформаційні технології
 Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення
 Освітньо-професійна програма – Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЗ

Романюк О. Н.

« 12 » березня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Майданюку Артему Вікторовичу

1. Тема роботи – розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Керівник роботи: Стахов Олексій Ярославович, к.т.н., ст. викл. кафедри ПЗ, затверджені наказом вищого навчального закладу від « 11 » березня 2024 р. № 81.

2. Строк подання студентом роботи

3 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: вихідні дані до роботи пов'язані з підвищенням якості виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА), можуть бути різноманітними та залежати від конкретних цілей і функцій такого програмного засобу. До найбільш поширених з них є точність виготовлення деталей, де вагомими з них є помилки у розмірах деталей (в мм), кількість дефектів на одиницю продукції (в одиницях), міцність конструкції (максимальна вантажопідйомність, в кг), циклічна міцність (кількість циклів, яке витримує конструкція БПЛА до появи перших ознак зносу або втоми матеріалу, в одиницях), середній час виготовлення одного БПЛА (в годинах), вартість матеріалів на один БПЛА (в грн. або дол.).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: вступ, особливості розробки методів методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів, проблеми впровадження методів підвищення якості, загальна характеристика методів виготовлення безпілотних літальних

апаратів, вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку, розробка та тестування програмного засобу, експериментальна перевірка валідація розробленого методу, особливості тестування програмного засобу пілотних зразках, економічна частина, висновки.

5. Перелік графічного матеріалу: вступ, актуальність теми, особливості розробки методів методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів, проблеми впровадження методів підвищення якості загальна характеристика методів виготовлення безпілотних літальних апаратів, вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку, розробка та тестування програмного засобу, експериментальна перевірка валідація розробленого методу, особливості тестування програмного засобу пілотних зразках, економічний розділ, висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Стахов О. Я., к.т.н., ст.викл. кафедри ПЗ	11.03.24	6.06.24
5	Кавецький В.В., к.е.н., доц. кафедри ЕПВМ	26.04.24	10.05.24

7. Дата видачі завдання 11 березня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз методів методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів	12.03.2024-28.03.2024	вик
2	Розробка вимог щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку	29.03.2024-11.03.2024	вик
3	Розробка програмного модуля для налаштування параметрів 3D друку	12.03.2024-12.04.2024	вик
4	Експериментальна перевірка та валідація розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках	13.04.2024-05.06.2024	вик
5	Економічна частина	26.04.24-10.05.24	вик

Студент Майданюк А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Стахов О. Я.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 351.741

Майданюк А.В. Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів : магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення, освітня програма – інженерія програмного забезпечення. Вінниця: ВНТУ, 2024. 124 с.

На укр. мові. Бібліогр. : 26 назв ; рис. : 13; табл. 8.

В магістерській роботі визначено комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів та знайдені особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Описані проблеми впровадження методів підвищення якості та визначена загальна характеристика методів виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Виконана порівняльна характеристика методів підвищення якості та запропоновано метод підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів. Визначені вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку.

Розроблені програмні модулі та виконано тестування програмного засобу з виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Проведена експериментальна перевірка та валідація розробленого методу, визначені особливості тестування програмного засобу на пілотних зразках.

Ключові слова: методи підвищення якості, виготовлення безпілотних літальних апаратів, програмні засоби, робочі станції.

ABSTRACT

Maidaniuk A.V. Development of a method and software tool for improving the quality of manufacturing unmanned aerial vehicles : master's qualification thesis on the specialty 121 Software engineering, educational program - software engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024. 124 with.

In Ukrainian speech Bibliogr. : 26 titles; Fig. : 13; table 8.

The master's thesis defines a set of measures and technological innovations to improve the quality of the manufacture of unmanned aerial vehicles and identifies the features of the development of methods for improving the quality of the manufacture of unmanned aerial vehicles.

The problems of implementing quality improvement methods are described, and the general characteristics of manufacturing uncrewed aerial vehicles are defined.

A comparative description of quality improvement methods was performed, and a method for improving the quality of manufacturing unmanned aerial vehicles was proposed. The requirements for implementing methods based on the analysis of 3D printing are defined.

Software modules were developed, and testing of the software tool for producing uncrewed aerial vehicles was performed.

Experimental verification and validation of the developed method were carried out, and features of testing the software tool on pilot samples were determined.

Keywords: quality improvement methods, manufacturing of uncrewed aerial vehicles, software, workstations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	12
ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДУ АНАЛІЗА	12
1.1. Комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів	12
1.2. Особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів	20
1.3. Проблеми впровадження методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів	30
1.4. Задачі дослідження.....	36
1.5. Висновки.....	36
РОЗДІЛ 2	39
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ БПЛА ...	39
2.1. Загальна характеристика методів виготовлення безпілотних літальних апаратів	39
2.2. Порівняльна характеристика методів підвищення якості виготовлення БПЛА	45
2.3. Запропонований метод підвищення якості виготовлення БПЛА	54
2.4. Висновки.....	61
РОЗДІЛ 3.	63
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ З ВИГОТОВЛЕННЯ БПЛА	63
3.1. Вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку	63
3.2. Розробка програмного модуля для налаштування параметрів 3D друку	72
3.3. Висновки.....	82
РОЗДІЛ 4.	84
ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ З ВИГОТОВЛЕННЯ БПЛА	84
4.1. Експериментальна перевірка та валідація розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках	84

	7
4.2. Особливості тестування програмного засобу з виготовлення БПЛА.....	87
4.3. Тестування основних модулів програмного засобу	91
4.4. Висновки.....	96
РОЗДІЛ 5.	98
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	98
5.1. Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	98
5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	101
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	103
5.4. Висновки.....	119
ВИСНОВКИ	121
Список використаної літератури.....	126
ДОДАТКИ	129
Додаток А. Технічне завдання.....	130
Додаток Б. Протокол перевірки навчальної роботи	134
Додаток В. Лістинг програми	135
Додаток Г. Ілюстративний матеріал.....	154

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) сьогодні знаходять застосування у широкому спектрі галузей, включаючи військову, цивільну, наукову та комерційну сфери. Їх використання варіюється від розвідки та моніторингу до доставки вантажів і проведення рятувальних операцій [1]. Важливою складовою успішної експлуатації БПЛА є їх висока якість, яка забезпечується надійністю конструкції, точністю виготовлення та ефективністю функціонування.

Однак, збільшення попиту на безпілотні технології вимагає підвищення якості та ефективності їх виробництва. Це стосується як великих промислових комплексів, так і невеликих стартапів, що розробляють інноваційні рішення в цій галузі. Виробництво БПЛА вимагає високої точності та відповідності суворим технічним вимогам. Недосконалість виробничих процесів може призвести до дефектів, що впливають на безпеку та експлуатаційні характеристики апарата.

З іншої сторони, в умовах глобалізації ринку безпілотних технологій конкуренція стає все більш жорсткою. Для збереження конкурентоспроможності виробники повинні забезпечити високу якість продукції, що виготовляється.

Тому, необхідність у підвищенні надійності полягає у розробці методів підвищення якості виготовлення БПЛА дозволяє мінімізувати ризики відмов та аварій, що є критично важливим для багатьох сфер застосування, особливо у військовій та рятувальній галузях.

Подальша оптимізація існуючих виробничих процесів полягає у використанні спеціалізованих програмних засобів, що дозволяє автоматизувати та оптимізувати виробничі процеси, які знижують ймовірність помилок і дефектів, а також сприяють зменшенню витрат на виробництво.

Розвиток інноваційних рішень в розробці нових методів та програмних засобів дозволяє впроваджувати інноваційні підходи у виробництво БПЛА [1,2], що підвищує їх конкурентоспроможність на ринку.

Таким чином, актуальність та необхідність розробки методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів є очевидною в умовах сучасних технологічних викликів та зростаючого попиту на безпілотні технології. Тому, забезпечення високої якості продукції є ключовим фактором для успішного функціонування та розвитку даної галузі.

Мета та завдання дослідження:

Метою роботи є підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

У відповідності до поставленої мети потрібно виконати такі **завдання**:

- визначити комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- знайти особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- описати проблеми впровадження методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- визначити загальну характеристика методів виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- виконана порівняльна характеристика методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- запропонувати метод підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- визначити вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку;
- розробити програмний модуль для налаштування параметрів 3D друку;
- виконати тестування програмного засобу з виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- виконати експериментальну перевірку та валідацію розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках;
- визначити особливості тестування програмного засобу з виготовлення безпілотних літальних апаратів;

- виконати тестування основних модулів програмного засобу.

Об'єктом дослідження є процеси виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Методи дослідження. У процесі дослідження використовувались: теорія дерева рішень, лінійна алгебра, системний аналіз процесу виготовлення безпілотних літальних апаратів, методи прийняття рішень.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше запропоновано метод оптимізації, особливість якого полягає у визначенні критичних параметрів друку на основі існуючих методик 3D друку, що впливають на якість деталей БПЛА та не потребує в оцінки значень параметрів великих часових витрат і, як наслідок, дає можливість підвищити якість виготовлення основних компонентів;

- вперше запропоновано метод експериментальної перевірки та валідації програмного засобу, що виконуються на пілотних зразках та враховує шарову побудову об'єктів з цифрових 3D моделей, і, як наслідок, дає можливість створювати складні геометрії та легкі конструкції, які є ідеальними для аеронавтичних застосувань;

- подальшого розвитку отримав метод автоматизації процесів налаштування параметрів друку в контексті виготовлення основних компонентів БПЛА, у якому, на відміну від існуючих, використано інтелектуальні програмні модулі, що дозволило оптимально керувати 3D друковим процесом за встановленими вимогами користувачів відносно якості наданих зразків.

Практична цінність отриманих результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі отриманих в магістерській кваліфікаційній роботі теоретичних положень запропоновано алгоритм адаптивного регулювання для оптимізації точності позиціонування в 3D друку.

Особистий внесок здобувача. У магістерській кваліфікаційній роботі усі результати дослідження здобуті автором даної роботи самостійно. У роботі [1],

опублікованій самостійно, автору належить формування постановки проблеми, мети роботи та основної частини.

Апробація матеріалів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів "Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій", (Одеса, 2024).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковано в науковій праці у матеріалах конференції.

РОЗДІЛ 1

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДУ АНАЛІЗА

1.1. Комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) включає в себе комплекс заходів і технологічних інновацій, які спрямовані на поліпшення характеристик, надійності та ефективності виробничих процесів (рис. 1.1). Цей термін охоплює різні аспекти. Розглянемо їх більш детально.



Рисунок 1.1 - Комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Забезпечення високої якості та довговічності виготовлених деталей зменшує ризики поломок та необхідності в частих ремонтах під час експлуатації БПЛА [3,4]. Тому, забезпечення надійності компонентів є фундаментальним

аспектом інженерного дизайну, особливо важливим для критичних систем, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА). Цей процес включає ряд стратегій і практик, які забезпечують, що кожен компонент системи може ефективно виконувати свої функції, витримувати передбачувані навантаження та мати прийнятний термін служби під час експлуатації. Також, використання міцних, довговічних і відповідних матеріалів для виробництва компонентів, які можуть витримати несприятливі умови експлуатації. Це включає вибір матеріалів з відповідними властивостями стійкості до корозії, втомі, високих температур та інших релевантних впливів. Розробка конструкцій з урахуванням вимог до міцності, стійкості до навантажень і оптимізації ваги. Використання принципів механіки і матеріалознавства для забезпечення того, щоб конструкції могли витримувати передбачувані навантаження без пошкоджень.

Забезпечення високої точності виробництва дозволяє досягати суворой відповідності до проектних специфікацій. Це включає точну обробку, контроль розмірів і форми деталей, що важливо для підтримання інтегральності всієї системи. Регулярне тестування компонентів на предмет відповідності технічним нормам і стандартам. Це включає статичні, динамічні та втомні випробування, які допомагають ідентифікувати потенційні недоліки перед впровадженням компонентів у експлуатацію.

Впровадження систем моніторингу стану можуть неперервно слідкувати за робочими параметрами компонентів і виявляти ознаки передчасного зносу або відмов. Розробка і реалізація програм технічного обслуговування, що дозволяють підтримувати компоненти у належному стані, замінювати зношені деталі і виконувати ремонти для запобігання відмов. Тому, забезпечення надійності компонентів є критично важливим для підвищення загальної безпеки, ефективності та довговічності БПЛА, зменшуючи витрати на обслуговування і ризик відмови під час критичних місій. Вдосконалення виробничих процесів для досягнення високої точності компонентів є критично важливо для аеродинамічних та структурних властивостей БПЛА.

При цьому, точність виробництва деталей є ключовим аспектом у проектуванні та виробництві, особливо у виробництві складних механізмів, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА). Це відноситься до рівня відповідності вироблених компонентів їх проектним специфікаціям, включаючи розміри, форми, і толерантності. Сутність і важливість точності виробництва деталей полягає у наступних аспектах (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Ключові аспекти підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Аспект	Опис
Забезпечення надійності компонентів	Забезпечення високої якості та довговічності виготовлених деталей, що зменшує ризики поломок та необхідності в частих ремонтах.
Точність виробництва деталей	Вдосконалення виробничих процесів для досягнення високої точності компонентів, важливо для аеродинамічних та структурних властивостей.
Удосконалення матеріалів	Використання інноваційних матеріалів та сплавів, які підвищують міцність та легкість, а також стійкість до зовнішніх впливів.
Контроль якості	Впровадження строгих процедур контролю на всіх етапах виробництва, від аналізу матеріалів до перевірки готових виробів.
Автоматизація процесів та технологій	Застосування автоматизованих технологій для зниження людського фактору, що підвищує повторюваність та стабільність процесів.
Інноваційне проектування	Розробка оптимізованих дизайнів, що покращують функціональні характеристики та ефективність БПЛА через комп'ютерне моделювання і симуляції.

В табл. 1.1 показано комплекс заходів і технологічних інновацій спрямований на поліпшення якості виготовлення БПЛА, що не лише підвищує технічні показники апаратів, але й сприяє підвищенню ефективності виробництва та зниженню екологічного навантаження [4,5].

Вироблені деталі повинні точно відповідати заданим розмірам, формам і толерантностям, які задані в технічній документації. Це забезпечується тим, що кожен компонент може правильно функціонувати у складі виробу без необхідності додаткової обробки.

Така точність деталей забезпечує легкість збірки виробів, оскільки компоненти точно відповідають один одному. Тому, це знижує ризик помилок під час збірки і скорочує час на монтаж.

При цьому, точно вироблені деталі менше схильні до швидкого зносу і пошкоджень, оскільки вони мають менші механічні напруги і краще взаємодіють з іншими частинами системи. Це підвищує загальну надійність виробу. В свою чергу, висока точність у виробництві мінімізує кількість бракованих деталей і потребу у їх переробці, що, у свою чергу, знижує виробничі витрати та відходи.

Для БПЛА, точність компонентів критично важлива для аеродинамічної ефективності та структурної стійкості. Невеликі відхилення можуть вплинути на польотні характеристики та безпеку. Точність виробництва дозволяє компаніям відповідати національним та міжнародним стандартам, які часто вимагають дуже строгих толерантностей для критичних застосувань.

Отже, точність виробництва деталей є фундаментальною для забезпечення високої якості, надійності, ефективності та довговічності безпілотних літальних апаратів та інших складних інженерних систем. При цьому, використання інноваційних матеріалів та сплавів підвищують міцність та легкість літальних апаратів, а також їх стійкість до зовнішніх впливів.

Удосконалення матеріалів — це критичний процес, що включає розробку та застосування нових або модифікованих матеріалів для покращення характеристик та функціональності продуктів. Цей процес є особливо значущим у таких галузях, як авіаційна промисловість і виробництво безпілотних літальних апаратів (БПЛА), де матеріали мають відповідати високим вимогам до міцності, легкості, довговічності та стійкості до різноманітних навантажень та умов експлуатації. Сутність удосконалення матеріалів полягає у наступному.

Розробка нових матеріалів або вдосконалення існуючих вимагає підвищення таких властивостей, як міцність, жорсткість, термостійкість та легкість. Наприклад, застосування композитних матеріалів дозволяє створювати легкі, але міцні конструкції для БПЛА.

Удосконалення матеріалів також охоплює пошук та використання більш доступних або ефективних за вартістю сировини, що може знизити загальні виробничі витрати, при цьому не поступаючись якістю. Розробка екологічно чистих матеріалів та технологій їх виробництва, які зменшують негативний вплив на довкілля, є важливим аспектом у сучасному світі. Це включає зниження кількості відходів та токсичних випаровувань під час виробництва і утилізації. При цьому, матеріали для БПЛА мають бути стійкими до екстремальних температур, вологи, ультрафіолету, хімічних речовин та інших впливів. Розробка та вдосконалення матеріалів включає створення таких, що зможуть витримувати ці умови без втрати своїх характеристик.

Важливо, щоб нові матеріали були сумісними з існуючими виробничими технологіями або спонукали до розробки нових технологій обробки та виробництва. Наприклад, використання матеріалів, сумісних з технологіями 3D друку, відкриває нові можливості для дизайну і виготовлення складних геометричних конструкцій БПЛА.

Таким чином, удосконалення матеріалів є безперервним процесом, що вимагає інтеграції між матеріалознавством, хімією, фізикою, інженерією та технологічними інноваціями, з метою створення матеріалів, які здатні задовольнити вимоги сучасних технічних систем та екологічні стандарти [5].

Впровадження інших процедур контролю якості на всіх етапах виробництва, включаючи початковий аналіз матеріалів, моніторинг виробничих процесів і кінцеву перевірку готових виробів є також вкрай важливим внаслідок наступних обставин. Контроль якості є ключовим елементом в будь-якому виробничому процесі, зокрема у виробництві складних систем, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА). Він включає в себе ряд процедур та стандартів, спрямованих на забезпечення відповідності продуктів певним

критеріям якості. Основна сутність контролю якості полягає у виявленні та усуненні дефектів, забезпеченні безперервного поліпшення продукції та процесів, а також у підвищенні задоволеності споживачів. Встановлення чітких процедур та стандартів для кожного аспекту виробництва забезпечує консистентність і передбачуваність результатів.

Регулярне перевіряння компонентів і готових продуктів на предмет дотримання технічних характеристик і стандартів якості може включати візуальну інспекцію, вимірювання, лабораторні тести та функціональні випробування. Постійне відстеження та аналіз виробничих процесів для виявлення потенційних джерел помилок або відхилень від норми. Це дозволяє своєчасно вживати заходів для корекції.

Навчання та мотивація співробітників забезпечує їх участь у процесах контролю якості і підвищенню відповідальності за зроблену роботу. Застосування статистичних інструментів для аналізу даних про якість дозволяє ідентифікувати тенденції та зміни в процесах, які можуть впливати на якість. Тому, використання інформації від споживачів і результатів власних випробувань виконується з метою постійного удосконалення продукції та процесів. На додаток, дотримання міжнародних стандартів і вимог, отримання необхідних сертифікатів якості є важливим для міжнародного визнання та довіри до продукції [6-8].

Таким чином, контроль якості не тільки забезпечує високу якість продуктів, але й сприяє оптимізації виробничих витрат, зниженню відходів та підвищенню конкурентоспроможності виробника на ринку.

Застосування автоматизованих технологій для зменшення людського фактору дозволяє підвищити повторюваність та стабільність виробничих процесів. При цьому, автоматизація процесів та технологій відіграє вирішальну роль у сучасному виробничому ландшафті, особливо в контексті виготовлення високотехнологічної продукції, як-от безпілотні літальні апарати (БПЛА). Сутність автоматизації полягає у впровадженні контрольованих систем та програмного забезпечення для керування виробничими процесами, замість

ручної праці, що дозволяє підвищити ефективність, знизити витрати та покращити якість продукції. Основні аспекти автоматизації включають наступні переваги [9].

Автоматизовані системи здатні працювати швидше і ефективніше в порівнянні з людською працею, особливо при виконанні монотонних або високоточних завдань. За допомогою автоматизації можна зменшити кількість помилок, що призводять до втрати матеріалів і потреби у повторному виробництві. Крім того, вона дозволяє скоротити витрати на працю.

Така автоматизація забезпечує більш стабільні та контрольовані виробничі процеси, що допомагає утримувати постійний рівень якості, мінімізуючи варіації та вади в продукції. Ще автоматизація допомагає уникнути необхідності залучення людей до потенційно небезпечних виробничих процесів, таких як робота з високотемпературними або корозійними матеріалами. Сучасні автоматизовані системи часто оснащені можливістю швидкої перенастройки або зміни програмного забезпечення для адаптації до різних типів виробництва без значних зупинок або затрат.

Автоматизовані системи можуть збирати великі обсяги даних про виробничі процеси, які потім можуть бути аналізовані для виявлення тенденцій, оптимізації процесів і передбачення потреб у технічному обслуговуванні. Автоматизація часто включає інтеграцію з іншими системами управління на підприємстві, такими як системи управління запасами, якістю та логістикою, що підвищує ефективність управління ресурсами.

Використання автоматизації в процесах виробництва БПЛА є критично важливим для забезпечення високої якості, надійності та ефективності в умовах сучасного виробництва, де високі технологічні вимоги і велика кількість операцій вимагають точності та постійності. При цьому, розробка оптимізованих дизайнів покращують функціональні характеристики та ефективність БПЛА, використовуючи комп'ютерне моделювання і симуляції.

Інноваційне проектування відіграє ключову роль у розробці сучасних технологічних продуктів, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА), де

воно стосується впровадження нових технологій, методів і матеріалів для поліпшення характеристик і функціональності продукту. Сутність інноваційного проектування полягає в наступному.

Використання передових технологій може включати застосування новітніх матеріалів, як-от композити або адитивні технології (3D друк), які дозволяють створювати більш легкі та міцні компоненти. Також сюди входить інтеграція сучасних електронних систем та програмного забезпечення для підвищення інтелектуалізації і автономності БПЛА.

Інноваційне проектування залучає в роботу комп'ютерне моделювання та симуляції для розробки конструкцій, які максимізують аеродинамічні, структурні та функціональні характеристики. Це включає в себе не лише покращення фізичних параметрів, але й впровадження дизайнерських нововведень, які спрощують виробництво, складання та технічне обслуговування БПЛА. Інновації у проектуванні часто направлені на зменшення впливу на довкілля та оптимізацію енерговикористання. Це може включати розробку БПЛА, здатних ефективно використовувати енергію або використання матеріалів, що легше переробляються.

Інноваційне проектування також включає інтеграцію різних систем у єдине ціле, що вимагає глибокого розуміння як механічних, так і електронних компонентів. Воно вимагає знань у різних інженерних дисциплінах та здатності працювати в межах інтердисциплінарних команд.

Процес інноваційного проектування часто включає прототипування та тестування з метою ідентифікації та усунення проблем перед випуском кінцевого продукту. Це дозволяє вдосконалювати дизайн, забезпечувати високу якість і задовольняти специфічні вимоги користувачів.

Інноваційне проектування вимагає не лише технічних знань, але й креативності, вміння мислити стратегічно і працювати в умовах невизначеності, що є основними компонентами для створення передових та конкурентоспроможних технологічних рішень.

Таким чином, підвищення якості виготовлення БПЛА є багатоаспектним підходом, який не тільки підвищує технічні показники апаратів, але й сприяє збільшенню ефективності виробництва та зниженню екологічного навантаження на оточуюче середовище.

1.2. Особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Розробка методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) має на меті вирішення низки задач, кожна з яких спрямована на покращення різних аспектів виробничого процесу, ефективності і надійності продукції (рис. 1.2). Особливості розробки методів підвищення якості виготовлення БПЛА включають наступні чинники [8].

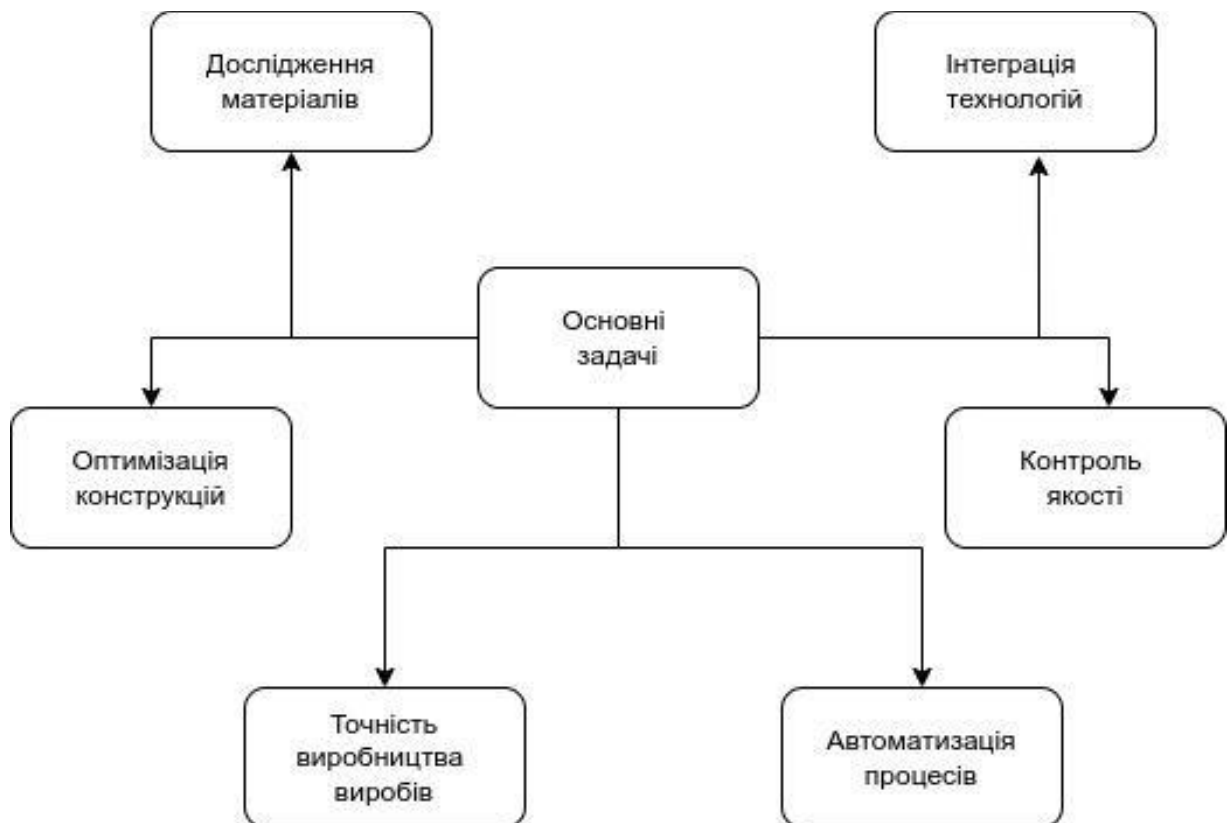


Рисунок 1.2 - Особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Розробка та валідація нових матеріалів або комбінацій існуючих забезпечують кращу міцність, легкість та стійкість до зовнішніх умов. Тому, дослідження матеріалів є ключовим елементом у розробці високотехнологічних продуктів, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Цей процес зосереджений на вивченні та виборі матеріалів, які відповідають певним функціональним та експлуатаційним вимогам. Сутність дослідження матеріалів охоплює наступні аспекти (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Основні задачі розробки методів підвищення якості виготовлення БПЛА

Задача	Опис
Дослідження матеріалів	Розробка та валідація нових матеріалів або комбінацій існуючих, які забезпечують кращу міцність, легкість та стійкість до зовнішніх умов.
Оптимізація конструкцій	Використання комп'ютерного моделювання для проектування більш ефективних конструкцій з підвищеними аеродинамічними характеристиками.
Точність виробництва виробів	Розробка технологій та методів виробництва, що забезпечують високу точність компонентів, знижуючи необхідність вторинної обробки.
Автоматизація процесів	Інтеграція роботизованих та автоматизованих систем у виробництво для підвищення продуктивності та зниження людського фактору.
Контроль якості	Розробка більш ефективних методів контролю якості, включаючи автоматизовані системи візуальної інспекції та неруйнівного тестування.
Екологічність виробництва	Впровадження більш чистих та менш ресурсомістких виробничих процесів, які зменшують вплив на навколишнє середовище.
Інтеграція технологій	Впровадження новітніх технологій, таких як 3D друк або інші інноваційні виробничі методи, для створення більш складних конструкцій.
Зниження витрат	Розробка методів зниження виробничих витрат через оптимізацію матеріальних потоків, зменшення відходів матеріалів та підвищення ефективності.

Розглянуті задачі в табл. 1.2 взаємопов'язані та вимагають комплексного підходу, який охоплює дослідження матеріалознавства, інженерію, автоматизацію та системи управління якістю для досягнення значних поліпшень у виробництві БПЛА [6,8-10].

В основі дослідження матеріалів полягає у визначенні механічних, термічних, електричних, хімічних, і оптичних властивостей різних матеріалів. Це включає аналіз їх міцності, жорсткості, твердості, стійкості до корозії та старіння, а також їх поведінки під час навантажень і в різних умовах експлуатації. Тому, важливим аспектом є вибір матеріалів, що найкраще відповідають конкретним вимогам проекту. Наприклад, для БПЛА можуть бути використані потрібні легкі, але міцні матеріали, які зможуть витримувати високі динамічні навантаження і мати високу стійкість до атмосферних впливів.

Часто потрібні матеріали, які ще не існують у комерційно доступній формі, що веде до необхідності їх розробки. Це може включати створення нових сплавів, композитів або наноматеріалів, які пропонують покращені властивості порівняно з традиційними матеріалами. Після вибору або розробки матеріалів проводяться різноманітні тести для перевірки їх властивостей та придатності до використання у конкретних умовах. Ці тести можуть включати механічні випробування, тести на старіння, вплив навколишнього середовища та багато іншого [9].

Важливою частиною дослідження матеріалів є також розробка методів їх виготовлення та обробки, що включає методики лиття, кування, штампування, зварювання та 3D-друку. При цьому, дослідження матеріалів є фундаментальним для інновацій у багатьох галузях, зокрема в аерокосмічній індустрії, де висувуються особливо високі вимоги до матеріалів щодо їх властивостей та надійності.

Використання комп'ютерного моделювання для проектування більш ефективних конструкцій з підвищеними аеродинамічними характеристиками та зниженням ваги без втрати міцності. Оптимізація конструкцій є

фундаментальним процесом в інженерії, що має на меті покращення характеристик виробів при одночасному зниженні витрат і підвищенні ефективності. Сутність цього процесу полягає у вдосконаленні конструктивних елементів за допомогою використання різноманітних методів і технологій. Основні аспекти оптимізації конструкцій включають наступні чинники.

В загальному випадку, оптимізація процесів виробництва дозволяє підвищити функціональність продукту, наприклад, через поліпшення аеродинамічних характеристик, міцності, стійкості до вібрацій та інших критичних параметрів. Особливо в авіаційній та аерокосмічній галузях, оптимізація конструкцій часто спрямована на зменшення ваги, що може прямо впливати на підвищення паливної ефективності та загальної продуктивності літальних апаратів.

Така оптимізація спрямована на мінімізацію використання матеріалів без зниження ефективності та міцності конструкції, що може привести до зниження виробничих витрат. Існуючі інші сучасні методи оптимізації конструкцій часто включають використання комп'ютерного моделювання та симуляції, які дозволяють інженерам визначати найкращі конструктивні рішення до виготовлення прототипів.

Оптимізація також включає в себе адаптацію конструкцій під специфікації виробничих процесів, таких як лиття, механічна обробка, зварювання та збірка, з метою їх спрощення і зменшення помилок. Важливим аспектом є також проектування продуктів з урахуванням їхнього екологічного впливу, включаючи використання перероблюваних матеріалів та зменшення відходів під час виробництва і експлуатації.

Враховуючи ці аспекти, оптимізація конструкцій є не просто технічним завданням, а стратегією, яка вимагає глибокого розуміння матеріалів, процесів і фізичних принципів, а також комплексного підходу до проектування і виробництва. При цьому, розробка технологій та методів виробництва, що забезпечують високу точність компонентів, знижуючи таким чином необхідність вторинної обробки та збільшуючи загальну надійність виробів.

Точність виробництва виробів є вирішальним фактором у забезпеченні якості, ефективності та функціональності продукції, особливо у виробництві високотехнологічного обладнання, такого як безпілотні літальні апарати (БПЛА). Цей аспект включає декілька ключових елементів. Розглянемо їх більш ретельно [10].

Велику роль у забезпеченні точності є розміри виробів. Точність виробництва забезпечує, що кожен виріб відповідає точно заданим параметрам, таким як розміри, толеранції, вага та інші критичні міри. Це забезпечує сумісність компонентів при збірці та надійність у експлуатації. Висока точність у виробництві мінімізує ризик виробництва бракованих деталей, що, в свою чергу, знижує витрати на перевиробництво, виправлення помилок і втрату матеріалів.

Точно виготовлені компоненти легко збираються, зменшуючи час і витрати на монтаж. Це також забезпечує вищу якість готового продукту та його довговічність. Точність виробництва вирішально впливає на функціональні характеристики продукту, зокрема на аеродинаміку БПЛА, що може значно впливати на його польотні здібності та енергоефективність.

Забезпечення відповідності стандартам і регуляціям допомагає відповідати вимогам міжнародних стандартів якості та безпеки, що є важливим для отримання необхідних сертифікатів та дозволів для використання. Точно виготовлені вироби часто вимагають менше обслуговування і ремонту протягом їхнього життєвого циклу, що знижує загальні експлуатаційні витрати.

Контроль та моніторинг процесів забезпечується за допомогою автоматизованих систем контролю та моніторингу, що дозволяє оперативно виявляти і коригувати відхилення в процесі.

Таким чином, точність виробництва виробів має критичне значення для забезпечення загальної якості, продуктивності та економічної ефективності виробничих процесів, особливо в індустрії високотехнологічних товарів, таких як БПЛА.

Автоматизація процесів, яке полягає в інтеграції роботизованих та автоматизованих систем у виробництво підвищує продуктивність та знижує загальну вагу людського фактору, який призводить до помилок. Тому, автоматизація процесів виробництва є критичною компонентою сучасної промисловості, зокрема у виробництві високотехнологічної продукції, такої як безпілотні літальні апарати (БПЛА). Цей підхід охоплює використання різноманітних технологій для мінімізації ручної праці та збільшення точності та ефективності виробничих процесів.

Автоматизація дозволяє зменшити вплив людських помилок на виробництво, що сприяє підвищенню загальної якості та однорідності продукції. Роботизовані системи та автоматичні машини, що поширено використовуються в автоматизації технологічних процесів можуть працювати без перерви, значно збільшуючи вихід продукції порівняно з традиційними методами виробництва. При цьому, автоматизація дозволяє точно контролювати виробничі параметри, такі як температура, тиск, швидкість, що є необхідним для досягнення високої якості і зниження витрат на виробництво.

Сучасні автоматизовані системи також можуть швидко адаптуватися до змін у виробничих процесах або дизайні продуктів, що дозволяє ефективно реагувати на зміну попиту та вимог ринку. Автоматизація знижує необхідність залучення працівників до потенційно небезпечних дій, забезпечуючи вищий рівень безпеки на виробництві.

Хоча первісні інвестиції в автоматизацію можуть бути значними, довгостроковий ефект включає зниження витрат на працю, зменшення відходів та підвищення ефективності ресурсів. Автоматизовані системи забезпечують послідовне виробництво за допомогою строгого дотримання встановлених стандартів і процедур, що забезпечує високий рівень якості продукції.

Таким чином, автоматизація процесів є важливим кроком до підвищення ефективності, зниження витрат і підвищення якості виробництва, особливо у високотехнологічних галузях, таких як виробництво БПЛА.

Подальша розробка більш ефективних методів контролю якості включає автоматизовані системи візуальної інспекції та неруйнівного тестування, що використовуються для забезпечення розширених стандартів якості кожної деталі. Контроль якості виробництва є одним із ключових аспектів, що гарантує відповідність продукції встановленим стандартам і специфікаціям. В контексті виробництва високотехнологічних товарів, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА), контроль якості включає ряд процедур та технічних засобів, спрямованих на забезпечення бездоганної якості кожного компонента і виробу в цілому. Розглянемо декілька ключових елементів, що визначають сутність контролю якості на прикладі інспекцій та тестування.

В загальному випадку, інспекція та тестування включає перевірку сировини, міжопераційний контроль та остаточну інспекцію готової продукції. Для цього, використовуються різні методи тестування, включаючи механічні випробування, випробування на міцність, неруйнівне тестування, а також випробування на відповідність електронних і програмних компонентів.

Документація та звітність виконання процесів і результатів випробувань є необхідною для гарантування прозорості та відстежуваності виробничих процесів. Це включає реєстрацію всіх даних інспекцій та випробувань, а також дій, вжитих у випадку виявлення невідповідностей.

Подальше впровадження стандартів і норм визначають якісні параметри для кожного компоненту і процесу. Стандартизація забезпечує єдність технічних вимог і спрощує контроль за їх дотриманням. При цьому, контроль якості не лише виявляє і коригує помилки, але й залучає аналіз даних для пошуку тенденцій і можливостей для оптимізації процесів і покращення продуктів.

Використання автоматизованих систем для здійснення контролю якості, таких як автоматизовані оптичні і лазерні інспекційні системи, забезпечує високу точність і повторюваність результатів, мінімізуючи людський фактор. Такий ефективний контроль якості залучає не тільки інженерів та техніків, а й управлінський персонал на всіх рівнях, що дозволяє створити культуру якості в організації [11,12].

Таким чином, контроль якості є фундаментальним компонентом у забезпеченні надійності та ефективності виробничих процесів і є ключовим для досягнення високих стандартів виготовлення високотехнологічної продукції, як-от БПЛА [13].

Впровадження більш екологічно чистих та менш ресурсомістких виробничих процесів, які зменшують вплив на навколишнє середовище. Така екологічність виробництва важлива як для зниження впливу виробничих процесів на довкілля, так і для стимулювання сталого розвитку.

При цьому, мінімізація викидів включає зниження рівнів шкідливих викидів, які виходять в атмосферу під час виробництва. Це може бути здійснено через впровадження чистіших технологій, поліпшене управління викидами та використання альтернативних джерел енергії.

Ефективне використання ресурсів полягає в оптимізації використання матеріалів та енергії для зменшення відходів та підвищення загальної продуктивності. Це може включати рециркуляцію води, енергоефективність устаткування, та зниження споживання сировини за рахунок її кращого використання.

Управління відходами спонукає до створення відповідних стратегій для зменшення, переробки, та правильного утилізування відходів. Це може включати сортування відходів, їхнє компостування, переробку та інші методи зменшення обсягу відходів, що потрапляють на звалища.

Впровадження стандартів і сертифікацій дозволяє дотримуватись міжнародних та національних екологічних стандартів, які регулюють виробничі процеси. Це може включати отримання сертифікатів, таких як ISO 14001, які визначають вимоги до систем екологічного управління.

Впровадження зелених інновацій на основі попередньої розробки та впровадження нових технологій або продуктів зменшують негативний вплив виробництва на оточуюче середовище. Це може включати розробку біорозкладних матеріалів, зменшення використання токсичних речовин та підвищення загальної стійкості продуктів.

При цьому, вкрай необхідна екологічна освіта та залучення освідчених співробітників. Це підвищує обізнаність серед іншого персоналу виробництва БПЛА щодо екологічних питань та стимулювання їхньої участі в екологічних ініціативах. Навчання та активізація співробітників можуть сприяти культурі сталого розвитку в організації.

Таким чином, екологічність виробництва є важливим елементом сучасної промисловості, оскільки вона не лише допомагає забезпечити зниження впливу на довкілля, але й сприяє підвищенню ефективності та зменшенню витрат в довгостроковій перспективі. Завдяки цьому, з'являється можливість інтеграції різних технологій на основі впровадження новітніх технологій, таких як 3D друк або інші інноваційні виробничі методи, для створення більш складних конструкцій та матеріалів.

Така інтеграція технологій є важливим процесом у сучасному технологічному ландшафті, що полягає у поєднанні різних технічних систем, методологій, і програмних продуктів для створення більш ефективних, функціональних та інноваційних рішень. Сутність інтеграції технологій полягає в покращенні функціональності виробів, де інтеграція дозволяє поєднувати переваги різних технологій для підвищення загальної функціональності продукту або системи. Наприклад, інтеграція IoT (Internet of Things) девайсів з хмарними обчисленнями та мобільними додатками може забезпечити користувачам можливість дистанційного контролю та управління різними пристроями.

Ефективність процесів, що полягає в інтеграції різних виробничих систем, таких як ERP (Enterprise Resource Planning) та CRM (Customer Relationship Management) дозволяє створювати єдину, цілісну систему управління, що забезпечує плавнішу взаємодію між різними підрозділами компанії [14].

При цьому, знижуються витрати матеріалів на основі інтеграції різних технологій, де можна оптимізувати використання ресурсів, зменшити дублювання функцій і підвищити загальну ефективність операцій. Це, в свою чергу, призводить до значних знижень у витраті матеріалів.

Забезпечення сумісності є також важливою частиною інтеграції, що забезпечує сумісність між різними технічними рішеннями, щоб вони могли ефективно взаємодіяти між собою без технічних збоїв або конфліктів.

Також, інтеграція новітніх технологій може сприяти інноваціям у продукті, відкриваючи нові можливості для розвитку і вдосконалення продукції. Це стає можливим завдяки взаємодоповненню та посиленню функцій окремих технологій. Адаптація до змін у ринкових умовах призводить до інтеграції технологій, що дозволяє компаніям швидше адаптуватися до змін у ринкових умовах та технологічних трендах, забезпечуючи більшу гнучкість та оперативність реагування на нововведення. Завдяки цим аспектам інтеграція технологій є ключовим фактором успіху у багатьох галузях, включаючи виробництво, IT-сервіси, телекомунікації та багато інших. Це призводить до зниження витрат, де розробка методів зниження виробничих витрат через оптимізацію матеріальних потоків, зменшення відходів матеріалів та підвищення загальної ефективності процесів є вкрай важливими.

Це зумовлено тим, що зниження витрат є фундаментальною стратегією управління в бізнесі, що спрямована на підвищення ефективності та рентабельності компанії. Ця стратегія має на меті оптимізувати виробничі та оперативні процеси, мінімізувати непотрібні витрати та максимізувати прибуток без компромісу з якістю продуктів чи послуг.

Така оптимізація виробничих процесів включає впровадження більш ефективних технологій, автоматизацію задач і вдосконалення методів виробництва для зменшення витрат на матеріали, енергію та трудові ресурси.

Покращення логістики та управління ланцюгом постачань призводить до ефективного управління ланцюгом постачань, що може значно знизити витрати на транспортування, зберігання, управління запасами та закупівлю. Розробка оптимальних маршрутів доставки та зменшення кількості запасів без ризику для задоволення попиту є важливими елементами цього процесу.

Зниження адміністративних витрат полягає в тому, що перегляд та оптимізація адміністративних процесів та витрат, включно з мінімізацією

непродуктивних задач забезпечує оптимізацію використання офісного простору та ресурсів. При цьому, впровадження енергоефективних технологій та практик може значно знизити витрати на енергію, які часто становлять значну частину операційних витрат.

Вдосконалення якості та надійності продуктів сприяє зниженню частоти появи дефектів і збоїв в продуктах, що також зменшує витрати на гарантійне обслуговування та повернення товарів, а також покращує загальне сприйняття бренду. Також, розвиток навичок і мотивація співробітників для підвищення їхньої продуктивності та зниження обороту персоналу може знизити витрати на набір та навчання нових працівників.

Таким чином, зниження витрат вимагає інтегрованого підходу, що охоплює різні аспекти організаційної діяльності та включає залучення всіх рівнів управління та виконавчої ланки компанії. Тому, розглянуті задачі є взаємопов'язаними та вимагають комплексного підходу, включаючи взаємодію між дослідженнями матеріалознавства, інженерією, автоматизацією та системами управління якістю, щоб досягти значних поліпшень у виробництві БПЛА.

1.3. Проблеми впровадження методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Впровадження методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів може супроводжуватися рядом викликів, для розв'язання яких потрібно застосувати комплексні рішення (табл. 1.3). Розглянемо декілька проблем та відповідні рішення, які можуть бути реалізовані більш ретельно.

Показана таблиця 1.3 демонструє структурований підхід до аналізу та рішення типових викликів, які можуть виникнути при впровадженні методів підвищення якості виготовлення БПЛА.

Таблиця 1.3 - Виклики та рішення у контексті методів підвищення якості виготовлення БПЛА

Виклик	Рішення
Високі витрати на дослідження та розробку	Застосування грантів, інвестицій і урядових субсидій для фінансування новаторських проєктів. Співпраця з науково-дослідними інституціями та університетами для зменшення витрат на розробку.
Складність інтеграції нових технологій	Застосування модульних систем, що дозволяють поетапне впровадження нових технологій. Навчання персоналу та залучення зовнішніх експертів для підвищення компетенцій в команді.
Проблеми з контролем якості у масштабному виробництві	Впровадження автоматизованих систем контролю якості, таких як візуальні та неруйнівні перевірки. Розробка інтегрованих систем управління якістю на всіх етапах виробництва.
Підвищені вимоги до матеріалів	Використання композитних матеріалів та сплавів, які забезпечують необхідні властивості міцності, легкості і стійкості до умов експлуатації. Оптимізація логістики постачань для забезпечення постійної наявності високоякісних матеріалів.
Труднощі із забезпеченням стабільності виробничих процесів	Розробка стандартизованих процедур та керівництв з виробництва. Впровадження системи загального управління якістю, що дотримується міжнародних стандартів якості.
Зміна регуляторних вимог	Постійний моніторинг законодавчих змін і адаптація процесів відповідно до нових правил. Залучення юридичних радників для забезпечення відповідності регуляторним вимогам.

Сутність високих витрат на дослідження та розробку (R&D) у контексті виробництва безпілотних літальних апаратів полягає в необхідності значних інвестицій у створення інноваційних продуктів, які відповідають сучасним вимогам безпеки, ефективності та функціональності.

Нові технології та матеріали часто вимагають значних наукових досліджень та експериментальних розробок, що передбачає великі початкові інвестиції [12,14-16].

В загальному випадку, розробка БПЛА включає інтеграцію багатьох складних систем — від електроніки та програмного забезпечення до аеродинамічних конструкцій та систем управління. Кожен аспект вимагає детальної розробки та оптимізації. При цьому, строгі норми та стандарти безпеки у аерокосмічній галузі вимагають додаткових витрат на сертифікацію та випробування.

Високий рівень кваліфікації фахівців, необхідний для проведення досліджень і розробок, також впливає на збільшення витрат через високу вартість найму та навчання таких спеціалістів. Довгі цикли розробки збільшують загальну вартість проєктів через необхідність підтримки дослідницьких команд, обладнання та інфраструктури протягом тривалого часу. Такі фактори створюють суттєві фінансові бар'єри для організацій, що прагнуть інновацій у галузі виготовлення БПЛА, але водночас відкривають можливості для отримання інвестицій, грантів та урядової підтримки для компенсації високих витрат.

До іншої проблеми відноситься складність інтеграції нових технологій у виробництво БПЛА виникає з кількох причин, що вимагають комплексного підходу до управління інноваційними процесами. Тому, нові технології мають бути сумісними з існуючими системами і процесами. Це може включати вирішення технічних проблем зі взаємодією між старими та новими компонентами, що часто вимагає додаткових розробок або адаптацій.

В той же час, інтеграція новітніх технологій може вимагати від персоналу нових навичок або зміни в підходах до роботи. Організації можуть зіткнутися з необхідністю навчання та професійного розвитку співробітників.

Впровадження інновацій може вимагати переосмислення та перепроєктування існуючих виробничих процесів, що може призвести до перерв у виробництві та зайвих витрат. Тому, інтеграція нових технологій часто вимагає

додаткових сертифікацій та відповідності нормативним вимогам. Регуляторне схвалення нових систем може бути тривалим та дорогим процесом.

Початкові витрати на інтеграцію нових технологій можуть бути високими, з урахуванням витрат на придбання нового обладнання, модернізацію існуючого та витрат на розробку і тестування. Інтеграція нових технологій несе в собі ризики невдач, які можуть вплинути на загальну надійність та якість кінцевого продукту. Таким чином, забезпечення стабільності та надійності нових компонентів вимагає ретельного тестування і оптимізації. Такі виклики вимагають від організацій гнучкості, інноваційного мислення та здатності адаптуватися до швидко змінюваних технологічних умов, що є суттєвим аспектом успішної інтеграції нових технологій у виробництво БПЛА.

До іншої проблеми відноситься контроль якості у масштабному виробництві БПЛА, що полягає у забезпеченні сталості та надійності якості продукції при збільшенні обсягів виробництва. Так, зі зростанням масштабів виробництва, утримання однакових стандартів якості для кожної одиниці продукції стає складнішим. Тому, потрібна стандартизація процесів та методик, щоб усі вироби були виготовлені згідно з визначеними параметрами якості.

До цього ж необхідно забезпечити ефективні механізми для виявлення та виправлення помилок на ранніх етапах виробничого процесу. Чим більше обсяг виробництва, тим складніше контролювати кожен етап без втручання автоматизованих систем.

Збільшення кількості персоналу, що взаємодіє з виробничими лініями, збільшує ризики помилок та неконсистенції. Потрібно зменшити вплив людського фактора через навчання, стандартизацію робочих процедур та впровадження автоматизації.

Інтеграція автоматизованих систем контролю якості, таких як візуальні інспекції та неруйнівне тестування, може допомогти підтримувати якість на високому рівні навіть при збільшенні обсягів виробництва.

В той же час, контроль якості не обмежується лише виробництвом, але й охоплює всю логістику поставок матеріалів і компонентів. Для цього, необхідно

забезпечити, щоб усі поставки відповідали необхідним стандартам якості. Необхідність в системах для моніторингу реального часу та аналітиці для виявлення тенденцій помилок чи зниження якості. Зворотний зв'язок від кінцевих користувачів також може бути важливим джерелом інформації для покращення процесів [15,16].

Таким чином, гарантування якості у масштабному виробництві БПЛА вимагає комплексного підходу та використання сучасних технологій і методик для вирішення виявлених проблем.

Сутність підвищених вимог до матеріалів у контексті виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) визначається потребою в матеріалах, які можуть забезпечити оптимальне поєднання властивостей, таких як міцність, легкість, довговічність та стійкість до екстремальних умов. Це особливо важливо для забезпечення ефективності, безпеки та тривалості служби БПЛА, де вони вимагають матеріалів які забезпечують високу міцність при мінімальній масі. Це важливо для підвищення маневреності, зменшення енергоспоживання та підвищення вантажопідйомності апарату.

Такі матеріали мають бути стійкими до різних умов експлуатації, включаючи вплив температур, вологості, ультрафіолетового випромінювання та механічних навантажень. Ця стійкість забезпечує надійність БПЛА під час тривалих та складних місій. Високоякісні матеріали забезпечують тривалу службу безпілотних літальних апаратів, мінімізуючи потребу в частих замінах чи ремонтах. Ще матеріали повинні бути стійкими до корозії, особливо в умовах високої вологості або контакту з агресивними середовищами, що зустрічаються при експлуатації на морі чи в промислових умовах.

Сучасні вимоги також включають використання екологічно чистих та повторно використовуваних матеріалів, які відповідають стандартам сталого розвитку. Хоча високі вимоги до матеріалів можуть підвищувати їхню вартість, необхідно оптимізувати логістику постачання та виробництво для зменшення загальних витрат на матеріали. Тому, забезпечення цих властивостей вимагає використання інноваційних матеріалів та технологій, таких як композити, легкі

сплави або наноматеріали, що зумовлює необхідність постійних досліджень та розвитку в цій галузі.

Сутність інших труднощів із забезпеченням стабільності виробничих процесів полягає у складнощах утримання постійного рівня якості, ефективності та точності виробництва на всіх етапах виготовлення продукції. Ці труднощі особливо актуальні у високотехнологічних галузях, таких як виробництво безпілотних літальних апаратів, де кожен компонент має високі вимоги до точності та надійності. Також, різноманітність характеристик матеріалів може призводити до коливань у якості та характеристиках виробів. Це вимагає строгого контролю вхідної сировини та матеріалів.

Багатоетапність та взаємозалежність процесів можуть призводити до помилок, що посилюються на кожному наступному етапі, що вимагає інтегрованих систем контролю якості. Знос та старіння виробничого обладнання можуть призводити до зниження точності обробки, що впливає на кінцеву якість продукції. Помилки операторів та різниця в кваліфікації персоналу можуть створювати додаткові ризики для стабільності виробництва. Тому навчання та сертифікація персоналу мають критичне значення.

Колівання температурних умов, вологості або інших зовнішніх факторів можуть впливати на процеси обробки, зберігання та монтажу, що вимагає автоматизації контролю цих умов. Відсутність чіткої стандартизації та уніфікації процедур також може спричиняти неконсистентність у виробничих процесах та кінцевій якості продукції. Тому, для вирішення цих проблем необхідно розробляти стандартизовані процедури та керівництва, впроваджувати комплексні системи управління якістю, які відповідають міжнародним стандартам, та здійснювати постійний моніторинг всіх виробничих параметрів.

Таким чином, розглянуті рішення допомагають не тільки подолати виклики, але й забезпечують сталість і надійність виробництва БПЛА, підвищуючи якість кінцевого продукту.

1.4. Задачі дослідження

Для рішення необхідних задач дослідження необхідно виконати наступне.

1. Визначити комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.
2. Знайти особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.
3. Описати проблеми впровадження методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.
4. Визначити загальну характеристика методів виготовлення безпілотних літальних апаратів.
5. Виконати порівняльну характеристику методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.
6. Запропонувати метод підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.
7. Визначити вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку.
8. Розробити програмний модуль для налаштування параметрів 3D друку.
9. Виконати тестування програмного засобу з виготовлення безпілотних літальних апаратів.
10. Виконати експериментальну перевірку та валідацію розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках.
11. Визначити особливості тестування програмного засобу з виготовлення безпілотних літальних апаратів.
12. Виконати тестування основних модулів програмного засобу.

1.5. Висновки

Перший розділ присвячений обґрунтуванню вибору методу аналізу для підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА). У роботі розглядається комплекс заходів та технологічних інновацій, спрямованих

на покращення характеристик, надійності та ефективності виробничих процесів БПЛА.

До основних аспекти забезпечення надійності компонентів належали використання довговічних матеріалів, що зменшують ризик поломок, підвищення точності виробництва деталей та впровадження строгих процедур контролю якості. Також, розглядалась розробка конструкцій, що враховували міцність, стійкість до навантажень та оптимізацію ваги.

Впровадження високоточних технологій обробки для досягнення суворої відповідності до проектних специфікацій дозволили використовувати інноваційні методів для забезпечення аеродинамічних та структурних властивостей БПЛА. При цьому, розглядалось удосконалення матеріалів, розробка нових та вдосконалення існуючих матеріалів для підвищення міцності, використання композитних матеріалів для створення більш ефективних конструкцій.

Особлива увага приділялась контролю якості та впровадження автоматизованих систем контролю якості на всіх етапах виробництва, використанню статистичних методів аналізу даних для постійного вдосконалення продукції та процесів.

Застосування роботизованих систем для підвищення ефективності та стабільності виробничих процесів надало можливість автоматизувати процеси та технологій, зниження вплив людського фактора на якість продукції та впроваджувати інноваційне проектування.

Використання комп'ютерного моделювання та симуляцій для оптимізації конструкцій було необхідним для впровадження новітніх технологій та методів для покращення функціональних характеристик БПЛА.

Особливості розробки методів підвищення якості полягало в дослідженні матеріалів, оптимізація конструкцій, автоматизація процесів та інтеграція нових технологій.

Разом з тим, на практиці зустрічались проблеми та виклики впровадження методів, які полягали у високі витрати на дослідження та розробку, складність

інтеграції нових технологій, негаразди з контролем якості у виробництві, підвищені вимоги до матеріалів та забезпечення стабільності виробничих процесів.

Таким чином, описана робота в цьому розділі дозволила полягала в аналізі ключових аспектів та розгляду комплексних рішень для підвищення якості виготовлення БПЛА, акцентуючи увагу на інноваційних матеріалах, технологіях та методах контролю якості.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ БПЛА

2.1. Загальна характеристика методів виготовлення безпілотних літальних апаратів

Методи виробництва безпілотних літальних апаратів (БПЛА) представляють собою складну інтеграцію різних технологічних процесів, інженерних рішень, інноваційних матеріалів та систем управління якістю. Основною метою цих методів є забезпечення високих стандартів надійності, точності та ефективності БПЛА (рис. 2.1). Розглянемо ключові характеристики загальних методів виробництва БПЛА.



Рисунок 2.1 - Ключові характеристики загальних методів виробництва БПЛА

Виробництво БПЛА часто залежить від застосування легких і міцних матеріалів, таких як композити та легкі металеві сплави, що вимагає передових технологій обробки та формування. Тому, сутність інноваційних матеріалів та технологій у виробництві безпілотних літальних апаратів (БПЛА) полягає у

використанні передових матеріалів і методів обробки, щоб досягти бажаних характеристик та властивостей кінцевих виробів.

Використання композитів, легких металевих сплавів і інших передових матеріалів, які забезпечують необхідну міцність при зниженій вазі. Це критично важливо для БПЛА, оскільки легші матеріали дозволяють покращити показники такі як час польоту та маневреність. Впровадження новітніх методів обробки, таких як 3D-друк, автоматизоване складання, і використання ЧПУ (комп'ютерне числове керування) обладнання для точної роботи з цими матеріалами. Це забезпечує високу точність компонентів, яка є ключовою для аеродинамічної ефективності і структурної інтегритетності БПЛА (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Основні аспекти методів виробництва БПЛА

Категорія	Опис
Інноваційні матеріали та технології	Виробництво БПЛА залежить від легких і міцних матеріалів, таких як композити та легкі металеві сплави, що вимагає передових технологій.
Комп'ютерне моделювання та CAD/CAM	Широке використання комп'ютерного проектування для створення деталей і збірки забезпечує високу точність та оптимізацію конструкцій.
Автоматизація та роботизація	Впровадження роботизованих ліній та систем виробництва підвищує продуктивність та знижує людський фактор.
Точне виробництво компонентів	Використання високоточних машин та обладнання, як ЧПУ станки, забезпечує дотримання толеранцій і високу якість компонентів.
Контроль якості на кожному етапі	Використання автоматизованих систем контролю якості на всіх етапах виробництва забезпечує відповідність стандартам.
Модульне та інтегроване проектування	Модульні конструкції, які можна адаптувати під різні задачі, сприяють гнучкості та легкості обслуговування.

Надана таблиця 2.1 систематизує основні аспекти методів виробництва БПЛА, що допомагає зрозуміти їх важливість і вплив на кінцеву якість та ефективність виробів [16].

Такі розглянуті інновації мають важливе значення, оскільки дозволяють виробникам БПЛА зменшувати вагу, збільшувати надійність і покращувати загальні польотні характеристики, а також знижувати вартість виробництва через оптимізацію процесів.

Широке використання комп'ютерного проектування та автоматизації в процесі створення деталей і збірки також забезпечує високу точність та оптимізацію конструкцій. Сутність використання комп'ютерного моделювання та CAD/CAM систем у виробництві безпілотних літальних апаратів (БПЛА) полягає у підвищенні точності, ефективності та інноваційності процесу проектування і виробництва.

Програмне забезпечення в галузі комп'ютерного проектування дозволяє детально візуалізувати, аналізувати і модифікувати проекти БПЛА, перш ніж переходити до стадії виробництва. Це значно покращує точність дизайну, зменшує можливість помилок і сприяє інноваційному дизайну за рахунок експериментування з різними конструкціями і матеріалами. Тому, системи CAM використовуються для автоматичного керування виробничим обладнанням, таким як ЧПУ станки, лазерні різакі та 3D-принтери. Це дозволяє безпосередньо імпортувати проектні дані з CAD-систем і виконувати високоточну обробку компонентів, що забезпечує дотримання заданих параметрів і стандартів.

Інтеграція CAD і CAM систем уніфікує процес проектування та виробництва, що призводить до більшої ефективності виробничих процесів, зниження витрат і часу на розробку, а також покращення загальної якості продукції. Ця інтеграція дозволяє автоматично оновлювати виробничі лінії відповідно до останніх змін в дизайні, забезпечуючи таким чином безперервну оптимізацію та інновації.

Таким чином, використання комп'ютерного моделювання та CAD/CAM систем є критично важливим для підвищення якості, зниження витрат і прискорення процесу розробки та виробництва в сучасному виробництві БПЛА.

Подальше впровадження роботизованих ліній та автоматизованих систем виробництва дозволяє підвищити продуктивність та знизити людський фактор, що може призводити до помилок.

Застосування високоточних машин та обладнання для виробництва, таких як ЧПУ станки, гарантує дотримання строгих толеранцій і високу якість кожного компонента. Тому, точність виробництва компонентів у контексті виробництва безпілотних літальних апаратів (БПЛА) полягає в досягненні високої точності і дотриманні строгих вимог до кожного виготовленого компонента, що є ключовим для забезпечення загальної якості, надійності та функціональності готового продукту. Для цього, використання передових виробничих технологій, таких як станки з числовим програмним управлінням (ЧПУ), лазерні різакі, і 3D-принтери забезпечують мікронну точність у виробництві. Це дозволяє виготовляти компоненти, які точно відповідають проектним специфікаціям.

Точне виробництво вимагає строгого дотримання толеранцій, тобто припустимих відхилень у розмірах і формах компонентів, що критично важливо для забезпечення правильної збірки і функціонування БПЛА.

При цьому, якість кожного компонента не лише забезпечує високу точність, але й покращує якість кожного виготовленого компонента, знижуючи ризик виробничих дефектів і подовжуючи термін служби продукту. Зниження виробничих відходів також допомагає їх мінімізувати, оптимізувати використання матеріалів і зменшити загальні виробничі витрати.

Покращення функціональності та надійності забезпечує те, що кожен елемент конструкції працює належним чином, збільшуючи загальну надійність і функціональність готового БПЛА.

Таким чином, точне виробництво компонентів є фундаментальним для забезпечення високої якості та ефективності в процесі виробництва БПЛА,

впливаючи на всі аспекти, від виробничих витрат до загальної надійності та довговічності продукту.

Використання сучасних систем контролю якості, включно з автоматизованими візуальними інспекціями та неруйнівними тестуваннями забезпечує відповідність всіх виробів встановленим стандартам. Тому, контроль якості на кожному етапі виробництва безпілотних літальних апаратів (БПЛА) полягає в систематичному моніторингу та оцінці всіх аспектів виробничого процесу, починаючи від вхідних матеріалів і закінчуючи фінальною збіркою і тестуванням продукту. Це дозволяє забезпечити, що кінцевий продукт відповідає всім встановленим стандартам якості та безпеки. Це надає можливість попереджати помилки, що дозволяє їх виявляти та усувати на ранніх стадіях виробництва. Це запобігає їх накопиченню та зменшує потребу у дорогих виправленнях у фінальній фазі або після випуску продукту на ринок.

Регулярний контроль гарантує, що кожна партія продукції виготовляється з однаковою якістю, забезпечуючи послідовність і передбачуваність характеристик продукту. В іншому випадку, систематичний контроль дозволяє аналізувати і вдосконалювати виробничі процеси, що веде до підвищення ефективності, зниження виробничих витрат та мінімізації відходів.

У сфері авіації та аерокосмічних технологій, де БПЛА знаходять широке застосування, де важливо відповідати строгим національним та міжнародним стандартам безпеки. Контроль якості забезпечує це відповідність.

Висока якість продукції та її надійність підвищують довіру клієнтів та користувачів, що позитивно впливає на репутацію виробника та збільшує конкурентоспроможність на ринку.

Тому, забезпечується зниження ризиків та забезпечення безпеки, де за допомогою точного контролю якості, виробник може знизити ризики, що пов'язані з безпекою польотів БПЛА. Цим забезпечується безпечне використання своїх продуктів. При цьому, контроль якості на кожному етапі виробництва є ключовим для забезпечення високих стандартів продукту і задоволення вимог клієнтів та регуляторних органів.

Модульне та інтегроване проектування дозволяє впроваджувати модульні конструкції, які можна легко адаптувати під різні задачі та умови використання, сприяє гнучкості та легкості обслуговування апаратів.

При цьому, використання модульного та інтегрованого проектування полягає у створенні систем, що складаються з окремих компонентів або модулів, які можна легко замінити, модифікувати, оновлювати або вдосконалювати незалежно один від одного. Цей підхід приносить значні переваги в процесі розробки, виробництва, експлуатації та обслуговування продуктів, особливо в таких складних областях, як виробництво безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Модульна архітектура дозволяє розробникам складати різні конфігурації продукту, використовуючи стандартні блоки або модулі. Це спрощує процеси адаптації продукту під різні вимоги та умови експлуатації без потреби в повній переробці системи. Модулі можна легко замінити у випадку пошкодження або зносу, що зменшує час простою обладнання та вартість ремонтів. Це також дозволяє користувачам апгрейдувати певні компоненти без заміни цілої системи.

Використання модульних компонентів може спростити процеси виробництва, оскільки модулі можуть бути зібрані в різних місцях і згодом інтегровані в єдину систему. Це може забезпечити більш ефективне масове виробництво [17].

Модульне проектування дозволяє швидше реагувати на технологічні зміни та ринкові потреби, оскільки нові технології або покращення можуть бути впроваджені через зміну окремих модулів замість цілої системи. Оскільки модулі можуть бути виготовлені великими серіями та повторно використані у різних продуктах, це може знизити вартість розробки та виробництва.

Модульне проектування сприяє простішій інтеграції з іншими системами, які можуть використовувати подібні модулі або стандарти, що забезпечує більшу універсальність та сумісність продуктів.

Такий підхід не лише оптимізує процес виробництва, але й значно поліпшує можливості адаптації та розвитку технологічних продуктів у довгостроковій перспективі.

Таким чином, розглянуті методи формують основу для створення надійних і ефективних БПЛА, здатних виконувати різноманітні завдання в умовах підвищених вимог до точності та надійності.

2.2. Порівняльна характеристика методів підвищення якості виготовлення БПЛА

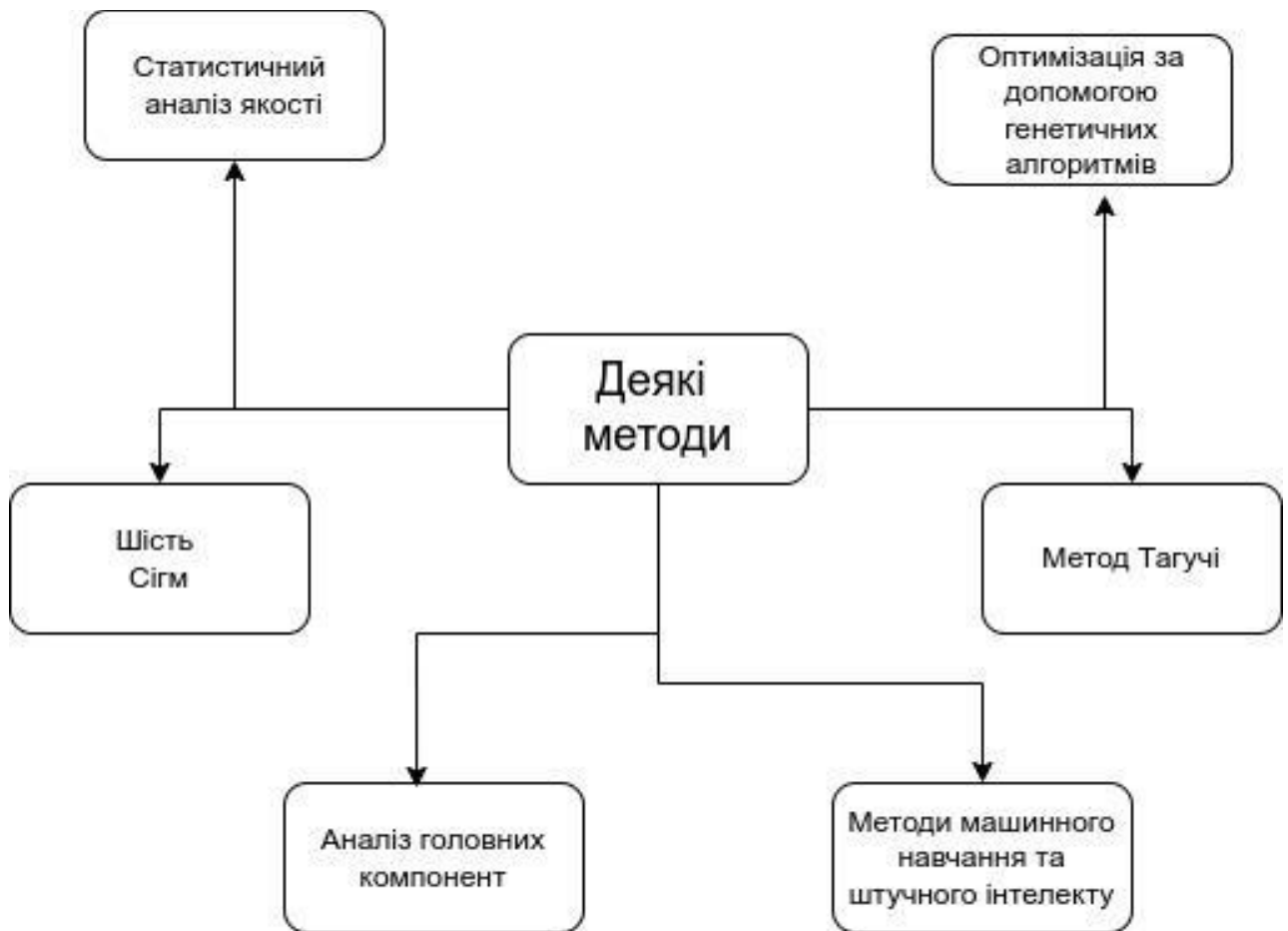


Рисунок 2.2 - Деякі методи підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) може бути досягнуто за допомогою різних математичних методів, які дозволяють

визначати оцінку виготовлення основних компонентів на основі 3D роздурку (рис. 2.2). Розглянемо деякі з них.

Статистичний аналіз якості (Statistical Quality Control, SQC) використовує статистичні методи для моніторингу та контролю виробничого процесу. Це допомагає ідентифікувати та виправити відхилення в процесі виготовлення до того, як вони призведуть до зниження якості продукції.

Цей метод допомагає попереджати проблеми з якістю, перш ніж вони виникнуть, шляхом виявлення та виправлення відхилень в процесі на ранніх стадіях за допомогою контрольних карт.

Ці контрольні картки X-bar та R (або S) використовуються для моніторингу середніх значень та діапазонів (або стандартних відхилень) вимірювань процесу. Вони дозволяють визначити, чи залишається процес у контрольованих межах, та виявляти тенденції або зсуви в процесі.

Методи аналізу якості також включають вибірковий аудит та аналіз ризиків для оцінки якості продукції. Це дозволяє компаніям оцінювати якість без необхідності перевірки кожної одиниці продукції, заощаджуючи час та ресурси [19].

Застосування нормального розподілу та інших статистичних розподілів дозволяє зрозуміти як дані процесу розподілені, що допомагає в аналізі та прогнозуванні поведінки процесу. Це важливо для оцінки спроможності процесу та його стабільності.

Для складних процесів, де взаємозв'язки між різними факторами та їх вплив на якість є складними, використовуються багатовимірні статистичні методи. Це дозволяє одночасно аналізувати вплив кількох змінних.

Статистичний аналіз якості не лише допомагає виявити та вирішити проблеми з якістю, але й сприяє підвищенню ефективності виробництва, зниженню витрат та покращенню задоволеності клієнтів. Використання статистичного аналізу вимагає регулярного збору даних, їх аналізу та застосування відповідних корективних дій для оптимізації виробничих процесів.

Підхід, що орієнтований на зменшення варіабельності процесу та видалення дефектів у виробництві називається шість сігм. Цей метод використовує ряд статистичних інструментів для виявлення причин виникнення дефектів і їх усунення. Він використовує статистичні методи для зменшення дефектів у виробничих та бізнес-процесах. Основна мета Шість Сігм – досягнення максимальної якості продукції та послуг за допомогою видалення причин помилок та варіабельності в процесах. Наведемо деякі ключові особливості та концепції, які відрізняють підхід Шість Сігм.

Шість Сігм зосереджується на задоволенні потреб клієнтів та покращенні якості продукції та послуг через зниження дефектів. Він застосовує статистичний аналіз для визначення причин варіабельності процесів і виявлення шляхів їх оптимізації.

DMAIC і DMADV - це дві ключові методології в рамках Шість Сігм. DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) застосовується для покращення існуючих процесів, тоді як DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify) використовується для створення нових продуктів або процесів.

Підхід підвищення ефективності та зниження витрат сприяє зниженню витрат шляхом усунення дефектів, які вимагають переробки, заміни або ведуть до втрат клієнтів. Окрім покращення якості, Шість Сігм також зосереджена на вимірюванні фінансової вигоди від проектів покращення. Це включає зниження витрат, збільшення прибутку, та покращення загальної ефективності організації.

Хоча Шість Сігм спочатку була розроблена для виробничих процесів, її принципи та інструменти можуть бути застосовані у різноманітних сферах, включаючи послуги, охорону здоров'я, освіту та фінанси. Цей метод може бути ефективно інтегруватись з іншими системами управління якістю, такими як ISO 9001, Lean Manufacturing, та іншими підходами до покращення процесів.

Таким чином, показані особливості роблять Шість Сігм могутнім інструментом для компаній, які прагнуть досягти високої якості продукції та послуг, зниження витрат та підвищення задоволеності клієнтів. Завдяки своїй

універсальності та ефективності, Шість Сігм знайшла широке застосування в різних галузях по всьому світу.

Аналіз головних компонент (Principal Component Analysis, PCA) є методом зниження розмірності даних, який може бути корисний для аналізу та візуалізації якості великих наборів даних про виробництво, дозволяючи ідентифікувати ключові фактори, що впливають на якість продукції. Він використовується для зменшення розмірності даних, зберігаючи при цьому якомога більше варіативності. До деяких його особливостей та переваг відносяться наступні.

РСА дозволяє зменшити кількість змінних у наборі даних, перетворюючи їх на меншу кількість незалежних змінних, званих головними компонентами. Це робить дані менш складними та легшими для аналізу. Незважаючи на зменшення розмірності, RSA прагне зберегти якомога більше інформації (варіативності) з оригінального набору даних. Головні компоненти відображають напрямки у просторі даних, де варіативність є найбільшою.

РСА може допомогти ідентифікувати приховані патерни або структуру в наборі даних, що може не бути очевидною на перший погляд. За допомогою зниження розмірності до двох або трьох головних компонентів, RSA дозволяє ефективно візуалізувати складні набори даних, спрощуючи ідентифікацію груп або кластерів.

Головні компоненти, що отримані через RSA, є ортогональними (незалежними) один від одного, що означає відсутність кореляції між ними. Це допомагає уникнути проблеми мультиколінеарності у регресійному аналізі. Зменшенням кількості змінних RSA дозволяє зменшити обсяг обчислень та оптимізувати використання пам'яті та інших ресурсів при обробці даних. Тому, RSA використовується в широкому спектрі дисциплін, включаючи фінанси, біологію, соціологію, психологію, машинне навчання, та багато інших, де потрібно аналізувати великі набори даних.

Хоча RSA сам по собі не є методом прогнозування або класифікації, але перетворені дані, отримані за допомогою RSA, можуть бути використані як вхідні дані для алгоритмів машинного навчання, покращуючи їх ефективність і

точність. Це особливо корисно в задачах, де велика кількість ознак може призвести до перенавчання моделі. PCA допомагає виявити і відкинути компоненти, які містять мало інформації або представляють собою шум, тим самим покращуючи якість даних для подальшого аналізу.

Через комбінацію оригінальних змінних для створення головних компонентів, PCA може допомогти виявити нові змінні, які ефективніше пояснюють варіативність в даних. Ці нові змінні можуть відкрити нові напрямки для аналізу та дослідження.

Перед застосуванням PCA часто необхідно стандартизувати дані, особливо коли оригінальні змінні мають різні масштаби. Це забезпечує, що кожна змінна вносить рівнозначний вклад в аналіз. Хоча головні компоненти можуть ефективно зменшити розмірність і виявити важливі напрямки варіативності, іноді їх може бути складно інтерпретувати у контексті оригінальних змінних, особливо коли PCA використовується на дуже складних наборах даних.

На додаток, PCA може спростити візуалізацію та виявлення кластерів у даних, але він не завжди є найкращим методом для кластеризації, оскільки він зосереджений на збереженні глобальної варіативності, а не на ідентифікації локальних груп.

Таким чином, аналіз головних компонент є потужним інструментом для розв'язання широкого спектру задач аналізу даних, здатний виявляти важливі структури в складних наборах даних та сприяти ефективнішому аналізу.

Методи машинного навчання та штучного інтелекту є важливими, так як вони можуть бути використані для прогнозування дефектів виробництва, оптимізації параметрів виробництва, та автоматичного виявлення та класифікації проблем з якістю на основі зібраних даних. Методи машинного навчання та штучного інтелекту (AI) відіграють ключову роль у сучасних технологіях та промисловості, пропонуючи широкий спектр алгоритмів для розв'язання складних задач. Розглянемо це більш ретельно.

На відміну від традиційних програм, які виконують строго задані інструкції, алгоритми машинного навчання здатні "вчитися" на основі даних,

тобто автоматично покращувати свою продуктивність зі збільшенням кількості та якості даних. Такі методи можуть автоматично ідентифікувати складні шаблони та взаємозв'язки в даних, що робить їх ідеальними для аналізу великих наборів даних. Тому, ці методи широко використовуються для прогнозування майбутніх подій або класифікації об'єктів на основі попередньо визначених категорій, використовуючи історичні дані.

Алгоритми машинного навчання можуть бути ще застосовані в різноманітних галузях, включаючи медицину, фінанси, виробництво, безпеку, і багато інших, демонструючи їхню високу адаптивність. У промисловості, алгоритми машинного навчання допомагають оптимізувати виробничі процеси, зменшити кількість відходів, прогнозувати несправності обладнання та покращувати загальну якість продукції.

Штучний інтелект (AI) має здатність адаптуватися до нових умов та оптимізувати свою поведінку без зовнішнього втручання, що дозволяє системам постійно покращуватися. Тому, AI може аналізувати та розуміти людську мову, дозволяючи створювати чат-ботів, аналізувати клієнтські відгуки, автоматизувати відповіді на запитання та багато іншого.

Також, поширено використовується глибоке навчання (Deep Learning), що являє собою підгалузь машинного навчання, що застосовує нейронні мережі з багатьма шарами (глибокі нейронні мережі) для виконання складніших задач. Глибоке навчання особливо ефективно в обробці зображень, розпізнаванні мови, та інших задачах, де дані можуть бути високовимірними або непередбачуваними. У цьому випадку моделі навчаються вибирати дії, щоб максимізувати деяку нагороду через спроби та помилки. Цей метод використовується в автономних системах, іграх, та для оптимізації рішень у складних середовищах.

Методи AI та машинного навчання можуть адаптуватися та вирішувати проблеми, для яких не існує точних алгоритмічних рішень, здійснюючи аналіз та виведення на основі доступних даних. Тому, штучний інтелект може автоматизувати процеси прийняття рішень, аналізуючи великі обсяги даних та виконуючи завдання, що раніше потребували людського втручання.

Таким чином, системи штучного інтелекту можуть взаємодіяти з користувачами, адаптуючись до їхніх звичок та потреб, та надаючи персоналізовані рекомендації або відповіді.

Ще одиноким методом - Тагучі (Taguchi Method), орієнтований на оптимізацію процесу виробництва шляхом систематичного дизайну експериментів для ідентифікації оптимальних умов виробництва, що забезпечують високу якість при мінімальних витратах. Метод Тагучі, розроблений японським інженером і статистиком Генічі Тагучі, є підходом до планування експериментів, який акцентує на якості продукції та процесів. До декількох особливостей цього методу відносяться наступні. Метод Тагучі зосереджений на ідентифікації та видаленні причин варіабельності в процесах виробництва, щоб забезпечити стабільну та передбачувану якість продукції.

Одна з ключових переваг методу Тагучі полягає в його здатності мінімізувати кількість необхідних експериментів для аналізу впливу різних факторів на результат. Це досягається за допомогою спеціально розроблених ортогональних масивів. Метод Тагучі оснований на тому, що якість слід вимірювати не лише виробничими параметрами, але й задоволеністю кінцевого споживача, включаючи довговічність продукту та вартість його використання.

Метод Тагучі впроваджує поняття функції втрат, яка кількісно оцінює витрати, пов'язані з відхиленням від цільових характеристик продукту. Це допомагає визначити економічні наслідки варіабельності процесів. Він розділяє дизайн на параметричний (вибір оптимальних рівнів для дизайнерських параметрів) та структурний (вибір оптимальної конфігурації компонентів та процесів), дозволяючи оптимізувати обидва аспекти для досягнення найкращої якості.

Основна мета методу Тагучі - це розробка продуктів та процесів, які є стійкими до зовнішніх та внутрішніх варіацій, забезпечуючи високу якість навіть при неідеальних умовах виробництва та експлуатації.

Метод Тагучі заохочує інтеграцію принципів якості на ранніх етапах розробки продукту, включаючи дизайн, виробництво та тестування, а також

розглядає зворотний зв'язок від споживачів як важливий елемент процесу неперервного покращення.

Оскільки метод Тагучі зосереджений на мінімізації втрат від невідповідностей та варіабельності, це призводить до зменшення витрат на виробництво та підвищення задоволеності клієнтів, що, в свою чергу, покращує співвідношення ціни та якості продукції. Він може застосовуватися до широкого спектру процесів виробництва та типів даних, від механічного виробництва до хімічних процесів та послуг.

Завдяки використанню ортогональних масивів та систематизованому підходу до планування експериментів, метод Тагучі дозволяє ефективно оцінювати вплив багатьох змінних одночасно, спрощуючи процес ідентифікації оптимальних умов. Через зосередженість на робастності дизайну та виробництва, метод Тагучі допомагає знизити ризики, пов'язані з виробничими відхиленнями, забезпечуючи високу надійність продукту на всіх етапах його життєвого циклу.

Використання методу Тагучі сприяє культурі неперервного покращення, оскільки компанії навчаються аналізувати та оптимізувати свої процеси на основі науково обґрунтованого підходу до дизайну експериментів.

Таким чином, метод Тагучі є потужним інструментом в руках інженерів та менеджерів з якості, які прагнуть оптимізувати виробничі процеси, мінімізувати витрати та покращити якість продукції, використовуючи систематичний та науково обґрунтований підхід.

Досить ефективними вважаються методи, що засновані на оптимізації за допомогою генетичних алгоритмів. Генетичні алгоритми можуть допомогти у пошуку оптимальних параметрів процесів і матеріалів, використовуючи методи, натхненні процесами природного відбору та еволюції.

Генетичні алгоритми є частиною області обчислювальної інтелекту, яка імітує процеси природного відбору, як механізм для вирішення складних оптимізаційних та пошукових задач. До деяких особливостей оптимізації за допомогою генетичних алгоритмів належать наступні.

Генетичні алгоритми базуються на принципах еволюційної біології, таких як спадковість, мутації, природний відбір та рекомбінація (кросинговер). На відміну від традиційних методів оптимізації, які починають пошук з однієї точки, ГА працює з популяцією потенційних рішень, що дозволяє одночасно досліджувати кілька регіонів простору пошуку.

Для створення наступних поколінь рішень генетичні алгоритми використовують оператори, такі як вибір (для визначення батьківських рішень, що будуть скомбіновані), кросинговер (для обміну генетичної інформації між батьківськими рішеннями) та мутація (для внесення випадкових змін у нове покоління). Вони є ефективними для широкого спектру задач, від простих до вкрай складних, включаючи задачі, для яких інші методи оптимізації можуть бути неефективними.

Генетичні алгоритми можуть одночасно оптимізувати кілька цілей, визначаючи компроміси між ними та знаходячи набір оптимальних рішень (так званий фронт Парето). Завдяки своїй гнучкості та популяційному підходу, ГА можуть ефективно адаптуватися до змін у параметрах задачі або умовах її розв'язання.

Генетичні алгоритми легко адаптуються до паралельної обробки, оскільки оцінка різних індивідів у популяції може виконуватися незалежно одна від одної. Це дозволяє значно зменшити час пошуку оптимального рішення, особливо для великих та складних задач. Вони ефективні у знаходженні глобальних оптимумів у просторі пошуку, де інші методи можуть "застрягти" у локальних мінімумах або максимумах.

Незважаючи на складність деяких оптимізаційних задач, генетичні алгоритми можуть бути відносно легко реалізовані з використанням стандартних комп'ютерних мов програмування. Ефективність генетичних алгоритмів залежить від визначення фітнес-функції (або функції придатності), яка оцінює, наскільки добре кожне потенційне рішення вирішує задачу. Фітнес-функція може бути адаптована до специфіки задачі, що дає можливість ефективної оптимізації в різних умовах.

Дослідники та практики можуть експериментувати з різними налаштуваннями генетичного алгоритму, такими як розмір популяції, ймовірності кросинговеру та мутації, щоб знайти найбільш ефективну конфігурацію для конкретної задачі. Генетичні алгоритми застосовуються в широкому спектрі галузей, включаючи інженерію, економіку, медицину, наукові дослідження, графічний дизайн, оптимізацію маршрутів та багато інших.

Завдяки своїй природі, генетичні алгоритми здатні підтримувати різноманітність у популяції кандидатів, що зменшує ризик пропуску оптимальних рішень. Оптимізація за допомогою генетичних алгоритмів є потужним інструментом, який надає унікальні можливості для розв'язання складних задач, недоступних для більш традиційних методів оптимізації.

Таким чином, кожен з цих методів має свої сильні сторони і може бути застосований в залежності від конкретних цілей підвищення якості, наявності даних та специфіки виробничого процесу БПЛА.

2.3. Запропонований метод підвищення якості виготовлення БПЛА

Сучасний прогрес у галузі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зумовлює необхідність постійного підвищення якості їх виготовлення. Тому, інноваційні технології, зокрема 3D друк, відіграють ключову роль у забезпеченні високої точності та міцності компонентів БПЛА. Запропонований метод спрямований на розробку методу і програмного засобу, які б дозволили оптимізувати процеси 3D друку для виготовлення деталей БПЛА з метою підвищення їх якості.

Метою запропонований метода дослідження є розробка ефективного методу і програмного засобу для оптимізації 3D друку компонентів БПЛА, що сприятиме підвищенню точності, міцності та надійності кінцевих виробів.

До основних завдань запропонований метода є (рис. 2.3):

- аналіз існуючих методик 3D друку, використовуваних для виготовлення основних компонентів БПЛА;

- визначення критичних параметрів друку, що впливають на якість деталей БПЛА;
- розробка програмного засобу для автоматизації процесів налаштування параметрів друку з урахуванням специфіки матеріалів та конструкцій;
- експериментальна перевірка та валідація розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках.



Рисунок 2.3 - Основні завдання запропонованого методу

Для досягнення поставлених завдань повинно застосовувати комбінації теоретичного аналізу існуючих технологій та практичних експериментів з 3D друку. Аналітична частина під час розробки програмного засобу має передбачати вивчення літературних джерел та патентів у сфері використання 3D технологій у побудові БПЛА. Практична частина включає розробку алгоритмів для програмного засобу, програмування та налаштування 3D принтерів для отримання оптимальних режимів друку.

Сутність методу 3D друку для виготовлення основних компонентів БПЛА полягає у шаровій побудові об'єктів з цифрових 3D моделей, що дозволяє створювати складні геометрії та легкі конструкції, які є ідеальними для аеронавтичних застосувань. Цей метод набуває все більшого поширення через його здатність ефективно виготовляти деталі з високою точністю та зменшеним відходом матеріалів. Основні аспекти методу 3D друку для БПЛА включають:

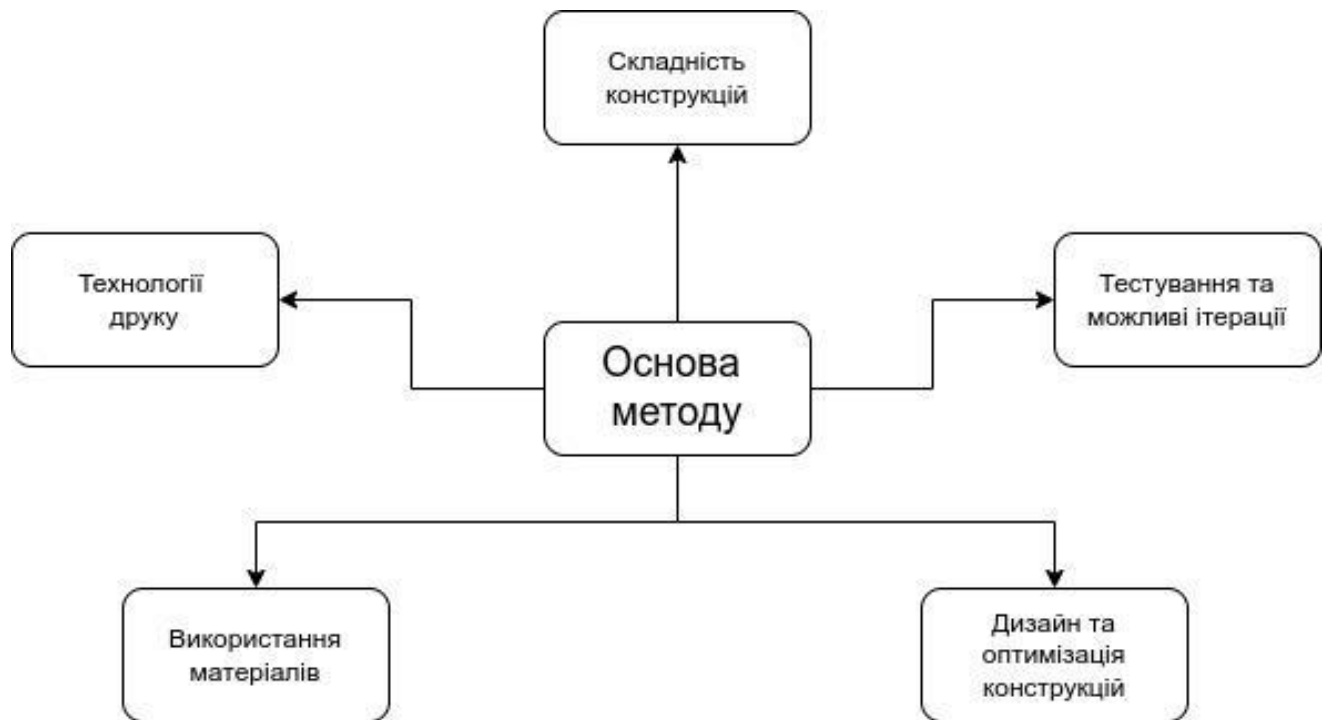


Рисунок 2.4 - Основа методу 3D друку для виготовлення основних компонентів БПЛА

Результатом реалізації запропонованого метода є використання сучасних технологій на основі різних аспектів 3D друку для виготовлення основних компонентів БПЛА. Наведемо таблицю, яка систематизує основні аспекти методу 3D друку для виготовлення основних компонентів БПЛА, включаючи технології друку, використання матеріалів, дизайн та оптимізацію конструкцій, тестування та можливі ітерації, а також складність конструкцій (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Основні аспекти методу 3D друку для виготовлення різних компонентів БПЛА

Аспект	Опис
Технології друку	Використання таких технологій як FDM (Fused Deposition Modeling), SLS (Selective Laser Sintering), та DMLS (Direct Metal Laser Sintering) для точного та міцного виготовлення компонентів.
Використання матеріалів	Застосування різноманітних матеріалів, таких як полімери (ABS, PLA), композити (вуглецеві волокна, скловолокно), метали (титан, алюміній) в залежності від вимог до міцності та гнучкості.
Дизайн та оптимізація	Впровадження комп'ютерного моделювання для створення оптимізованих, легких та міцних конструкцій, які знижують вагу БПЛА та підвищують ефективність польоту.
Тестування та ітерації	Виконання випробувань на міцність, термічну стійкість та аеродинамічні характеристики; здійснення ітерацій дизайну на основі отриманих результатів для досягнення оптимальних параметрів.
Складність конструкцій	3D друк дозволяє створення складних геометричних форм, які не можливі або важко виготовити традиційними методами, що відкриває нові можливості у конструкції і функціональності БПЛА.

Інформація, що надана в табл. 2.3 демонструє, як інноваційні підходи в 3D друку вносять значний вклад у розвиток технологій побудови безпілотних літальних апаратів, підвищуючи їхню ефективність, безпеку та функціональність. Розглянемо такі параметри більш ретельно.

Найпоширеніші технології, що застосовуються в методі 3D друку для виготовлення основних компонентів БПЛА — це Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS) та Stereolithography (SLA). FDM друкує об'єкти шляхом плавлення та екструджування термопластичного філаменту, що є бюджетним та легкодоступним варіантом. SLS використовує лазер для спікання порошкоподібного матеріалу, забезпечуючи вищу міцність та точність деталей. SLA базується на використанні лазера для полімеризації рідкої смоли, що дозволяє отримувати гладкі та точні поверхні.

Для виготовлення окремих компонентів БПЛА на основі методу 3D друку можливо використовувати різноманітні пластики, такі як ABS, PLA, поліаміди, а також смоли і метали. Вибір матеріалу залежить від необхідності в міцності, гнучкості, температурній стійкості та вазі готової деталі. 3D друк також дозволяє інженерам застосовувати складні алгоритми для оптимізації дизайну, включаючи топологічну оптимізацію, яка забезпечує зниження маси при збереженні міцності. Це критично важливо для БПЛА, де кожен грам ваги має значення. 3D друк сприяє швидкій ітерації проектних рішень де використовується тестування різних конструкцій. Це дозволяє командам швидко тестувати та модифікувати дизайн на основі випробувань та відгуків, значно скорочуючи час розробки продукту. При цьому, 3D друковані компоненти в БПЛА можуть включати складні обтічники, структурні елементи, внутрішні механізми та інтегровані системи кріплення, що забезпечують підвищену функціональність при зменшенні загальної кількості частин.

Сутність визначення критичних параметрів друку полягає в тому, що на якість деталей БПЛА при використанні 3D друку впливають різні чинники, які належать до технологій вироблення різних конструкцій. Тому, експлуатаційна ефективність розроблених деталей полягає в оптимізації процесів їх виготовлення. Це, в свою чергу, впливає на міцність виробів основних компонентів БПЛА. Далі, розглянемо різні чинники, які впливають на якість 3D друкованих компонентів:

- загальна температура екструдера, що використовується для FDM друку та має бути достатньо високою, щоб матеріал добре плавився і формувався. Але під час занадто високої температури відбувається перегорання матеріалу та зниження його механічних властивостей;

- швидкість друку, де занадто високі значення швидкості може зменшити час виготовлення внаслідок побочних дій, що полягають на якість деталей. Зокрема - це точність виготовлення деталей та можливість в достатній мірі виконати зчеплення між шарами. Тому, на практиці визначають оптимальні параметри (баланс) між швидкістю друку та якістю виготовлення деталей;

- висота шару, де нижча висота шару забезпечує кращу поверхневу якість і точність деталей, але збільшує час друку. Тому, висота шару повинна бути оптимізована в залежності від потреб задач та технічних специфікацій деталей;

- відсоток заповнення матеріалу, що визначає наскільки масивним буде внутрішнє заповнення деталі. Тому, високе заповнення деталей забезпечує їх більшу міцність, але також збільшує вагу та витрату матеріалів;

- конструктивна складність виробів, де для друкованих деталей з перекриттями або складними геометріями часто потрібні різні вимоги, які допомагають утримувати необхідну структуру під час друку. Однак використання складних технологій у виготовленні може залишати певні недоліки на поверхні, що вимагає додаткової обробки виготовлених конструкцій;

- точність позиціонування головки принтера, де необхідна висока точність переміщень друкувальної головки або лазера, що визначає наскільки точно будуть виконані габаритні розміри та деталізація деталей. Тому, неточності в позиціонуванні можуть призвести до неприпустимих дефектів у виготовлених конструкцій.

Таким чином, визначення та оптимізація цих параметрів вимагає детального тестування і експериментування. Це може бути досягнуто за допомогою проведення серії експериментів для визначення оптимальних налаштувань, які забезпечать максимальну якість друкованих компонентів БПЛА. Також, на якість виготовлення основних деталей впливає належний контроль розглянутих параметрів та автоматизація процесів налаштування параметрів друку, що може значно покращити характеристики готових БПЛА. При цьому, важлива роль належить розробки програмного засобу для автоматизації процесів налаштування параметрів друку.

Сутність розробки програмного засобу для автоматизації процесів налаштування параметрів друку в контексті виготовлення основних компонентів БПЛА полягає у створенні інтелектуальної системи, яка може оптимально керувати 3D друковим процесом. Такий підхід має на меті забезпечити високу якість, точність та ефективність виробництва компонентів з різних матеріалів та

конструкцій. Основні елементи такого програмного засобу включають наступні чинники.

Аналіз специфікацій матеріалів та конструкцій, де програмний засіб повинен вміти інтегрувати дані про матеріали (наприклад, температура плавлення, механічна міцність, гнучкість) та конструктивні особливості (геометрія, розміри, функціональні вимоги) компонентів БПЛА. Це дозволяє системі адаптуватися до різних сценаріїв використання.

Автоматизація налаштувань параметрів друку, де програма має автоматично визначає оптимальні параметри друку, такі як температуру екструдера і столу, швидкість друку, висоту шару, відсоток заповнення та необхідність підтримок, засновані на вхідних даних про матеріали і конструкції.

Оптимізація з урахуванням виробничих цілей, де система може налаштовувати процеси з урахуванням виробничих пріоритетів, таких як мінімізація часу друку, зниження витрат матеріалів, або максимізація міцності та точності.

Використання модуля машинного навчання, де існуючі алгоритми створені для аналізу результатів попередніх роздруківок та їх коригування. Це дозволяє системі "вчитися" з досвіду, постійно покращуючи налаштування друку.

Інтерфейс користувача, де існує необхідність у розробці зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, що дозволяє користувачам легко вносити зміни в налаштування, переглядати статус друку та отримувати звіти про якість готових деталей.

Інтеграція з різними CAD системами, де підключення програмного засобу до комп'ютерних систем проектування для автоматичного імпорту та аналізу 3D моделей значно спрощує процес підготовки до друку.

Таким чином, така визначена технологія розробки програмного засобу дозволяє значно підвищити ефективність виробництва компонентів для БПЛА, скоротити кількість виробничих помилок і забезпечити високу адаптивність до змінних вимог до виготовлення кінцевого продукту. В результаті цього можна досягти більшої надійності, точності та оптимізації виробничого процесу.

Таким чином, 3D друк надає значні переваги для виробництва БПЛА, включаючи зниження витрат, зменшення ваги, підвищення можливості у створенні складних конструкцій та скорочення часу розробки. Використання цих технологій дозволяє виробникам БПЛА досягати надійності, ефективності та інноваційності у своїх продуктах. При цьому, розроблення такого методу і програмного засобу сприяє інноваційному розвитку у виробництві БПЛА, зокрема, за рахунок підвищення якості виготовлення критичних компонентів. Це дозволяє забезпечити вищий рівень безпеки та надійності безпілотних систем, що є важливим чинником для їхньої комерціалізації та ширшого використання у цивільній і військовій сферах.

2.4. Висновки

У другому розділі досліджено сучасні методи виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та їхні основні характеристики. Основна увага приділялась комп'ютерне моделювання та CAD/CAM системам, де їх використання дозволяло підвищити точність проектування та оптимізацію конструкцій БПЛА, виконувати інтеграція CAD та CAM систем. Це забезпечувало уніфікацію процесів проектування та виробництва, підвищувало ефективність та знижувало витрати на виробництво БПЛА.

В цьому розділі було показано впровадження роботизованих систем виробництва, яке підвищує продуктивність та знижує вплив людського фактора, що може призводити до помилок. Автоматизація виробництва дозволяла здійснювати контроль якості на кожному етапі виробництва.

Особлива увага приділялась використанню високоточних машин та обладнання, таких як ЧПУ станки, забезпечує високу якість компонентів та дотримання строгих толеранцій. Це було критично важливо для забезпечення аеродинамічної ефективності та структурної інтегритетності БПЛА.

Виробництво БПЛА залежить від легких і міцних матеріалів, таких як композити та легкі металеві сплави, що вимагає передових технологій обробки. Тому, використання 3D-друку, автоматизованого складання та ЧПУ обладнання

дозволяє досягти високої точності компонентів. Контроль якості на кожному етапі супроводжувався впровадженню автоматизованих систем контролю якості, що забезпечувало відповідність всіх виробів встановленим стандартам. Регулярний контроль дозволяв уникнути накопичення дефектів та знижує потребу у дорогих виправленнях.

Розробка модульних конструкцій сприяли гнучкості та легкості обслуговування, дозволяючи адаптувати БПЛА під різні задачі та умови використання. Модульне проектування необхідно було для швидкого реагування на технологічні зміни та ринкові потреби.

Таким чином, розглянуті методи та інновації в цьому розділі формували основу для створення надійних і ефективних БПЛА, здатних виконувати різноманітні завдання в умовах підвищених вимог до точності та надійності.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ З ВИГОТОВЛЕННЯ БПЛА

3.1. Вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку

Визначення вимог щодо програмного модуля, який призначений для оптимізації процесу 3D друку деталей безпілотних літальних апаратів (БПЛА) має велике значення для розробки програмного коду. Цей модуль має допомагати у встановленні та автоматизації критичних параметрів друку, які впливають на якість та міцність виробів. Опис кожної вимоги до модулів програмного засобу дозволяє зрозуміти, які ключові аспекти програми повинні бути реалізовані для забезпечення ефективного та надійного виробничого процесу (рис. 3.1). Опишемо ці вимоги більш ретельно.



Рисунок 3.1 - Вимоги щодо модуля оптимізації процесу 3D друку деталей безпілотних літальних апаратів

Сутність розробки програмного засобу для автоматизації процесів налаштування параметрів друку в контексті виготовлення основних компонентів БПЛА полягає у створенні програмної системи, яка може оптимально керувати 3D друковим процесом. Такий підхід має на меті забезпечити високу якість, точність та ефективність виробництва компонентів з різних матеріалів та конструкцій. Основні елементи такого програмного засобу включають наступні чинники.

Аналіз специфікацій матеріалів та конструкцій, де програмний засіб повинен вміти інтегрувати дані про матеріали (наприклад, температура плавлення, механічна міцність, гнучкість) та конструктивні особливості (геометрія, розміри, функціональні вимоги) компонентів БПЛА. Це дозволяє системі адаптуватися до різних сценаріїв використання.

Автоматизація налаштувань параметрів друку, де програма має автоматично визначає оптимальні параметри друку, такі як температуру екструдера і столу, швидкість друку, висоту шару, відсоток заповнення та необхідність підтримок, засновані на вхідних даних про матеріали і конструкції.

Оптимізація з урахуванням виробничих цілей, де система може налаштовувати процеси з урахуванням виробничих пріоритетів, таких як мінімізація часу друку, зниження витрат матеріалів, або максимізація міцності та точності.

Використання модуля машинного навчання, де існуючі алгоритми створені для аналізу результатів попередніх роздруківок та їх коригування. Це дозволяє системі "вчитися" з досвіду, постійно покращуючи налаштування друку (табл. 3.1).

Інтерфейс користувача, де існує необхідність у розробці зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, що дозволяє користувачам легко вносити зміни в налаштування, переглядати статус друку та отримувати звіти про якість готових деталей.

Інтеграція з різними CAD системами, де підключення програмного засобу до комп'ютерних систем проектування для автоматичного імпорту та аналізу 3D моделей значно спрощує процес підготовки до друку.

Таблиця 3.1 - Вимоги щодо модуля з визначення критичних параметрів друку

Вимога	Опис
Інтерфейс користувача	Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє користувачам легко вносити та налаштовувати параметри друку.
Моніторинг температури	Вбудовані засоби для контролю та регулювання температури екструдера, з можливістю автоматичного коригування на основі виявлених даних.
Регулювання швидкості	Функціональність для налаштування швидкості друку залежно від типу деталей, що друкуються, з метою забезпечення оптимальної якості.
Налаштування висоти шару	Засоби для визначення та оптимізації висоти шару, що забезпечують кращу деталізацію та поверхневу якість при прийнятному часі друку.
Керування заповненням	Функції для налаштування відсотка заповнення, що дозволяють балансувати між міцністю і вагою деталей.
Обробка складних форм	Алгоритми для оптимізації друку складних геометричних форм, з мінімізацією дефектів і покращенням зчеплення між шарами.
Точність позиціонування	Вдосконалені методи для забезпечення точності позиціонування друкувальної головки або лазера, щоб мінімізувати помилки в розмірах.
Журналювання параметрів	Збір і аналіз даних про кожен друк для подальшого вивчення та оптимізації процесів.
Репортинг	Генерація звітів про якість і характеристики виготовлених деталей на основі зібраних параметрів та визначення можливих відхилень.

Розглянемо вимоги щодо визначення технологія розробки програмного засобу, що дозволяє значно підвищити ефективність виробництва компонентів

для БПЛА, скоротити кількість виробничих помилок і забезпечити високу адаптивність до змінних вимог до виготовлення кінцевого продукту. В результаті цього можна досягти більшої надійності, точності та оптимізації виробничого процесу.

Ці вимоги дозволять розробити комплексний інструмент, який в автоматизованому режимі допомагатиме управляти критичними параметрами 3D друку, підвищуючи якість та надійність вироблених деталей БПЛА, а також забезпечуючи відповідність до високих стандартів і технічних вимог.

Сутність інтерфейсу користувача полягає у створенні ефективного засобу взаємодії між користувачем та програмним обладнанням. Цей інтерфейс відіграє ключову роль у забезпеченні простоти та інтуїтивності управління програмним модулем, що контролює параметри 3D друку. Основна мета такого інтерфейсу — дозволити користувачам без проблем вводити необхідні дані та робити корективи в наступних налаштуваннях процесу друку:

- температура екструдера при якій матеріал буде плавитись і формуватися, що критично важливо для досягнення оптимальних властивостей матеріалу;
- швидкість друку з якою друкована головка рухається, що впливає на час друку та якість деталей;
- висота та товщина шару матеріалу, що наноситься за один прохід та впливає на деталізацію і якість поверхні друкованої деталі.

Зручний інтерфейс користувача повинен бути наочним і легко навігаційним, щоб користувачі могли швидко адаптуватися до роботи з програмою без необхідності глибокого вивчення технічних деталей. Це особливо важливо в сучасному виробничому середовищі, де час і точність є критичними факторами успіху.

Розроблений програмний модуль повинен автоматично контролювати та регулювати температуру екструдера для забезпечення оптимального плавлення матеріалу без ризику перегорання. Тому, необхідність моніторингу температури в контексті програмного модуля для 3D друку полягає в забезпеченні стабільності та точності температурного режиму під час друку. Основна мета

такого моніторингу — підтримувати температуру екструдера на рівні, який забезпечує ідеальне плавлення матеріалу, що є ключовим для формування міцних та якісних друкованих деталей.

Система автоматично моніторить температуру, використовуючи датчики та зворотний зв'язок. Це дозволяє системі вчасно реагувати на будь-які зміни температури, забезпечуючи стабільність процесу друку. Якщо температура виходить за межі заданих параметрів, програмний модуль автоматично коригує налаштування, щоб запобігти перегріву або недостатньому нагріванню. Таке регулювання критично важливе для забезпечення якості деталей, особливо при роботі з чутливими до температури матеріалами.

Стабільна температура екструдера сприяє однорідному плавленню матеріалу, що покращує зчеплення шарів та міцність кінцевого продукту. Також, це запобігає пошкодженням матеріалу, які можуть виникнути через перегорання.

Таким чином, ефективний моніторинг та регулювання температури є невід'ємною частиною технологічного процесу в 3D друці, оскільки дозволяє досягти високої якості та точності виробництва, знижуючи ризики, пов'язані з температурними відхиленнями.

При цьому, програма повинна дозволяти коригувати швидкість друку з метою забезпечення оптимального балансу між швидкістю виробництва та якістю деталей. Тому, регулювання швидкості друку в контексті програмного модуля для налаштування параметрів 3D друку полягає в здатності користувача або системи адаптувати швидкість, з якою матеріал викладається під час друку, для досягнення оптимального співвідношення між швидкістю виробництва та якістю фінального продукту. Цей модуль має містити кілька ключових аспектів, серед яких є наступні:

- змінність швидкості друку, де модуль дозволяє користувачам налаштовувати швидкість друку в залежності від потреб конкретного виробу. Наприклад, для деталей, що вимагають високої точності, швидкість може бути знижена, а для менш складних частин може бути використана вища швидкість для збільшення продуктивності;

- визначення балансу між швидкістю та якістю, де регулювання швидкості дозволяє знайти оптимальний баланс між швидкістю виробництва та якістю виготовлення. Вища швидкість може призводити до нижчої точності та гіршої адгезії між шарами, тоді як нижча швидкість покращує деталізацію та міцність деталей;

- адаптивне регулювання, де деякі сучасні програмні рішення включають автоматичне адаптивне регулювання швидкості на основі алгоритмічного аналізу проекту. Це означає, що програма може автоматично змінювати швидкість в залежності від складності або вимог до кожної частини деталі;

- користувацький інтерфейс, де інтерфейс користувача забезпечує просте та інтуїтивно зрозуміле управління швидкістю друку, дозволяючи користувачам легко вносити зміни в реальному часі або планувати їх перед початком друку.

Таким чином, ефективне регулювання швидкості є важливим інструментом у забезпеченні високоякісного виробництва в 3D друці, що дозволяє виробникам максимально оптимізувати процеси з урахуванням конкретних вимог та специфікацій.

Необхідність налаштування висоти шару в контексті програмного модуля для 3D друку полягає в тому, що користувачі мають змогу адаптувати товщину шару матеріалу, який наноситься під час процесу друку. Це налаштування є важливим, оскільки має прямий вплив на два ключові аспекти, які полягають в наступному.

Поверхнева якість деталей, де є зменшення висоти шару, що призводить до кращої деталізації і гладкості поверхні виготовленої деталі, оскільки перехід між шарами стає менш помітним. Це особливо значуще для виробів, де важлива естетична привабливість чи висока точність деталей.

Загальний час друку, де існує товщина шару, що також впливає на час, необхідний для друку об'єкта. Тонші шари потребують більше часу для друку, оскільки збільшується кількість шарів, які необхідно нанести для досягнення заданої висоти об'єкта. Навпаки, товстіші шари зменшують загальний час друку, але можуть погіршити деталізацію та якість поверхні.

Також, програмний модуль повинен забезпечувати інтуїтивно зрозумілий та доступний інтерфейс для налаштування висоти шару, що дозволяє користувачам легко вибирати оптимальні параметри залежно від вимог до конкретної деталі або загальної мети друку.

Загалом, налаштування висоти шару є критичним для забезпечення потрібного балансу між якістю друку та ефективністю виробництва, дозволяючи оптимізувати процес 3D друку відповідно до специфічних потреб проекту.

Сутність керування заповненням у контексті програмного забезпечення для 3D друку полягає у здатності користувачів налаштовувати відсоток заповнення внутрішнього простору виробу, що друкується. Цей параметр має значний вплив декілька ключових аспектів у виготовлених виробів.

Міцність деталей є важливим фактором, де відсоток заповнення матеріалом визначає, наскільки сильно буде заповнений внутрішній простір об'єкта, що впливає на його структурну міцність. Високий відсоток заповнення зазвичай забезпечує кращу міцність та жорсткість деталі, але це також залежить від геометрії заповнення і використовуваного матеріалу.

Зі збільшенням відсотка заповнення виростає і вага деталі, оскільки використовується більше матеріалу. Це може бути критичним для додатків, де необхідно збалансувати міцність та мінімальну вагу, наприклад, у виробництві безпілотних літальних апаратів, де кожен додатковий грам може впливати на польотні характеристики.

Тому, програмний модуль має забезпечувати легкий доступ до налаштувань відсотка заповнення через користувацький інтерфейс, дозволяючи користувачам вибирати різні рівні заповнення для різних частин виробу або для різних деталей в одному друку. Це може включати можливість вибору різних шаблонів заповнення, які можуть забезпечити додаткові механічні властивості чи естетичні ефекти.

Таким чином, керування заповненням є ключовим для оптимізації процесу виробництва, дозволяючи досягати потрібних характеристик за міцністю, вагою,

і вартістю виробництва, а також забезпечує можливість економії матеріалів, коли це допустимо.

Сутність обробки складних форм у контексті 3D друку полягає в розробці та імплементації спеціалізованих алгоритмів, які оптимізують процес друку для деталей зі складною геометрією. Ці алгоритми відіграють кілька критично важливих ролей.

Перш за все, це мінімізація дефектів, де вироби зі складними формами часто схильні до появи дефектів, таких як відшарування шарів, неправильне зчеплення між шарами, чи нерівності поверхні. Спеціалізовані алгоритми можуть прогнозувати та коригувати потенційні проблемні місця під час друку, адаптуючи параметри, такі як швидкість друку, температуру, або рух друкувальної головки.

У складних конструкціях критично важливо, щоб кожен шар міцно з'єднувався з попереднім. Вдосконалені алгоритми можуть забезпечити краще зчеплення, регулюючи такі параметри, як тиск екструзії та точність позиціонування шарів. Для друку складних форм потрібна висока точність налаштувань, що забезпечується шляхом детального регулювання параметрів. Алгоритми можуть автоматично налаштовувати ці параметри, залежно від обраної моделі та виявлених під час аналізу потреб.

Такі алгоритми дозволяють автоматизувати рішення, що пов'язані з оптимізацією друку, тим самим зменшуючи потребу вручну втручатись у процес, що значно підвищує продуктивність і знижує можливість помилок з боку оператора.

Оскільки складні форми вимагають більш витонченого підходу до друку, наявність ефективних алгоритмів для їх обробки є ключовим фактором у забезпеченні високої якості кінцевих продуктів. Такі алгоритми є невід'ємною частиною програмного забезпечення для 3D друку, оскільки вони дозволяють максимально використовувати потенціал сучасних технологій виробництва.

Необхідність використання точності позиціонування в контексті 3D друку полягає у високій точності рухів друкувальної головки, яка впливає на якість і

точність кінцевих виробів. Тому, точність позиціонування друкувальної головки або лазера забезпечує, що кожен шар матеріалу наноситься з високою точністю відповідно до цифрової моделі. Це критично важливо для дотримання заданих габаритів деталей, особливо при виробництві високотехнологічних компонентів, де невеликі помилки можуть призвести до непридатності продукту.

Точне позиціонування дозволяє детально відтворити всі складні елементи дизайну, включаючи тонкі стінки, вузькі канали, і точні кути, які можуть бути необхідні у спеціалізованих деталях, наприклад, в авіаційній або медичній промисловості. Зниження дефектів зменшує ризик помилок, таких як зсуви шарів або нерівності, що особливо важливо при використанні матеріалів з високими вимогами до обробки.

Висока точність позиціонування дозволяє оптимізувати процеси виробництва, забезпечуючи швидкість і ефективність, а також мінімізуючи відходи матеріалів та потребу в подальшій обробці.

Точність позиціонування головки або лазера є одним з ключових факторів, який визначає якість і точність виготовлення виробів методом 3D друку. Вона вимагає високої технологічності обладнання та чіткого програмного управління для досягнення оптимальних результатів.

Таким чином, 3D друк надає значні переваги для виробництва БПЛА, включаючи зниження витрат, зменшення ваги, підвищення можливості у створенні складних конструкцій та скорочення часу розробки. Використання цих технологій дозволяє виробникам БПЛА досягати надійності, ефективності та інноваційності у своїх продуктах. При цьому, розроблення такого методу і програмного засобу сприяє інноваційному розвитку у виробництві БПЛА, зокрема, за рахунок підвищення якості виготовлення критичних компонентів. Це дозволяє забезпечити вищий рівень безпеки та надійності безпілотних систем, що є важливим чинником для їхньої комерціалізації та ширшого використання у цивільній і військовій сферах.

3.2. Розробка програмного модуля для налаштування параметрів 3D друку

Програмний модуль для налаштування параметрів 3D друку є інструментом, що призначений для оптимізації процесів друку з метою покращення якості кінцевих виробів та ефективності виробництва. Основна мета цього модуля полягає у забезпеченні можливості користувачам та системам точно налаштовувати і керувати критичними параметрами друку, такими як швидкість, температура екструдера, висота шару, відсоток заповнення, а також специфічні налаштування для обробки складних форм і точного позиціонування (рис. 3.2).

До основних його функціональних можливостей, які необхідно реалізувати в програмному модулі належать наступні:

- моніторинг температури, де виконується автоматичний контроль температури екструдера для забезпечення ідеальних умов плавлення матеріалу;
- регулювання швидкості друку, де визначається варіативність швидкості залежно від вимог до точності та комплексності деталей;
- налаштування висоти шару, де виконується вибір оптимальної висоти шару для забезпечення кращої поверхневої якості та оптимального часу друку;
- керування заповненням матеріалу, де виконується адаптація відсотка заповнення для досягнення потрібної міцності і ваги деталі;
- обробка складних форм, де існує інтеграція алгоритмів для оптимізації друку складних геометричних конструкцій.
- точність позиціонування, де визначається висока точність управління друкувальною голівкою для досягнення високої деталізації.

Автоматичний контроль температури екструдера в 3D принтерах є критично важливим для забезпечення ідеальних умов плавлення матеріалу, що безпосередньо впливає на якість та міцність кінцевих деталей за допомогою спеціальних датчиків. Ці датчики встановлені біля або всередині екструдера для точного вимірювання температури. Вони можуть бути термісторами або термопарами, які надсилають дані про температуру до контролера.



Рисунок 3.2 - Основні функціональні можливості модуля налаштування параметрів 3D друку, які необхідні для реалізації в програмному засобі

Центральний процесор або мікроконтролер, який приймає дані від датчиків температури та аналізує їх. Якщо виявлено, що температура відрізняється від заданої, контролер активує наступний крок корекції.

При цьому, процес контролю температури задається за допомогою параметра, де користувач або програма задає оптимальну температуру плавлення для конкретного типу матеріалу через програмний інтерфейс.

Моніторинг у реальному часі виконується у випадку, коли датчики безперервно моніторять температуру екструдера і передають ці дані на контролер. Для цього використовується алгоритм PID-регулятора.

Більшість сучасних 3D принтерів використовують PID (Пропорційно-Інтегрально-Диференціальний) регулятор для контролю температури. Цей алгоритм дозволяє точно підтримувати задану температуру, швидко реагуючи на будь-які зміни, де:

- пропорційний (P), що визначає реакцію на поточну різницю між заданою та фактичною температурою;
- інтегральний (I), що враховує накопичену помилку (тобто як довго температура була невірна);
- диференціальний (D), що реагує на швидкість зміни температури.

Якщо температура вища або нижча за потрібну, контролер регулює потужність нагрівального елемента. В цьому випадку, зниження потужності буде відбуватись якщо температура вище необхідної, та збільшення потужності, якщо температура нижче необхідної.

Такий метод автоматичного контролю дозволяє оптимізувати процес 3D друку, забезпечуючи ідеальні умови для кожного типу матеріалу, що підвищує якість друкованих деталей і знижує ризик пошкодження матеріалу через неправильну температуру.

Регулювання швидкості друку в 3D принтерах є фундаментальним для досягнення балансу між швидкістю виробництва та якістю кінцевих деталей. Варіативність швидкості друку важлива, оскільки вона дозволяє адаптувати процес друку до різних технічних вимог і складностей об'єктів наступним чином.

Програмне забезпечення для скицирування (Slicing software) перетворює тривимірну модель у серію шарів та видає G-код, який контролює 3D принтер. Воно також встановлює параметри швидкості для різних секцій друку залежно від заданих користувачем критеріїв. При цьому, контролер 3D принтера виконує G-код і регулює швидкість двигунів, що контролюють переміщення друкувальної головки та платформи. Надалі, користувач визначає, які частини моделі вимагають високої точності або мають складну геометрію за допомогою управління процесом регулювання швидкості. Наприклад, деталі з великою кількістю малих особливостей або тонких стінок можуть потребувати більш повільного друку.

Встановлення швидкості через програмне забезпечення для скицирування відбувається за допомогою налаштування різних швидкостей для різних частин деталі через спеціальне програмне забезпечення. Воно може

автоматично призначити нижчу швидкість для більш складних або точних областей.

Деякі розширені 3D принтери оснащені технологіями, які дозволяють змінювати швидкість друку в реальному часі, відповідно до змін в геометрії шару, який друкується. Тому, сучасні 3D принтери можуть включати сенсори та зворотний зв'язок, які дозволяють системі автоматично коригувати швидкість для уникнення помилок друку або оптимізації адгезії між шарами.

Таким чином, регулювання швидкості друку є важливим для адаптації до вимог до деталей, забезпечення якості друкованих продуктів і оптимізації загальної продуктивності процесу 3D друку. Використання вдосконаленого програмного забезпечення та інтелектуальних систем контролю дозволяє досягти значних покращень у якості та ефективності друку.

Налаштування висоти шару в 3D друку є критично важливим для досягнення оптимального балансу між якістю друкованої поверхні та часом виробництва. Висота шару впливає на деталізацію, гладкість поверхні, міцність та час друку об'єктів. За допомогою програмного засобу 3D моделі перетворюються на серію шарів, які будуть друковані. Воно також визначає висоту кожного шару в залежності від встановлених налаштувань. Вибір висоти шару залежно від потреб, де користувач визначає висоту шару в залежності від потреб проекту. Загалом, нижча висота шару (наприклад, 0.1 мм) забезпечує вищу деталізацію і гладкість поверхні, але збільшує час друку. Вища висота шару (наприклад, 0.3 мм) зменшує час друку, але може знизити деталізацію.

Користувач вводить вибрану висоту шару в програмне забезпечення, яке автоматично розрахує траєкторію друкувальної головки для кожного шару. Для комплексних проектів може знадобитися зміна висоти шару в різних частинах об'єкта для оптимізації якості та швидкості друку. Тому, сучасне програмне забезпечення може автоматично налаштовувати висоту шару відповідно до визначених критеріїв. Після друку користувач може оцінити якість отриманого продукту та при необхідності зробити корекції у висоті шару для подальших друків.

Таким чином, вибір оптимальної висоти шару є важливим для забезпечення якості друкованих деталей і ефективності процесу друку. Використання сучасних інструментів та технологій дозволяє автоматизувати цей процес і забезпечити найкращі можливі результати.

Керування заповненням матеріалу в 3D друку є також важливою функцією, яка дозволяє оптимізувати міцність, вагу та використання матеріалу виготовлених деталей. Процес адаптації відсотка заповнення визначає потреби в міцності і вазі, де користувач аналізує вимоги до деталі, такі як необхідна міцність і вага, і виходячи з цього визначає оптимальний відсоток заповнення.

При цьому, користувач вводить обрані параметри в програмне забезпечення, яке виконує розрахунки для розміщення необхідного відсотка заповнення у виготовлюваній деталі. Програмне забезпечення може автоматично адаптувати заповнення залежно від різних зон деталі. Наприклад, більш навантажені зони можуть мати вищий відсоток заповнення для забезпечення більшої міцності.

Програмне забезпечення генерує шляхи для екструдера, які відповідають налаштуванням заповнення, формуючи внутрішню структуру деталі. Такі шаблони заповнення можуть включати різноманітні геометричні конфігурації, такі як сітка, соти або спіралі. Після завершення друку користувач оцінює міцність і вагу деталі. Якщо результати не відповідають очікуванням, можуть бути внесені корективи в налаштування заповнення для наступних друків.

Таким чином, керування заповненням в 3D друку дозволяє досягнути необхідних характеристик деталей, оптимізуючи використання матеріалу та забезпечуючи необхідну міцність. Використання сучасних програмних рішень та автоматизація цього процесу можуть значно підвищити ефективність та якість виробництва.

Керування обробкою складних форм у 3D друку включає застосування розширених алгоритмів і технологій для оптимізації друку деталей із складними геометричними характеристиками. Цей процес є критично важливим для забезпечення якості, міцності та точності друкованих конструкцій.

При цьому, використовується програмний модуль для перетворення 3D моделі в інструкції для 3D принтера, враховуючи складність форм.

Для цього, використовуються алгоритми оптимізації, що аналізують та оптимізують шляхи друку та параметри, специфічні для складних геометрій. Для цього, спочатку програмне забезпечення аналізує 3D модель на наявність складних елементів, таких як виступи, тонкі стінки, перекриття, тощо.

Алгоритми, що керують обробкою складних форм у 3D друку розраховують найефективніші шляхи екструдера, щоб мінімізувати підтримки та забезпечити достатню міцність у критичних зонах. Вони також можуть автоматично змінювати налаштування друку, як-от швидкість і температуру, для різних секцій деталі.

У подальшому застосовуються спеціальні стратегії друку для складних форм, як-от змінна висота шару або змінний відсоток заповнення, де це необхідно для підвищення якості друку. Алгоритми розроблені таким чином забезпечують краще зчеплення між шарами, особливо в складних геометричних конструкціях, для підвищення механічної міцності деталей. Після всіх розрахунків і налаштувань програмний засіб надсилає до 3D принтер необхідні команди, що виконують друк, де кожен аспект складної форми контролюється згідно з алгоритмічними рекомендаціями.

Протягом друку важливо моніторити процес, особливо для складних деталей, щоб у разі виникнення проблем адекватно відреагувати. Завдяки інтеграції цих алгоритмів, можливе значне покращення якості та надійності 3D друкованих складних форм, мінімізуючи вади та забезпечуючи високу деталізацію.

Керування точністю позиціонування в 3D друку відіграє ключову роль у забезпеченні високої якості та деталізації друкованих деталей. Основними компонентами системи 3D друку є степперні двигуни які використовуються для керування рухом друкувальної головки, платформи та, залежно від конструкції принтера, інших осей. Інші компоненти системи 3D друку - це енкодери, що

використовуються для забезпечення зворотного зв'язку про позицію друкувальної головки, дозволяючи системі точно контролювати рух.

Процес керування основними компонентами системи 3D друку з метою встановлення траєкторії майбутнього об'єкту відбувається за допомогою програмне забезпечення, що попередньо аналізує 3D модель та визначає оптимальний шлях руху друкувальної головки для максимальної точності та мінімізації помилок. За потреби, швидкість друкувальної головки регулюється для підвищення точності, особливо при друці складних деталей або деталей з тонкими структурами налаштовуються за допомогою стандартних параметрів програмного засобу. При цьому, використовуються алгоритми оптимізації, наприклад адаптивне регулювання. Це означає, що сучасні 3D принтери можуть використовувати алгоритми, які адаптивно коригують позиціонування та швидкість руху залежно від аналізу даних в реальному часі. Це дозволяє оптимізувати друк з урахуванням змін у моделі та матеріалах.

Програмне забезпечення може автоматично виявляти та компенсувати можливі помилки позиціонування, забезпечуючи, щоб кінцевий продукт відповідав проектним характеристикам.

Для цього використовуються підсистеми моніторингу та контролю процесу 3D друку, де за допомогою систем зворотного зв'язку енкодери постійно надсилають дані до контролера про реальну позицію друкувальної головки. Це дозволяє вживати корективні заходи у випадку будь-яких відхилень. Тому, якщо система виявляє некоректні рухи або відхилення від планованих траєкторій, то вона автоматично коригує параметри для забезпечення неперервності та точності друку.

Таким чином, точне керування позиціонуванням друкувальної головки є вирішальним для досягнення високої якості та деталізації в 3D друку, особливо при роботі з високоскладними та деталізованими моделями.

В загальному випадку, алгоритм адаптивного регулювання для оптимізації точності позиціонування в 3D друку (рис. 3.3) дозволяє системі

динамічно адаптуватися до змін у друкувальному процесі, забезпечуючи високу точність та якість виробів. Розглянемо основні кроки такого алгоритму.

Крок 1: Ініціалізація. Завантаження 3D моделі. На цьому кроці програмне забезпечення аналізує 3D модель для визначення геометрії та особливостей дизайну, де встановлюються первісні налаштування та визначаються стандартні параметри швидкості та точності позиціонування на основі матеріалу та вимог до деталі.

Крок 2: Аналіз комплексності деталей. Розрахунок вимог до точності. На цьому кроці виконується виявлення ділянок з високою деталізацією або складними геометричними формами та розробка оптимальних шляхів руху друкувальної головки для забезпечення потрібної точності.

Крок 3: Реалізація адаптивного контролю. Динамічне регулювання швидкості. На цьому кроці виконується зміна швидкості друкувальної головки в залежності від складності та вимог до точності конкретних ділянок моделі та моніторинг в реальному часі, де використовуються сенсори для контролю позиції друкувальної головки та внесення коректив у русі за необхідності такої дії.

Крок 4: Оптимізація траєкторії. Аналіз зворотного зв'язку. На цьому кроці програмне забезпечення аналізує дані від датчиків для виявлення будь-яких відхилень від заданої траєкторії та автоматичне адаптування траєкторії для покращення точності та зменшення можливих помилок.

Крок 5: Валідація та коригування. Перевірка якості друку. На цьому кроці виконується оцінка виготовленої деталі на предмет точності розмірів та якості поверхні та за необхідності, повторне адаптування параметрів для подальшого покращення результатів у наступних циклах друку.

Таким чином, розглянутий алгоритм дозволяє не лише забезпечувати високу точність позиціонування, але й оптимізувати якість кінцевого продукту, реагуючи на виявлені в процесі друку складності.

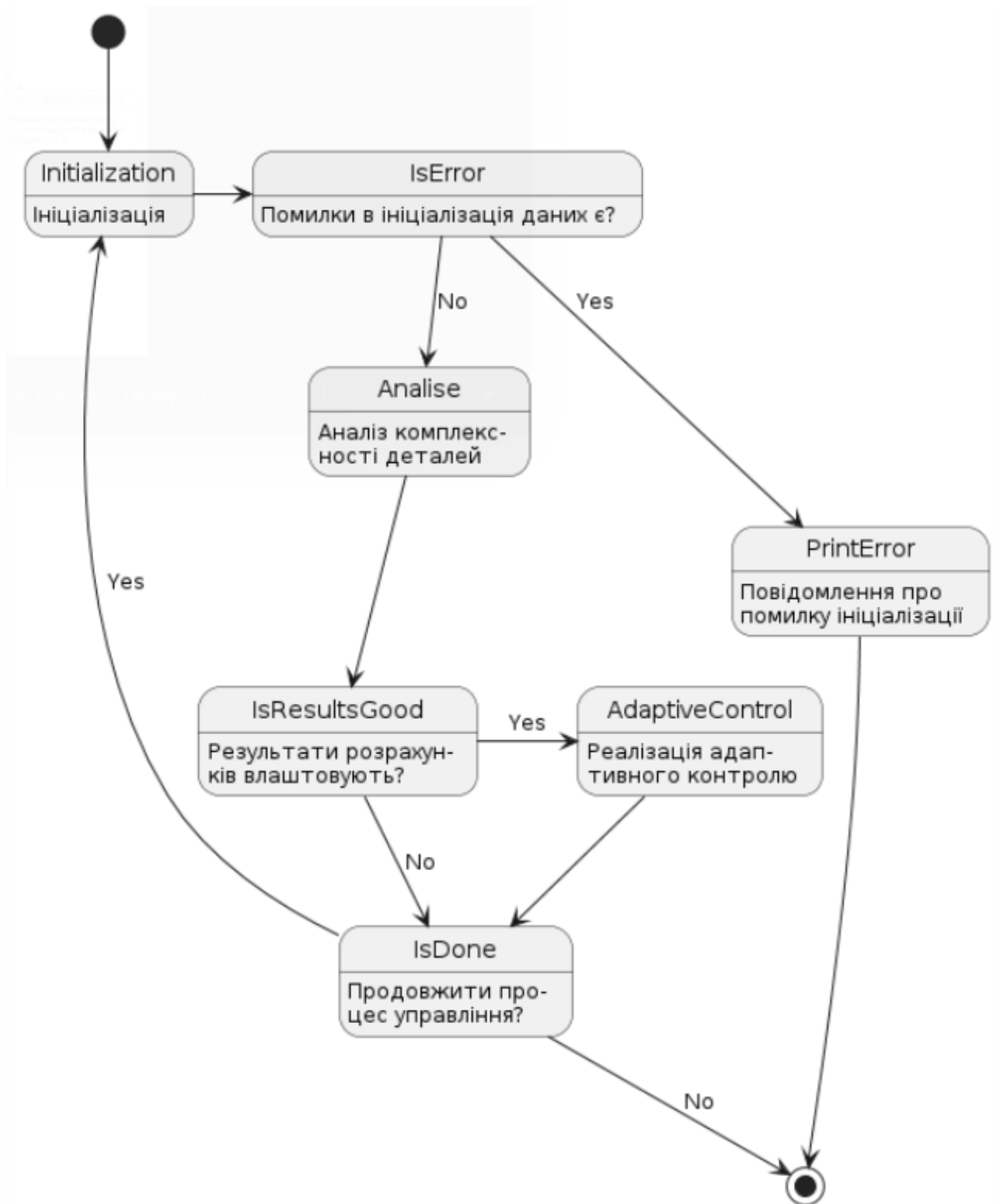


Рисунок 3.3 - UML діаграма станів адаптивного регулювання для оптимізації точності позиціонування в 3D друку

Далі, розглянемо алгоритм компенсації відхилень. Основні кроки алгоритму компенсації відхилень для оптимізації керування точністю позиціонування в 3D друку можна розглянути як систематичний підхід до виявлення, аналізу та коригування небажаних або непередбачених змін у положенні друкувальної головки. Ці кроки сприяють підтриманню точності та якості виготовлених деталей які полягають в наступному.

Крок 1: Виявлення відхилень. Моніторинг положення. На цьому кроці використовуються датчики для відстеження актуального положення друкувальної головки під час друку та проводиться виявлення відхилень за допомогою аналізу даних від датчиків для виявлення будь-яких відхилень від передбачуваного положення друкувальної головки.

Крок 2: Аналіз причин відхилень. Діагностика помилок. На цьому кроці виконується аналіз причин відхилень, таких як механічні помилки, помилки в програмному забезпеченні або зовнішні перешкоди та оцінка впливу на друк, де визначаються як ці відхилення можуть вплинути на якість та точність кінцевої деталі.

Крок 3: Розробка стратегії компенсації. Розробка корективних заходів. На цьому кроці визначаються способи корекції для виправлення відхилень, таких як зміна параметрів руху або адаптація швидкості та програмування корекцій, де впроваджуються зміни у програмне забезпечення або фірмвар, щоб автоматично враховувати ці корективи під час друку.

Крок 4: Імплементация корекцій. Застосування компенсації. На цьому кроці виконується автоматичне введення коректив у реальному часі під час друку для нейтралізації відхилень та моніторинг результатів, де йде постійне відстеження впливу внесених коректив на якість друку.

Крок 5: Оцінка та оптимізація. Аналіз ефективності корекцій. На цьому кроці виконується перевірка, наскільки ефективно внесені зміни компенсували відхилення та покращили якість продукції.

При цьому виконується постійне вдосконалення внесених подальших покращень у алгоритми та стратегії на основі зібраних даних та зворотного зв'язку від системи моніторингу.

Таким чином, розглянутий алгоритм допомагає забезпечити високу якість 3D друку за рахунок точного керування та корекції позиціонування друкувальної головки, що є особливо важливим для складних або високоточних друкованих деталей.

3.3. Висновки

У третьому розділі було досліджено розробку програмного модуля для оптимізації процесу 3D друку деталей безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Розроблений програмний модуль має зручний інтерфейс користувача, який дозволяє легко налаштовувати параметри друку.

Моніторинг температури екструдера забезпечувало оптимальні умови плавлення матеріалу. Регулювання швидкості друку дозволяло знаходити баланс між швидкістю виробництва та якістю деталей. Налаштування висоти шару впливало на деталізацію та якість поверхні друкованих виробів, тому виконувалось моніторинг цього параметру.

Керування заповненням матеріалу забезпечило необхідну міцність та вагу деталей. Тому, обробка складних форм вимагала спеціальних алгоритмів для забезпечення якості друку. Точність позиціонування друкувальної головки або лазера була критично важлива для досягнення високої якості та деталізації.

До основні функцій програмного модуля належали автоматичний контроль температури екструдера для забезпечення ідеальних умов плавлення матеріалу, регулювання швидкості друку для адаптації до різних технічних вимог та складностей об'єктів, налаштування висоти шару для досягнення оптимального балансу між якістю друкованої поверхні та часом виробництва, керування заповненням матеріалу для оптимізації міцності, ваги та використання матеріалу виготовлених деталей. Також, в програмному засобі була реалізована обробка складних форм за допомогою розширених алгоритмів і технологій для

забезпечення якості, міцності та точності друкованих конструкцій, точність позиціонування друкувальної головки для досягнення високої якості та деталізації друкованих деталей.

Розробка алгоритмів у програмному засобі дозволило впровадити адаптивне регулювання швидкості друку для забезпечення потрібної якості деталей. Використання спеціальних алгоритмів для обробки складних форм, які забезпечують мінімізацію дефектів та покращення зчеплення між шарами.

Також, були розроблені алгоритми компенсації відхилень для оптимізації точності позиціонування в 3D друці.

Таким чином, розробка програмного модуля для оптимізації 3D друку дозволяло значно підвищити якість і точність виготовлення деталей БПЛА, забезпечити високу надійність, ефективність та інноваційність виробничих процесів.

РОЗДІЛ 4.

ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ З ВИГОТОВЛЕННЯ БПЛА

4.1. Експериментальна перевірка та валідація розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках

Експериментальна перевірка та валідація розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках, використовуваних для виготовлення основних компонентів БПЛА, є критичними етапами у розробці нових технологічних рішень (рис. 4.1). Цей процес дозволяє оцінити ефективність, надійність і придатність розроблених методів у реальних умовах експлуатації та забезпечує наступні важливі аспекти.



Рисунок 4.1 - Експериментальна перевірка та валідація програмного засобу на пілотних зразках

Визначення функціональності, де виконується перевірка, чи виконує програмний засіб всі заявлені функції управління параметрами друку, чи

адекватно він реагує на зміни вхідних даних і чи забезпечує очікуваний результат виробництва.

Оцінка якості виготовлених компонентів полягає у визначенні пілотних зразків відповідно до вимог з використанням нового методу та програмного засобу до детального аналізу. Таке співставлення виготовлених компонентів (зразків) з наявними вимогами має на меті оцінку їхньої якості. Це включає в себе перевірку геометричної точності, міцності, відповідності технічним специфікаціям, та інших критичних характеристик. Безпілотні системи підлягають ретельному тестуванню в різних умовах, щоб забезпечити їх здатність функціонувати надійно в реальному середовищі. Це включає лабораторні тести, випробування на полігоні, а також моделювання різних сценаріїв використання.

Тестування міцності та довговічності необхідно для компонентів БПЛА, які повинні витримувати різні навантаження та умови експлуатації. Випробування на міцність може включати статичні та динамічні тести, тести на вигин, стиск, розтягування, а також випробування на втомну міцність. Безпілотні системи мають бути розроблені таким чином, щоб витримувати збої окремих компонентів без загрози загальній місії або безпеці. Це може включати в себе використання резервних систем, таких як двійні чи потрійні системи управління та навігації.

Всі компоненти, використані у безпілотних системах, мають бути виготовлені з дотриманням строгих стандартів якості та надійності. Це включає використання матеріалів високої міцності, точне проектування, і перевірку кожної частини перед її використанням. Також, необхідно проводити перевірку на дотримання міжнародних стандартів та регуляторних вимог. Дотримання національних та міжнародних стандартів та регуляцій, призначених для забезпечення безпеки і надійності безпілотних систем.

Аналіз відповідності вимогам безпеки БПЛА мають відповідати строгим стандартам безпеки. При цьому перевіряється, чи не виникає нових ризиків або проблем з безпекою через використання нових компонентів. Сутність рівня

безпеки та надійності безпілотних систем полягає у забезпеченні таких конструкцій та процедур, які мінімізують ризик аварій, збоїв у роботі, та інших потенційних проблем, що можуть призвести до небажаних подій або загроз для людей, майна чи навколишнього середовища. Впровадження систем управління ризиками є необхідною умовою безпеки, які дозволяють ідентифікувати, аналізувати, і мінімізувати потенційні загрози ще на ранніх етапах розробки та експлуатації. Оскільки безпілотні системи зазвичай залежать від програмного забезпечення для своєї роботи, важливо забезпечити захист від зовнішніх втручань або кібератак, які можуть спробувати зламати або зірвати їх функціонування.

Під час визначення ефективності програмного засобу оцінюється, наскільки ефективно програмний засіб спрощує процес налаштування параметрів друку, зменшує час підготовки та покращує загальний процес виробництва.

Ітеративна оптимізація виконується на основі результатів тестування програмний засіб може бути модифікований та удосконалений. Цей процес ітеративної оптимізації допомагає у виявленні та виправленні слабких місць у методах та програмних рішеннях.

Документація результатів є досить важливим етапом тестування, що забезпечує документування всіх результатів тестувань та аналізів. Це забезпечує підтвердження якості та можливість аудиту у подальшому. Також, важлива підготовка та сертифікація операторів, де навчання та сертифікація осіб, які відповідальні за управління безпілотними системами, щоб вони могли ефективно управляти цими системами та реагувати на непередбачені обставини.

Таким чином, експериментальна перевірка та валідація забезпечують не тільки технічну перевірку нових розробок, але й важливу зворотну інформацію, яка є критичною для комерціалізації нових технологій у виробництві БПЛА.

4.2. Особливості тестування програмного засобу з виготовлення БПЛА

Тестування програмного засобу для виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для роботи з 3D друку має кілька унікальних особливостей, які відрізняють його від більш традиційних методів розробки і виробництва (рис. 4.2). Розглянемо деякі з них.



Рисунок 4.2 - Особливості тестування програмного засобу для виготовлення БПЛА

Комплексність матеріалів і технологій у контексті 3D друку для виробництва БПЛА є критичним аспектом, оскільки вона визначає якість, функціональність та виживаність кінцевого продукту під час його експлуатації. Матеріали для 3D друку БПЛА обираються залежно від їх властивостей, які мають відповідати вимогам специфічних застосувань. Полімери, такі як ABS або PLA, зазвичай використовуються за їхньою вагою та простотою в обробці. Вони дешевші, але можуть мати обмеження за температурною стійкістю та міцністю. Композитні матеріали, такі як вуглецеве волокно, посилені нитками полімери, пропонують вищу міцність при зниженій вазі, що критично для летальних апаратів. Вони також забезпечують кращу стійкість до деформацій і зносу.

Інші матеріали, які можуть бути використані для виробництва високонавантажених або високотемпературних компонентів, зазвичай дорожчі та складніші у виробництві з використанням технологій 3D друку, як-от прямий металевий лазерний синтеринг (DMLS).

При цьому, технології 3D друку різняться за своїми принципами роботи, що впливає на можливості та обмеження кінцевих продуктів. Наприклад, FDM (Fused Deposition Modeling) — це найбільш поширена та доступна технологія, яка використовує термопластичні нитки. Характеризується порівняно високими допусками і може бути не найкращим вибором для деталей з високими вимогами до точності.

Інша технологія SLS (Selective Laser Sintering) використовує лазер для спікання порошку, зазвичай нейлону, забезпечуючи кращу міцність з'єднань і можливість виготовлення складніших форм без підтримки. SLA (Stereolithography) базується на полімеризації рідкого фотополімеру під дією ультрафіолету. Пропонує високу точність та якість поверхні, але матеріали можуть бути менш міцними в порівнянні з SLS.

Під час тестування програмного засобу вибір матеріалу та технології друку впливає на весь процес проектування та виробництва БПЛА так як визначає його функціональність, ефективність і тривалість служби.

Особливо важливою є перевіркою є тестування конструкційної цілісності, тобто можуть 3D-надруковані компоненти витримати навантаження, які вони зазнають під час польоту. Це може включати статичні і динамічні випробування, випробування на вигин і стиск, аеродинамічні властивості. Для БПЛА аеродинамічні характеристики є критичними, тому необхідно переконатися, що 3D-надруковані форми забезпечують оптимальний повітряний потік і стабільність. Тому, перевірка конструкційної цілісності є ключовим елементом у процесі розробки та виробництва БПЛА з використанням 3D друку. Цей процес включає декілька критичних аспектів, які гарантують, що компоненти можуть ефективно витримувати різні навантаження під час польоту. Насамперед, це структурна цілісність та статичні і динамічні випробування. Ці випробування

визначають, наскільки добре компоненти можуть витримувати різні види навантажень без деформації або руйнування. Статичні випробування оцінюють міцність при постійних навантаженнях, тоді як динамічні випробування перевіряють витривалість під час змінних навантажень, які відбуваються в реальних умовах польоту.

Випробування на вигин і стиск дозволяють з'ясувати, наскільки компоненти можуть витримати зовнішні сили, що діють на них у різних напрямках, імітуючи ситуації, які можуть виникати під час маневрів або змін умов польоту. При цьому, успішне тестування дизайну БПЛА полягає в тому, щоб 3D-надруковані компоненти сприяли покращенню аеродинамічної ефективності. Це включає забезпечення гладких, оптимізованих форм, які мінімізують повітряний опір та покращують стабільність польоту.

За допомогою комплексних тестів в аеродинамічних трубах та через комп'ютерне моделювання існує можливість вимірювати, наскільки ефективно БПЛА взаємодіє з повітряним потоком, забезпечуючи потрібні параметри стабільності та керованості. Ці аспекти тісно пов'язані і потребують інтегрованого підходу до тестування та оптимізації, щоб забезпечити, що БПЛА не тільки витримує фізичні навантаження, але й відповідає високим вимогам до аеродинамічної ефективності.

Тестування функціональності програмного забезпечення для БПЛА є критично важливим для забезпечення його ефективності, безпеки польотів, і надійності. Так, перевірка відповідності специфікаціям забезпечує, що всі вимоги до функціональності які задокументовані на етапі проектування реалізовані в програмному забезпеченні. Таке тестування включає перевірку окремих функцій програми, а також інтеграцію з іншими системами та модулями.

Під час перевірка взаємодії модулів зосереджується на тестуванні взаємодії між різними модулями та компонентами програмного забезпечення. Це важливо для забезпечення того, що всі частини працюють разом як єдиний механізм без помилок чи непередбачених взаємодій.

Тестування на надійність та стабільність оцінює стійкість програмного забезпечення до помилок, збоїв та інших нештатних ситуацій. Воно включає стрес-тестування та тестування на витривалість, щоб з'ясувати, як програмне забезпечення поводить себе під інтенсивними навантаженнями.

Також, важлива перевірка захисту від зовнішніх загроз. Тому, необхідною умовою для забезпечення якісного процесу тестування те, що програмне забезпечення повинно протистояти спробам несанкціонованого доступу або шкідливих втручань. Таке тестування включає перевірку захисту даних, автентифікації користувачів, та інших аспектів безпеки.

Тестування відповідності повинно забезпечувати дотримання нормативних вимог. Це означає, що програмне забезпечення повинно відповідати всім відповідним законодавчим і нормативним вимогам, які можуть бути специфічними для певних регіонів або індустрій. Такі розглянуті аспекти тестування спільно забезпечують, що програмне забезпечення для БПЛА є не тільки функціональним, а й безпечним, надійним, та відповідним до всіх стандартів і вимог. Вони критично важливі для успішної експлуатації БПЛА в різних умовах та сценаріях використання.

Процеси верифікації та валідації програмного забезпечення також відіграють ключову роль у забезпеченні якості та ефективності програмних продуктів, особливо у критичних застосуваннях, таких як управління БПЛА. Верифікація зосереджена на перевірці того, чи програмне забезпечення правильно розроблене згідно з технічними специфікаціями та стандартами, встановленими на початкових етапах розробки. Цей процес включає кілька важливих аспектів, в тому числі код-рев'ю, що являє собою перевірку коду на відповідність стандартам кодування та архітектурним принципам.

Автоматизоване тестування полягає у використанні тестових сценаріїв для перевірки конкретних функцій та модулів. Використання інструментів статичного аналізу для виявлення помилок та потенційних вразливостей у коді без його виконання.

Валідація фокусується на встановленні того, що кінцевий продукт задовольняє всі користувацькі потреби та вимоги, а також ефективно виконує призначені функції в реальних умовах.

Включення кінцевих користувачів для тестування програмного забезпечення в реальних сценаріях, збір зворотного зв'язку відноситься до бета-тестування, які в більшості випадків використовуються у польотних випробуваннях. Тому, деякі специфічні для БПЛА такі тести перевіряють, як програмне забезпечення управління польотами веде себе під час реальних польотних маневрів. При цьому, паралельно використовується симуляційне тестування для перевірки поведінки програмного забезпечення в контрольованих, але реалістичних умовах. На заключному етапі перевіряється, чи програмний продукт відповідає всім встановленим користувацьким вимогам.

Таким чином, верифікація та валідація сприяють забезпеченню того, що програмне забезпечення для БПЛА не тільки розроблене правильно, але й здатне ефективно функціонувати в реальних умовах, забезпечуючи безпеку та високу продуктивність системи.

5.3. Тестування основних модулів програмного засобу

Розглянемо тестування основних модулів програмного засобу на прикладі модуля моніторингу температури. Для цього, необхідно створити тест-кейси, які будуть наступного вигляду.

Створення тест-кейсів для модуля моніторингу температури в програмному засобі для управління 3D принтером включає перевірку всіх важливих функцій модуля, щоб забезпечити його надійність та ефективність. Далі наведено приклади тест-кейсів для перевірки модуля моніторингу температури.

Тест-кейс 1: тест на точність вимірювання температури

Мета: Перевірка точності датчиків температури в екструдері.

Кроки:

Налаштувати екструдер на певну температуру (наприклад, 200°C).

Використовувати зовнішній калібрований термометр для перевірки фактичної температури екструдера.

Необхідно: порівняти відображену температуру в програмі з показаннями зовнішнього термометра.

Очікуваний результат: температура, відображена програмним засобом, має бути в межах $\pm 1^{\circ}\text{C}$ від показань зовнішнього термометра.

Тест-кейс 2: Тест реакції на зміну температури

Мета: Перевірка здатності системи швидко реагувати на зміну температури.

Кроки:

Запустити процес друку.

Штучно змінити температуру екструдера (наприклад, збільшити на 10°C).

Необхідно: спостерігати за реакцією системи та часом відгуку на коригування температури.

Очікуваний результат: система автоматично виявляє зміну та коригує температуру до заданої у визначений час.

Тест-кейс 3: Тест автоматичного коригування температури

Мета: Перевірка функціональності автоматичного коригування температури.

Кроки:

Встановити температуру екструдера на певний поріг (наприклад, 205°C).

Почати процес друку.

Необхідно: виміряти час та ефективність системи у відновленні та підтримці заданої температури після штучного зниження температури.

Очікуваний результат: Система автоматично виявляє і коригує температуру, повертаючи її до заданого порога в короткий проміжок часу.

Тест-кейс 4: Тест системи сповіщення

Мета: Перевірка системи сповіщення при виході температури за допустимі межі.

Кроки: встановити температуру екструдера вище допустимого порогу (наприклад, 250°C).

Необхідно: спостерігати за сповіщеннями від системи.

Очікуваний результат: програма генерує сповіщення про перевищення температури, попереджаючи користувача про потенційну небезпеку.

Надані приклади тест-кейсів допомагають забезпечити визначення:

- правильності роботи модуля моніторингу температури у відповідності вимог до коректних та ефективних параметрів;
- оптимальних умов роботи пристрою для якісного 3D друку.

Модуль моніторингу температури в системі управління 3D принтером зазвичай використовує наступні вхідні дані для ефективного виконання своїх функцій:

- задана температура екструдера, де існує основне значення, яке користувач або система задають як ідеальну температуру для плавлення конкретного типу філаменту. Температура може змінюватися в залежності від матеріалу друку (наприклад, PLA, ABS, PETG);

- поточна температура екструдера, де існують реальні дані, які надходять від термістора або іншого датчика температури, встановленого біля або в самому екструдері. Ці дані використовуються для моніторингу та регулювання температури в реальному часі;

- історія температурних змін, де існують дані про попередні коливання температури можуть використовуватися для аналізу тенденцій та налаштування параметрів системи, щоб краще реагувати на подібні ситуації в майбутньому;

- параметри матеріалу, де існує інформація про тип філаменту, включно з його температурними характеристиками, такими як оптимальна температура плавлення та температура руйнування. Ці дані можуть бути введені вручну користувачем або завантажені з бази даних матеріалів;

- швидкість друку, де існує параметри які не прямо пов'язані з температурою. Це означає, що швидкість друку може впливати на тепловий

режим екструдера, оскільки швидші швидкості можуть вимагати вищих температур для ефективного плавлення філаменту;

- зовнішні умови, де існують дані про температуру та вологість в друкарні, які можуть впливати на охолодження екструдера та філаменту.

Ці описані вхідні дані дозволяють модулю моніторингу температури точно відстежувати та регулювати температурні параметри, забезпечуючи оптимальні умови для 3D друку та мінімізуючи ризики, пов'язані з неправильним температурним режимом.

З метою проведення тестування цих даних існує форма введення користувача, яка надсилається до серверної частини програмного засобу показана на рис. 5.5.

В магістерській роботі було створено декілька програмних модулів. Далі показано інтерфейс модуля моніторингу температури (рис. 5.4), що включає HTML для структури сторінки та JavaScript для взаємодії з сервером з метою динамічного оновлення даних (додаток В). Нижче наведено приклад такого інтерфейсу (рис. 5.5), який дозволяє користувачам переглядати поточну температуру екструдера, статус та отримувати сповіщення про попередження або тривогу. Програмний код (html та javascript) наведений у додатку В.

Далі, модуль моніторингу температури в системі управління 3D принтером генерує декілька типів вихідних даних, які використовуються для контролю, коригування процесу друку, та інформування користувача. До основних вихідних даних цього модуля відносяться наступні:

- поточна температура екструдера, що означає пряме відображення вимірної температури екструдера в реальному часі, яке дозволяє користувачам бачити, чи працює обладнання в нормальному температурному діапазоні;

- статус температурного контролю визначає індикацію того, чи температура в межах заданого діапазону, чи виникали відхилення, які можуть потребувати уваги користувача;

Введення даних для екструдера

Задана температура екструдера (°C):

Поточна температура екструдера (°C):

Історія температурних змін:

Тип філаменту:

Оптимальна температура плавлення (°C):

Температура руйнування (°C):

Швидкість друку (мм/с):

Температура в друкарні (°C):

Вологість в друкарні (%):

Рисунок 5.4 - HTML форма тестування даних які відправляються на сервер для модуля моніторинга температури в системі управління 3D принтером

Моніторинг температури екструдера

Температура: Завантаження...

Статус: Завантаження...

Рисунок 5.5 - Результат роботи модуля моніторинга температури, який передає інформацію до серверної частити програмного засобу

- сигнали тривоги або попередження, що визначає автоматичні сповіщення або попередження, які генеруються при виявленні температур, що виходять за межі безпечних або оптимальних робочих параметрів. Це допомагає запобігти пошкодженню обладнання або матеріалу.

- логи температурних даних, де виконуються записи про всі зміни температури протягом сесії друку, які можуть використовуватися для аналізу процесу друку, виявлення проблем або оптимізації майбутніх друків.

- команди регулювання температури, де визначаються вихідні сигнали, які відправляються до нагрівальних елементів для коригування температури відповідно до поточної потреби. Це забезпечує стабільність та точність температурного режиму.

Таким чином, надані вихідні дані є критично важливими для забезпечення контрольованого та якісного процесу тестування програмного модуля моніторингу температури, що дозволяє користувачам та системі вчасно реагувати на будь-які температурні відхилення або аномалії у роботі 3D принтера.

5.5. Висновки

У четвертому розділі досліджено процес тестування програмного засобу для виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з використанням 3D друку. Перевірка функціональності програмного засобу підтвердила, що проведення та виконання всіх заявлених функцій тестування реагує на зміни вхідних даних. Тому, оцінка якості виготовлених компонентів повинна показувати відповідність до встановлених технічних специфікацій, включаючи геометричну точність та міцність.

Тестування міцності та довговічності підтвердило, що компоненти витримують різні навантаження та умови експлуатації, забезпечуючи надійність у реальних умовах. Аналіз відповідності вимогам безпеки засвідчив, що нові компоненти не створюють додаткових ризиків та відповідають встановленим стандартам.

Оцінка ефективності програмного засобу показала зменшення часу підготовки та покращення загального процесу виробництва. Ітеративна оптимізація на основі результатів тестування дозволила виявити та виправити слабкі місця у методах та програмних рішеннях.

До особливостей тестування програмного засобу включало перевірку комплексності матеріалів і технологій, забезпечуючи високу якість і функціональність кінцевих продуктів. Перевірка конструкційної цілісності та аеродинамічних характеристик підтвердила, що компоненти забезпечують оптимальний повітряний потік і стабільність. Тестування функціональності програмного забезпечення підтвердило відповідність специфікаціям, надійність та стабільність роботи. Тому, процеси верифікації та валідації забезпечили відповідність програмного забезпечення технічним та користувацьким вимогам.

Тестування модуля моніторингу температури підтвердило його здатність точно вимірювати та контролювати температуру екструдера, забезпечуючи стабільний температурний режим. Автоматичне коригування температури забезпечило ефективне відновлення та підтримку заданих температурних параметрів. Система сповіщень за допомогою розробленого програмного засобу ефективно попереджала користувача про будь-які температурні відхилення, забезпечуючи безпеку процесу друку.

Таким чином, результати тестування підтвердили високу ефективність та надійність програмного засобу для виготовлення БПЛА, забезпечуючи високу якість компонентів, відповідність технічним і безпековим вимогам, а також ефективність виробничих процесів.

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [26]

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж у аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж у аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж у аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж у аналогів

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту
----	--	--	---	--	---

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	5	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	4
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	5	4
5. Ринкові переваги (технічні властивості)	5	4	5
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	4	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	2	2
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	39	42	42
Середньоарифметична сума балів СБс	41,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [26].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів» становить 41,0 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [27]:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при

цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{ai} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірю- вання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Інтерфейс програмного засобу	бал	6	9	1,5	0,2
Кількість параметрів що підлягають контролю	од	8	16	2	0,25

Кількість модельованих блоків БПЛА	од	4	8	2	0,15
Кількість вихідних інтерфейсів	од	1	4	4	0,15
Об'єм оперативної пам'яті	ГБ	8	4	2	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,5 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,25 = 2,20.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,20 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [26]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{pi} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=20$ дні.

$Z_o = 21150,00 \cdot 12 / 20 = 12690,00$ грн.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	21150,00	1057,50	12	12690,00
Інженер-розробник програмного забезпечення	20500,00	1025,00	32	32800,00
Інженер-метролог	19500,00	975,00	3	2925,00
Технік 1-ї категорії	9200,00	460,00	10	4600,00
Всього				53015,00

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [26];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 20$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,35 / (20 \cdot 8) = 74,25 \text{ грн.}$$

$$Зр_1 = 74,25 \cdot 4,35 = 322,99 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Установка обладнання для розробки програмного забезпечення	4,35	2	1,10	74,25	322,99
Підготовка робочого місця розробника програмного забезпечення	5,50	3	1,35	91,13	501,19

Інсталяція програмного забезпечення	6,25	4	1,50	101,25	632,81
Монтаж обладнання експериментального виробництва	7,20	4	1,50	101,25	729,00
Налагодження програмних блоків	5,65	5	1,70	114,75	648,34
3-д друк компонентів	15,00	5	1,70	114,75	1721,25
Тестування ПЗ	6,50	2	1,10	74,25	482,63
Всього					5038,20

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доп}} = (53015,00 + 5038,20) \cdot 11 / 100\% = 6385,85 \text{ грн.}$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_n}{100\%} \quad (5.8)$$

де H_n – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (53015,00 + 5038,20 + 6385,85) \cdot 22 / 100\% = 14176,59 \text{ грн.}$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 4 \cdot 185,00 \cdot 1,02 - 0 \cdot 0 = 754,80 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір AXENT	185,00	4	0	0	754,80
Папір для записів AXENT Papers A5	79,00	2	0	0	161,16
Органайзер офісний AXENT	245,00	2	0	0	499,80
Канцелярське приладдя (набір офісного працівника) AXENT	188,00	4	0	0	767,04
Картридж для принтера Canon 6500	1099,00	1	0	0	1120,98
Диск оптичний New CD-RW	28,50	3	0	0	87,21

Flesh-пам'ять Kingston Data 64 GB	195,00	2	0	0	397,80
Тека для паперів AXENT	110,00	4	0	0	448,80
Пластик для 3D- принтера Gembird ABS, 1.75 мм, black, 1кг (3DP- ABS1.75-01-BK)	600,00	5,000	0	0	3060,00
Інші матеріали	200,00	1,000	0	0	204,00
Всього					7501,59

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.10)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_e = 5 \cdot 150,00 \cdot 1,02 = 765,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Підложка змінна для 3-д друку	5	150,00	765,00
Всього			765,00

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 3799,00 \cdot 1 \cdot 1,02 = 3874,98 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Коммутатор TP-LINK TL-SG1024D (TL-SG1024D)	1	3799,00	3874,98
Зд-принтер Creality K1C	1	26000,00	26520,00
Всього			30394,98

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инпр}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де C_{inprg} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{inprg.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{inprg} = 40,38 \cdot 1 \cdot 1,02 = 41,19 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Середовище розробки Visual Studio	1	40,38	41,19
CAD система Avtodesk (доступ, місяць)	2	150,00	306,00
Абонентна плата доступу до мережі Internet (за місяць)	2	385,00	785,40
Підтримка домену (місяць)	2	25,00	51,00
Всього			1183,59

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{C_{б}}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де $C_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{в}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (22999,00 \cdot 2) / (3 \cdot 12) = 1277,72 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер розробника програмного забезпечення (Ноутбук Lenovo IdeaPad 3 15IAU7 (82RK011NRA) Arctic Grey / 15.6" IPS Full HD / Intel Core i5-1235U / RAM 16 ГБ / SSD 512 ГБ)	22999,00	3	2	1277,72
Робоче місце розробника ПЗ	7500,00	5	2	250,00
Пристрої виводу інформації	6600,00	4	2	275,00
Оргтехніка	7980,00	5	2	266,00
Приміщення лабораторії розробки	412000,00	25	2	2746,67
Операційна система Microsoft Windows 10 Home	4600,00	3	2	255,56
Microsoft Office 2016	4750,00	3	2	263,89
Метрологічна система MC1200	19500,00	4	2	812,50
Всього				6147,33

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,04 \cdot 250,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 75,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер розробника програмного забезпечення (Ноутбук Lenovo IdeaPad 3 15IAU7 (82RK011NRA) Arctic Grey / 15.6" IPS Full HD / Intel Core i5-1235U / RAM 16 ГБ / SSD 512 ГБ)	0,04	250,0	75,00
Робоче місце розробника ПЗ	0,11	250,0	206,25
Пристрої виводу інформації	0,06	3,2	1,44
Оргтехніка	0,45	1,6	5,40
Коммутатор TP-LINK TL-SG1024D (TL-SG1024D)	0,03	250,0	56,25
3д-принтер Creality K1C	0,22	15,0	24,75
Метрологічна система MC1200	0,05	20,0	7,50

Всього	376,59
--------	--------

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (53015,00 + 5038,20) \cdot 20 / 100\% = 11610,64 \text{ грн.}$$

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (53015,00 + 5038,20) \cdot 30 / 100\% = 17415,96 \text{ грн.}$$

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{ив}}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де $H_{\text{ив}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{ив}} = 50\%$.

$$I_{\text{в}} = (53015,00 + 5038,20) \cdot 50 / 100\% = 29026,60 \text{ грн.}$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (5.18)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{\text{нзв}} = 100\%$.

$$B_{\text{нзв}} = (53015,00 + 5038,20) \cdot 100 / 100\% = 58053,20 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{\text{заг}} = Z_o + Z_p + Z_{\text{одд}} + Z_n + M + K_{\text{в}} + B_{\text{спец}} + B_{\text{прз}} + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + B_{\text{сп}} + I_{\text{в}} + B_{\text{нзв}}. \quad (5.19)$$

$$B_{\text{заг}} = 53015,00 + 5038,20 + 6385,85 + 14176,59 + 7501,59 + 765,00 + 30394,98 + 1183,59 + 6147,33 + 376,59 + 11610,64 + 17415,96 + 29026,60 + 58053,20 = 241091,12 \text{ грн.}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (5.20)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,95$.

$$ЗВ = 241091,12 / 0,95 = 253780,13 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів продукту, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	80	100	120	75

N – кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 500 осіб;

C_o – вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 9800,00 грн;

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості програмного продукту від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 860,00 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [26]:

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.21)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 40\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta \Pi_1 = (860,00 \cdot 500,00 + 10660,00 \cdot 80) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 349229,47 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta \Pi_2 = (860,00 \cdot 500,00 + 10660,00 \cdot 180) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 639437,31 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta \Pi_3 = (860,00 \cdot 500,00 + 10660,00 \cdot 300) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 987686,72 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (860,00 \cdot 500,00 + 10660,00 \cdot 375) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1205342,60 \text{ грн.}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.22)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,15$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} \Pi\Pi &= 349229,47/(1+0,15)^1 + 639437,31/(1+0,15)^2 + 987686,72/(1+0,15)^3 + \\ &+ 1205342,60/(1+0,15)^4 = 303677,80 + 483506,47 + 649420,05 + 689158,54 = 2125762,87 \end{aligned}$$

грн.

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.23)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв} = 2$;

$ЗВ$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 253780,13 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot ЗВ = 2 \cdot 253780,13 = 507560,26 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (5.24)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 2125762,87 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 507560,26 грн.

$$E_{абс} = ПП - PV = 2125762,87 - 507560,26 = 1618202,61 \text{ грн.}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_g = T_{жс} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (5.25)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 1618202,61 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 507560,26 грн;

$T_{жс}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{жс} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 1618202,61/507560,26)^{1/4} - 1 = 0,43.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$:

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (5.26)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,09$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,25.

$\tau_{\min} = 0,09 + 0,25 = 0,34 < 0,43$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_e , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}, \quad (5.27)$$

де E_e – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,43 = 2,32 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

5.5. Висновки

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості

виготовлення безпілотних літальних апаратів» становить 41,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,20 рази.

Також термін окупності становить 2,32 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів».

ВИСНОВКИ

Перший розділ присвячений обґрунтуванню вибору методу аналізу для підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА). У роботі розглядається комплекс заходів та технологічних інновацій, спрямованих на покращення характеристик, надійності та ефективності виробничих процесів БПЛА.

До основних аспектів забезпечення надійності компонентів належали використання довговічних матеріалів, що зменшують ризик поломок, підвищення точності виробництва деталей та впровадження строгих процедур контролю якості. Також, розглядалась розробка конструкцій, що враховували міцність, стійкість до навантажень та оптимізацію ваги.

Впровадження високоточних технологій обробки для досягнення суворої відповідності до проектних специфікацій дозволили використовувати інноваційні методи для забезпечення аеродинамічних та структурних властивостей БПЛА. При цьому, розглядалось удосконалення матеріалів, розробка нових та вдосконалення існуючих матеріалів для підвищення міцності, використання композитних матеріалів для створення більш ефективних конструкцій.

Особлива увага приділялась контролю якості та впровадженню автоматизованих систем контролю якості на всіх етапах виробництва, використанню статистичних методів аналізу даних для постійного вдосконалення продукції та процесів.

Застосування роботизованих систем для підвищення ефективності та стабільності виробничих процесів надало можливість автоматизувати процеси та технологій, зниження вплив людського фактора на якість продукції та впроваджувати інноваційне проектування.

Використання комп'ютерного моделювання та симуляцій для оптимізації конструкцій було необхідним для впровадження новітніх технологій та методів для покращення функціональних характеристик БПЛА.

Особливості розробки методів підвищення якості полягало в дослідженні матеріалів, оптимізація конструкцій, автоматизація процесів та інтеграція нових технологій.

Разом з тим, на практиці зустрічались проблеми та виклики впровадження методів, які полягали у високі витрати на дослідження та розробку, складність інтеграції нових технологій, негаразди з контролем якості у виробництві, підвищені вимоги до матеріалів та забезпечення стабільності виробничих процесів. Таким чином, описана робота в цьому розділі дозволила полягала в аналізі ключових аспектів та розгляду комплексних рішень для підвищення якості виготовлення БПЛА, акцентуючи увагу на інноваційних матеріалах, технологіях та методах контролю якості.

У другому розділі досліджено сучасні методи виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та їхні основні характеристики. Основна увага приділялась комп'ютерне моделювання та CAD/CAM системам, де їх використання дозволяло підвищити точність проектування та оптимізацію конструкцій БПЛА, виконувати інтеграція CAD та CAM систем. Це забезпечувало уніфікацію процесів проектування та виробництва, підвищувало ефективність та знижувало витрати на виробництво БПЛА.

В цьому розділі було показано впровадження роботизованих систем виробництва, яке підвищує продуктивність та знижує вплив людського фактора, що може призводити до помилок. Автоматизація виробництва дозволяла здійснювати контроль якості на кожному етапі виробництва.

Особлива увага приділялась використанню високоточних машин та обладнання, таких як ЧПУ станки, забезпечує високу якість компонентів та дотримання строгих толеранцій. Це було критично важливо для забезпечення аеродинамічної ефективності та структурної інтегритетності БПЛА.

Виробництво БПЛА залежить від легких і міцних матеріалів, таких як композити та легкі металеві сплави, що вимагає передових технологій обробки. Тому, використання 3D-друку, автоматизованого складання та ЧПУ обладнання дозволяє досягти високої точності компонентів. Контроль якості на кожному

етапі супроводжувався впровадженню автоматизованих систем контролю якості, що забезпечувало відповідність всіх виробів встановленим стандартам. Регулярний контроль дозволяв уникнути накопичення дефектів та знижує потребу у дорогих виправленнях.

Розробка модульних конструкцій сприяли гнучкості та легкості обслуговування, дозволяючи адаптувати БПЛА під різні задачі та умови використання. Модульне проектування необхідно було для швидкого реагування на технологічні зміни та ринкові потреби. Таким чином, розглянуті методи та інновації в цьому розділі формували основу для створення надійних і ефективних БПЛА, здатних виконувати різноманітні завдання в умовах підвищених вимог до точності та надійності.

У третьому розділі було досліджено розробку програмного модуля для оптимізації процесу 3D друку деталей безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Розроблений програмний модуль має зручний інтерфейс користувача, який дозволяє легко налаштовувати параметри друку.

Моніторинг температури екструдера забезпечувало оптимальні умови плавлення матеріалу. Регулювання швидкості друку дозволяло знаходити баланс між швидкістю виробництва та якістю деталей. Налаштування висоти шару впливало на деталізацію та якість поверхні друкованих виробів, тому виконувалось моніторинг цього параметру.

Керування заповненням матеріалу забезпечило необхідну міцність та вагу деталей. Тому, обробка складних форм вимагала спеціальних алгоритмів для забезпечення якості друку. Точність позиціонування друкувальної головки або лазера була критично важлива для досягнення високої якості та деталізації.

До основні функцій програмного модуля належали автоматичний контроль температури екструдера для забезпечення ідеальних умов плавлення матеріалу, регулювання швидкості друку для адаптації до різних технічних вимог та складностей об'єктів, налаштування висоти шару для досягнення оптимального балансу між якістю друкованої поверхні та часом виробництва,

керування заповненням матеріалу для оптимізації міцності, ваги та використання матеріалу виготовлених деталей.

Також, в програмному засобі була реалізована обробка складних форм за допомогою розширених алгоритмів і технологій для забезпечення якості, міцності та точності друкованих конструкцій, точність позиціонування друкувальної головки для досягнення високої якості та деталізації друкованих деталей. Розробка алгоритмів у програмному засобі дозволило впровадити адаптивне регулювання швидкості друку для забезпечення потрібної якості деталей. Використання спеціальних алгоритмів для обробки складних форм, які забезпечують мінімізацію дефектів та покращення зчеплення між шарами. Також, були розроблені алгоритми компенсації відхилень для оптимізації точності позиціонування в 3D друці. Таким чином, розробка програмного модуля для оптимізації 3D друку дозволяло значно підвищити якість і точність виготовлення деталей БПЛА, забезпечити високу надійність, ефективність та інноваційність виробничих процесів.

У четвертому розділі досліджено процес тестування програмного засобу для виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з використанням 3D друку. Перевірка функціональності програмного засобу підтвердила, що проведення та виконання всіх заявлених функцій тестування реагує на зміни вхідних даних. Тому, оцінка якості виготовлених компонентів повинна показувати відповідність до встановлених технічних специфікацій, включаючи геометричну точність та міцність.

Тестування міцності та довговічності підтвердило, що компоненти витримують різні навантаження та умови експлуатації, забезпечуючи надійність у реальних умовах. Аналіз відповідності вимогам безпеки засвідчив, що нові компоненти не створюють додаткових ризиків та відповідають встановленим стандартам.

Оцінка ефективності програмного засобу показала зменшення часу підготовки та покращення загального процесу виробництва. Ітеративна

оптимізація на основі результатів тестування дозволила виявити та виправити слабкі місця у методах та програмних рішеннях.

До особливостей тестування програмного засобу включало перевірку комплексності матеріалів і технологій, забезпечуючи високу якість і функціональність кінцевих продуктів. Перевірка конструкційної цілісності та аеродинамічних характеристик підтвердила, що компоненти забезпечують оптимальний повітряний потік і стабільність. Тестування функціональності програмного забезпечення підтвердило відповідність специфікаціям, надійність та стабільність роботи. Тому, процеси верифікації та валідації забезпечили відповідність програмного забезпечення технічним та користувацьким вимогам.

Тестування модуля моніторингу температури підтвердило його здатність точно вимірювати та контролювати температуру екструдера, забезпечуючи стабільний температурний режим. Автоматичне коригування температури забезпечило ефективне відновлення та підтримку заданих температурних параметрів. Система сповіщень за допомогою розробленого програмного засобу ефективно попереджала користувача про будь-які температурні відхилення, забезпечуючи безпеку процесу друку.

Таким чином, результати тестування підтвердили високу ефективність та надійність програмного засобу для виготовлення БПЛА, забезпечуючи високу якість компонентів, відповідність технічним і безпековим вимогам, а також ефективність виробничих процесів.

Список використаної літератури

1. Maidaniuk A., Khoshaba O. Main directions of software development in the field of drone control /Матеріали XXIV конференції Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. "Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій". Одеса, 18-19 квітня 2024 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2024 р. - с.135-137.

2. Бакутін Є.С. Напрями вдосконалення законодавчого регулювання використання БПЛА в діяльності поліції України. Держава і право. Вип. 77. 2022. С. 314–327.

3. Мовчан А.В., Мовчан М.А. Використання БПЛА у діяльності правоохоронних органів. Соціально-правові студії. 2020. Т 3, № 9. С. 104–110. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v66i5.2035>.

5. Мосленко С.І., Зеленський С.М. Правові засади проведення авіаційних робіт з використанням БПЛА у сфері кримінального правосуддя. Науковий вісник Львівської академії. Серія: Економіка, менеджмент та право. 2020. Вип. 2. С. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.33251/2707-8620-2020-2-154-161>.

5. Кузьменко Є.В. Проблеми правового регулювання застосування безпілотних літальних апаратів у правоохоронній діяльності Національної поліції України. Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ. 2021. № 4 (101). С. 82–88.

6. Благута Р.І., Мовчан А.В. Новітні технології у розслідуванні злочинів: сучасний стан і проблеми використання: монографія. Львів: Львів. держ. універ. внутр. справ, 2020. 256 с.

7. Застосування органами та підрозділами поліції технічних приладів і технічних засобів фото- і кінозйомки, відеозапису. Аналіз закордонного досвіду: методичні матеріали для працівників підрозділів поліції /В.А. Коршенко та ін. Харків: Нац. ун-т внутр. справ, 2020. 44 с.

8. Безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення: монографія / В.Я. Канченко, Р.В. Карнаушенко, О.О.

Ключников, О.П. Мариношенко, М.Л. Чепур; НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. Чорнобиль (Київ. обл.): Ін-т проблем безпеки АЕС, 2022. 180 с.

9. John F. Keane, Stephen S. Carr. A Brief History of Early Unmanned Aircraft // Johns Hopkins APL Technial Digest. — 2023. — Т. 32, № 3.

10. Білоус В.В. Особливості впровадження в криміналістичну практику безпілотних літальних технологій, апаратів і систем. Національний юридичний журнал: Теорія і практика. 2022. № 5. С. 170–175.

11. Петрук С.М. Безпілотні авіаційні комплекси в збройних конфліктах останніх десятиріч. Безпілотні авіаційні комплекси. 2017. № 1(13). С. 44–49.

12. Міжвідомча науково-практична конференція: «Уроки збройної агресії Росії проти України – воєнностратегічні аспекти»: матеріали між. наук-практ. конф. (м. Київ, 29 квіт. 2021 р.). Київ: Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, 2021. 296 с.

13. Голотов В. Гуніна А., Телешук Ю. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів у правоохоронних органах. Сучасні досягнення геодезії науки НУ «Львівська політехніка». 2023. № 1(33). С. 139–146.

15. Кобець М.В. Поняття та правові підстави застосування безпілотних літальних апаратів у правоохоронних органах. Актуальні проблеми кримінального права, процесу, криміналістики та оперативно-розшукової діяльності: матеріали наук.-практи. конф. (м. Хмельницький, 3 берез. 2021 р.). Хмельницький: Нац. акад. держ. прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького, 2021. С. 796–798.

15. Колодіна А.С., Федорова Т.С. Цифрова криміналістика: проблеми теорії і практики. Київський часопис права. 2022 Вип. № 1, С. 176–180.

16. Dubins L.E. On curves of minimal length with a constraint on overage curvature, and with prescribed initial and terminal positions and tangents / Dubins L.E. // AM. J. Math. – 2022. – 79. – P. 497–516.

17. М. К. Філяшкін, А. А. Закордонець. Алгоритм роботи адаптивної системи керування бічним рухом безпілотних літальних апаратів на етапі

виходу на задану лінію шляху: Національний юридичний журнал: Теорія і практика. 2023. № 5. С. 117–125.

18. Five UK cities selected to develop future of drone operations. sUAS News website, 2021. P. 27.

19. Koparan, Cengiz; Koc, Ali Bulent; Privette, Charles V.; Sawyer, Calvin B. (March 2022). "In Situ Water Quality Measurements Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System". *Water*. 10 (3): P. 265. doi:10.3390/w10030265.

20. Koparan, Cengiz; Koc, Ali Bulent; Privette, Charles V.; Sawyer, Calvin B.; Sharp, Julia L. (May 2021). "Evaluation of a UAV–Assisted Autonomous Water Sampling". *Water*. 10 (5): 655. doi:10.3390/w10050655.

21. Baxter J. W. Fly–by–Agent: Controlling a Pool of UAVs via a Multi–Agent System /J. W. Baxter, G. S. Horn, D. P. Leivers. // QinetiQ Ltd Malvern Technology Centre St Andrews Road. – 2022.

22. Sharma, Abhishek; Basnayaka, Chathuranga M. Wijerathna; Jayakody, Dushantha Nalin K. (May 2023). "Communication and networking technologies for UAVs: A survey". *Journal of Network and Computer Applications*. 168: 102739.

23. Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов / К. С.Амелин, Е. И. Антал, В. И. Васильев, Н. О.Граничина. // СПГУ. –2019. – С. 160–161.

25. Remote Piloted Aerial Vehicles : An Anthology (англ.). Centre for Telecommunications and Information Engineering (Monash University).

26. Gunther Sollinger. The Development of Unmanned Aerial Vehicles in Germany // Scientific Journal of Riga Technical University. — 2020. — № 16.

27. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

28. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Технічне завдання

Додаток А. Технічне завдання 126

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
к.т.н., проф. О. Н. Романюк
" 12 " березня 2024 р.

Технічне завдання
на магістерську кваліфікаційну роботу «Розробка методу та програмного
засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів»
за спеціальністю
121 – Інженерія програмного забезпечення

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:
к.т.н., ст. викл. О.Я. Стахов
" 11 " березня 2024 р.

Виконав:
студент гр. ПІ-22м А. В. Майданюк
" 11 " березня 2024 р.

Вінниця – 2024 року

1. Найменування та галузь застосування

Магістерська кваліфікаційна робота: «Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів».

Галузь застосування – програмне забезпечення підвищення якості виготовлення продукції.

2. Підстава для розробки.

Підставою для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є індивідуальне завдання на МКР та наказ № 81 від 11 березня 2024 року ректора по ВНТУ про закріплення тем МКР.

3. Мета та призначення розробки.

Метою роботи є підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Призначення роботи – розробка методів і засобів якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

3 Вихідні дані для проведення НДР

Перелік основних літературних джерел, на основі яких буде виконуватись МКР.

1. Maidaniuk A., Khoshaba O. Main directions of software development in the field of drone control /Матеріали XXIV конференції Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. "Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій". Одеса, 18-19 квітня 2024 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2024 р. - с.135-137.
2. Бакутін Є.С. Напрями вдосконалення законодавчого регулювання використання БПЛА в діяльності поліції України. Держава і право. Вип. 77. 2022. С. 314–327.

3. Мовчан А.В., Мовчан М.А. Використання БПЛА у діяльності правоохоронних органів. Соціально-правові студії. 2020. Т 3, № 9. С. 104–110. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v6i5.2035>.
4. Мосленко С.І., Зеленський С.М. Правові засади проведення авіаційних робіт з використанням БПЛА у сфері кримінального правосуддя. Науковий вісник Львівської академії. Серія: Економіка, менеджмент та право. 2020. Вип. 2. С. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.33251/2707-8620-2020-2-154-161>.

5. Технічні вимоги

Робоча станція, процесор - Pentium, монітор - середня розподільна здатність, тип диску - HDD або SSD, інтерфейс - SATA 3.0 (середня продуктивність 10 Гбіт/с) або вище для SSD, обсяг пам'яті - не менше 500 Гб для HDD, або не менше 240 Гб для SSD, швидкість обертання - для HDD - 7200 об/хв або більше, для SSD - не застосовується, форм-фактор - 2.5" або 3.5" для HDD, 2.5" для SSD, технологія пам'яті для SSD - TLC, MLC або SLC, кеш-пам'ять - не менше 64 МБ для HDD, для SSD - залежно від моделі, зазвичай від 256 МБ до 1 ГБ, швидкість послідовного читання - більше ніж 100 МБ/с для HDD та більше ніж 1000 МБ/с для SSD, швидкість послідовного запису - більше ніж 80 МБ/с для HDD та більше ніж 500 МБ/с для SSD.

5. Конструктивні вимоги.

Конструкція пристрою повинна відповідати естетичним та ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні та керуванні.

Графічна та текстова документація повинна відповідати діючим стандартам України.

6. Перелік технічної документації, що пред'являється по закінченню робіт:

- пояснювальна записка до МКР;
- технічне завдання;

– лістинги програми.

7. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

При розробці програмних засобів слід дотримуватися уніфікації і ДСТУ.

8. Стадії та етапи розробки:

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Аналіз методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів	12.03.2024-28.03.2024
2	Розробка вимог щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку	29.03.2024-11.03.2024
3	Розробка програмного модуля для налаштування параметрів 3D друку	12.03.2024-12.05.2024
4	Експериментальна перевірка та валідація розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках	13.05.2024-05.06.2024
5	Економічна частина	26.05.24-10.05.24

9. Порядок контролю та прийняття.

Виконання етапів магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття магістерської кваліфікаційної роботи здійснюється ДЕК, затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком

Додаток Б. Протокол перевірки навчальної роботи

Додаток Б. Протокол перевірки навчальної роботи

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ
(КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

130

Назва роботи: "Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів"

Тип роботи: кваліфікаційна робота

Підрозділ : кафедра програмного забезпечення, ФІТКІ, ПІ – 22м

Науковий керівник: к.т.н. доц. Хошаба О. М.

Unicheck	
Оригінальність	98%
Схожість	2 %

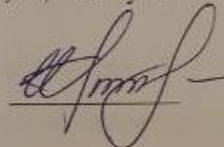
Аналіз звіту подібності

■ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

□ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

□ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

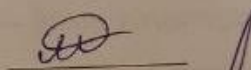
Особа, відповідальна за перевірку
(підпис) (прізвище, ініціали)

 Черноволик Г. О.

Опис прийнятого рішення: **допустити до захисту**

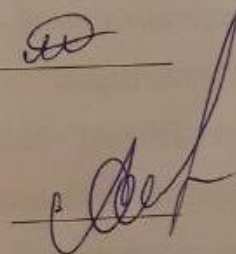
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck

Автор роботи



Майданюк А. В.

Керівник роботи



Стахов Я. О.

HTML форма тестування даних які відправляються на сервер для модуля моніторинга температури в системі управління 3D принтером:

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Введення даних для екструдера</title>
</head>
<body>
  <h1>Введення даних для екструдера</h1>
  <form action="server_endpoint_url" method="POST">
    <!-- Задана температура екструдера -->
    <label for="targetTemp">Задана температура екструдера (°C):</label>
    <input type="number" id="targetTemp" name="targetTemp"
required><br><br>
      <!-- Поточна температура екструдера -->
      <label for="currentTemp">Поточна температура екструдера
(°C):</label>
      <input type="number" id="currentTemp" name="currentTemp"
required><br><br>
      <!-- Історія температурних змін -->
      <label for="tempHistory">Історія температурних змін:</label>
      <textarea id="tempHistory" name="tempHistory" rows="4" cols="50"
placeholder="Введіть історію температурних змін..."></textarea><br><br>
      <!-- Параметри матеріалу -->
      <label for="materialType">Тип філаменту:</label>

```

```

    <input type="text" id="materialType" name="materialType"
required><br><br>
        <label for="optimalTemp">Оптимальна температура плавлення
(°C):</label>
        <input type="number" id="optimalTemp" name="optimalTemp"
required><br><br>
        <label for="degradationTemp">Температура руйнування
(°C):</label>
        <input type="number" id="degradationTemp" name="degradationTemp"
required><br><br>
        <!-- Швидкість друку -->
        <label for="printSpeed">Швидкість друку (мм/с):</label>
        <input type="number" id="printSpeed" name="printSpeed"
required><br><br>
        <!-- Зовнішні умови -->
        <label for="ambientTemp">Температура в друкарні (°C):</label>
        <input type="number" id="ambientTemp" name="ambientTemp"
required><br><br>
        <label for="humidity">Вологість в друкарні (%):</label>
        <input type="number" id="humidity" name="humidity"
required><br><br>
        <!-- Надіслати форму -->
        <input type="submit" value="Надіслати">
    </form>
</body>
</html>

```

Результат роботи модуля моніторингу температури, який передає інформацію до серверної частини програмного засобу (html та javascript):

```
<!DOCTYPE html>
```

```

<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Моніторинг температури екструдера</title>
  <style>
    body { font-family: Arial, sans-serif; }
    .status { margin-top: 20px; }
    .warning { color: red; }
  </style>
</head>
<body>
  <h1>Моніторинг температури екструдера</h1>
  <div id="temperature-display">Температура: Завантаження...</div>
  <div id="status-display" class="status">Статус: Завантаження...</div>
  <div id="alert-display" class="status warning"></div>
  <script src="temperatureMonitor.js"></script>
</body>
</html>

```

```

document.addEventListener("DOMContentLoaded", function() {
  const updateTemperature = () => {
    // AJAX запит до сервера для отримання даних
    fetch('/api/temperature')
      .then(response => response.json())
      .then(data => {
        document.getElementById('temperature-display').innerText =
`Температура: ${data.temperature} °C`;
        document.getElementById('status-display').innerText = `Статус:
${data.status}`;

```

```

        if (data.warning) {
            document.getElementById('alert-display').innerText = `Увага:
${data.warning}`;
        } else {
            document.getElementById('alert-display').innerText = "";
        }
    })
    .catch(error => console.error('Помилка:', error));
};

// Оновлення температури кожні 5 секунд
setInterval(updateTemperature, 5000);
updateTemperature(); // Початкове оновлення при завантаженні
});

```

Back-end програмного модуля моніторингу температури

```

const express = require('express');
const mysql = require('mysql');
const app = express();
const port = 3000;
// Налаштування підключення до бази даних
const db = mysql.createConnection({
    host: 'localhost',
    user: 'user1',
    password: 'user1',
    database: 'temperature_database'
});
// Відкриття підключення до бази даних
db.connect(err => {
    if (err) {
        console.error('Помилка підключення до бази даних:', err);
    }
}

```

```

    return;
  }
  console.log('Підключення до бази даних успішно встановлено');
});
// Адреса для отримання даних про температуру
app.get('/api/temperature', (req, res) => {
  db.query('SELECT * FROM temperature ORDER BY created_at DESC
LIMIT 1', (err, results) => {
    if (err) {
      console.error('Помилка при виконанні запиту до бази даних:', err);
      res.status(500).send('Помилка сервера');
      return;
    }
    if (results.length > 0) {
      res.json({
        temperature: results[0].temperature,
        status: 'ok',
        warning: results[0].temperature > 50 ? 'Температура висока!' : null
      });
    } else {
      res.status(404).send('Дані не знайдено');
    }
  });
});
// Запуск сервіса
app.listen(port, () => {
  console.log(`Сервіс запущено на порту ${port}`);
});

```

Фронт-енд частина модуля моніторингу температури програмного засобу:

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Моніторинг температури</title>
  <style>
    body { font-family: Arial, sans-serif; padding: 20px; }
    .temperature-display { font-size: 24px; margin-bottom: 10px; }
    .status-display { color: white; padding: 10px; border-radius: 5px; }
    .normal { background-color: green; }
    .high { background-color: orange; }
    .critical { background-color: red; }
  </style>
</head>
<body>
  <h1>Моніторинг температури екструдера</h1>
  <div id="temperature-display" class="temperature-display">Температура:
Завантаження...</div>
  <div id="status-display" class="status-display">Статус:
Завантаження...</div>

  <script>
    // Симуляція отримання даних від сервера
    function fetchTemperatureData() {
      // ця функція повертає об'єкт з температурою та статусом
      return {
        temperature: 22, // Це значення буде динамічно змінюватися
        status: 'normal' // може бути 'normal', 'high', 'critical'
      };
    }
  </script>

```

```

function updateTemperatureDisplay() {
    const data = fetchTemperatureData();
    const temperatureDisplay = document.getElementById('temperature-
display');
    const statusDisplay = document.getElementById('status-display');

    temperatureDisplay.innerText = `Температура: ${data.temperature}°C`;

    statusDisplay.className = 'status-display ' + data.status;
    switch(data.status) {
        case 'normal':
            statusDisplay.innerText = 'Статус: Нормальний';
            break;
        case 'high':
            statusDisplay.innerText = 'Статус: Високий';
            break;
        case 'critical':
            statusDisplay.innerText = 'Статус: Критичний';
            break;
    }
}

// Оновлення дисплея кожні 5 секунд
setInterval(updateTemperatureDisplay, 5000);
updateTemperatureDisplay(); // Перше оновлення при завантаженні
сторінки
</script>
</body>
</html>

```

Бек-енд частина модуля моніторингу температури програмного засобу:

Основний файл TemperatureMonitorApplication.java:

```
package com.example.temperaturemonitor;

import org.springframework.boot.SpringApplication;
import org.springframework.boot.autoconfigure.SpringBootApplication;

@SpringBootApplication
public class TemperatureMonitorApplication {

    public static void main(String[] args) {
        SpringApplication.run(TemperatureMonitorApplication.class, args);
    }

}
```

Контролер для обробки HTTP запитів в файлі TemperatureController.java:

```
package com.example.temperaturemonitor.controller;

import org.springframework.web.bind.annotation.GetMapping;
import org.springframework.web.bind.annotation.RestController;

@RestController
public class TemperatureController {

    @GetMapping("/api/temperature")
    public TemperatureData getTemperature() {
        // Тут температура зчитується з якогось пристрою або сенсора
    }
}
```

```

        double temperature = Math.random() * 100; // Симуляція зчитування
температури
        String status = temperature > 50 ? "critical" : (temperature > 30 ? "high" :
"normal");

        return new TemperatureData(temperature, status);
    }

// Клас для збереження даних про температуру
private static class TemperatureData {
    private final double temperature;
    private final String status;

    public TemperatureData(double temperature, String status) {
        this.temperature = temperature;
        this.status = status;
    }

    public double getTemperature() {
        return temperature;
    }

    public String getStatus() {
        return status;
    }
}
}

```

Фронт-енд частина модуля регулювання швидкості головки 3D принтера програмного засобу:

Файл index.html

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Регулювання швидкості головки 3D принтера</title>
  <style>
    body { font-family: Arial, sans-serif; padding: 20px; }
    input[type="range"] { width: 400px; }
  </style>
</head>
<body>
  <h1>Регулювання швидкості головки 3D принтера</h1>
  <p>Швидкість: <span id="speed-value">50</span> мм/сек</p>
  <input type="range" id="speed-control" min="10" max="150" value="50"
oninput="updateSpeedDisplay(this.value)"
onchange="sendSpeedToServer(this.value)">
  <script src="script.js"></script>
</body>
</html>
```

Файл script.js:

```
function updateSpeedDisplay(value) {
  document.getElementById('speed-value').textContent = value;
}

function sendSpeedToServer(value) {
  // код для відправки нового значення швидкості на сервер
  console.log("Нова швидкість друку: " + value + " мм/сек");
  // використання fetch API для відправки на сервер
```

```

fetch('/api/setSpeed', {
  method: 'POST',
  headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
  body: JSON.stringify({ speed: value })
})
.then(response => response.json())
.then(data => {
  console.log('Відповідь від сервера:', data.message);
})
.catch(error => console.error('Помилка відправки швидкості:', error));
}

```

Бек-енд частина модуля регулювання швидкості головки 3D принтера програмного засобу:

```

package com.example.speedcontroller;

import org.springframework.boot.SpringApplication;
import org.springframework.boot.autoconfigure.SpringBootApplication;

@SpringBootApplication
public class SpeedControllerApplication {

    public static void main(String[] args) {
        SpringApplication.run(SpeedControllerApplication.class, args);
    }
}

package com.example.speedcontroller.controller;

import org.springframework.http.ResponseEntity;

```

```

import org.springframework.web.bind.annotation.*;

@RestController
@RequestMapping("/api")
public class SpeedController {

    private volatile int currentSpeed = 50; // Початкова швидкість

    @PostMapping("/setSpeed")
    public ResponseEntity<String> setSpeed(@RequestBody SpeedRequest
request) {
        currentSpeed = request.getSpeed();
        // Логіка для встановлення швидкості у вашому 3D принтері
        System.out.println("Нова швидкість: " + currentSpeed + " мм/сек");
        return ResponseEntity.ok("Швидкість оновлено до: " + currentSpeed + "
мм/сек");
    }

    @GetMapping("/getSpeed")
    public ResponseEntity<Integer> getSpeed() {
        return ResponseEntity.ok(currentSpeed);
    }

    static class SpeedRequest {
        private int speed;

        public int getSpeed() {
            return speed;
        }
    }
}

```

```

    public void setSpeed(int speed) {
        this.speed = speed;
    }
}
}

```

Фронт-енд частина модуля налаштування висоти шару програмного засобу:

Файл index.html

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Налаштування висоти шару</title>
    <style>
        body { font-family: Arial, sans-serif; padding: 20px; }
        label { display: block; margin: 15px 0; }
    </style>
</head>
<body>
    <h1>Налаштування висоти шару 3D принтера</h1>
    <label for="layer-height">Висота шару (мм): <span id="layer-height-
value">0.2</span></label>
    <input type="range" id="layer-height" min="0.1" max="0.4" step="0.05"
value="0.2" oninput="updateLayerHeightValue(this.value)">
    <button onclick="sendLayerHeight()">Застосувати налаштування</button>

    <script src="script.js"></script>
</body>
</html>

```

Файл script.js:

```
function updateLayerHeightValue(value) {
    document.getElementById('layer-height-value').textContent = value;
}

function sendLayerHeight() {
    const height = document.getElementById('layer-height').value;
    console.log("Відправлення налаштувань висоти шару: " + height + " мм");

    // Використання fetch API для відправки на сервер
    fetch('/api/setLayerHeight', {
        method: 'POST',
        headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
        body: JSON.stringify({ layerHeight: height })
    })
    .then(response => response.json())
    .then(data => {
        console.log('Відповідь від сервера:', data.message);
        alert('Налаштування висоти шару оновлено!');
    })
    .catch(error => console.error('Помилка відправки висоти шару:', error));
}
```

Бек-енд частина модуля налаштування висоти шару програмного засобу:

```
package com.example.layerheightcontroller;

import org.springframework.boot.SpringApplication;
import org.springframework.boot.autoconfigure.SpringBootApplication;
```

```

@SpringBootApplication
public class LayerHeightControllerApplication {

    public static void main(String[] args) {
        SpringApplication.run(LayerHeightControllerApplication.class, args);
    }
}

package com.example.layerheightcontroller.controller;

import org.springframework.http.ResponseEntity;
import org.springframework.web.bind.annotation.*;

@RestController
@RequestMapping("/api")
public class LayerHeightController {

    private volatile double currentLayerHeight = 0.2; // Початкова висота шару

    @PostMapping("/setLayerHeight")
    public ResponseEntity<String> setLayerHeight(@RequestBody
LayerHeightRequest request) {
        currentLayerHeight = request.getLayerHeight();
        // логіка для комунікації з 3D принтером
        System.out.println("Нова висота шару: " + currentLayerHeight + " мм");
        return ResponseEntity.ok("Висота шару оновлена до: " +
currentLayerHeight + " мм");
    }
}

```

```

@GetMapping("/getLayerHeight")
public ResponseEntity<Double> getLayerHeight() {
    return ResponseEntity.ok(currentLayerHeight);
}

static class LayerHeightRequest {
    private double layerHeight;

    public double getLayerHeight() {
        return layerHeight;
    }

    public void setLayerHeight(double layerHeight) {
        this.layerHeight = layerHeight;
    }
}
}

```

Фронт-енд частина модуля керування заповненням програмного засобу:

```

Файл index.html
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Керування заповненням 3D принтера</title>
    <style>
        body { font-family: Arial, sans-serif; padding: 20px; }
        label { display: block; margin: 15px 0; }
    </style>

```

```

</head>
<body>
  <h1>Керування заповненням 3D принтера</h1>
  <label for="infill-percentage">Відсоток заповнення: <span id="infill-
percentage-value">20%</span></label>
  <input type="range" id="infill-percentage" min="0" max="100" value="20"
oninput="updateInfillPercentageValue(this.value)">
  <button onclick="sendInfillSettings()">Застосувати налаштування</button>

  <script src="script.js"></script>
</body>
</html>

```

Файл script.js

```

function updateInfillPercentageValue(value) {
  document.getElementById('infill-percentage-value').textContent = value +
'%';
}

function sendInfillSettings() {
  const infillPercentage = document.getElementById('infill-percentage').value;
  console.log("Відправлення налаштувань відсотка заповнення: " +
infillPercentage + "%");

  // Використання fetch API для відправки на сервер
  fetch('/api/setInfill', {
    method: 'POST',
    headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
    body: JSON.stringify({ infill: infillPercentage })
  })

```

```

.then(response => response.json())
.then(data => {
    console.log('Відповідь від сервера:', data.message);
    alert('Налаштування відсотка заповнення оновлено до ' +
infillPercentage + '%!');
})
.catch(error => console.error('Помилка відправки відсотка заповнення:',
error));
}

```

Бек-енд частина модуля керування заповненням програмного засобу:

```
package com.example.infillcontroller;
```

```
import org.springframework.boot.SpringApplication;
```

```
import org.springframework.boot.autoconfigure.SpringBootApplication;
```

```
@SpringBootApplication
```

```
public class InfillControllerApplication {
```

```
    public static void main(String[] args) {
```

```
        SpringApplication.run(InfillControllerApplication.class, args);
```

```
    }
```

```
}
```

```
package com.example.infillcontroller.controller;
```

```
import org.springframework.http.ResponseEntity;
```

```
import org.springframework.web.bind.annotation.*;
```

```
@RestController
```

```

@RequestMapping("/api")
public class InfillController {
    private volatile int currentInfill = 20; // Початковий відсоток заповнення

    @PostMapping("/setInfill")
    public ResponseEntity<String> setInfill(@RequestBody InfillRequest
request) {
        currentInfill = request.getInfill();
        // Тут може бути логіка для комунікації з 3D принтером
        System.out.println("Новий відсоток заповнення: " + currentInfill + "%");
        return ResponseEntity.ok("Відсоток заповнення оновлено до: " +
currentInfill + "%");
    }

    @GetMapping("/getInfill")
    public ResponseEntity<Integer> getInfill() {
        return ResponseEntity.ok(currentInfill);
    }

    static class InfillRequest {
        private int infill;

        public int getInfill() {
            return infill;
        }

        public void setInfill(int infill) {
            this.infill = infill;
        }
    }
}

```

Додаток Г. Ілюстративний матеріал

**ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ЗАХИСТУ МАГІСТЕРСЬКОЇ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Слайд 1 – Тема, автор, науковий керівник бакалаврської дипломної роботи:

Розробка методу та програмного засобу підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів

Виконав:

студент групи ПІ-22м

Майданюк А.В.

Керівник:

к.т.н., ст. викл. каф. ПЗ

Стахов О.Я.

Слайд 2 – Мета, об'єкт та предмет дослідження:

Метою роботи є підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Об'єктом дослідження є процеси виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів.

Слайд 3 – Задачі дослідження:

Основними задачами дослідження були:

- визначити комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- знайти особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- описати проблеми впровадження методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- визначити загальну характеристика методів виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- виконати порівняльну характеристика методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- запропонувати метод підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- визначити вимоги щодо впровадження методів на основі аналізу 3D друку;
- розробити програмний модуль для налаштування параметрів 3D друку;
- виконати тестування програмного засобу з виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- виконати експериментальну перевірку та валідацію розробленого методу і програмного засобу на пілотних зразках;
- визначити особливості тестування програмного засобу з виготовлення безпілотних літальних апаратів;
- виконати тестування основних модулів програмного засобу.

Слайд 4 – Актуальність розробки:

Актуальність та важливість методів і математичних моделей підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів має велике теоретичне та практичне значення.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) сьогодні знаходять застосування у широкому спектрі галузей, включаючи військову, цивільну, наукову та комерційну сфери. Їх використання варіюється від розвідки та моніторингу до доставки вантажів і проведення рятувальних операцій.

Тому, важливою складовою успішної експлуатації БПЛА є їх висока якість, яка забезпечується надійністю конструкції, точністю виготовлення та ефективністю функціонування.

Однак, збільшення попиту на безпілотні технології вимагає підвищення якості та ефективності їх виробництва. Це стосується як великих промислових комплексів, так і невеликих стартапів, що розробляють інноваційні рішення в цій галузі. Виробництво БПЛА вимагає високої точності та відповідності суворим технічним вимогам. Недосконалість виробничих процесів може призвести до дефектів, що впливають на безпеку та експлуатаційні характеристики апарата.

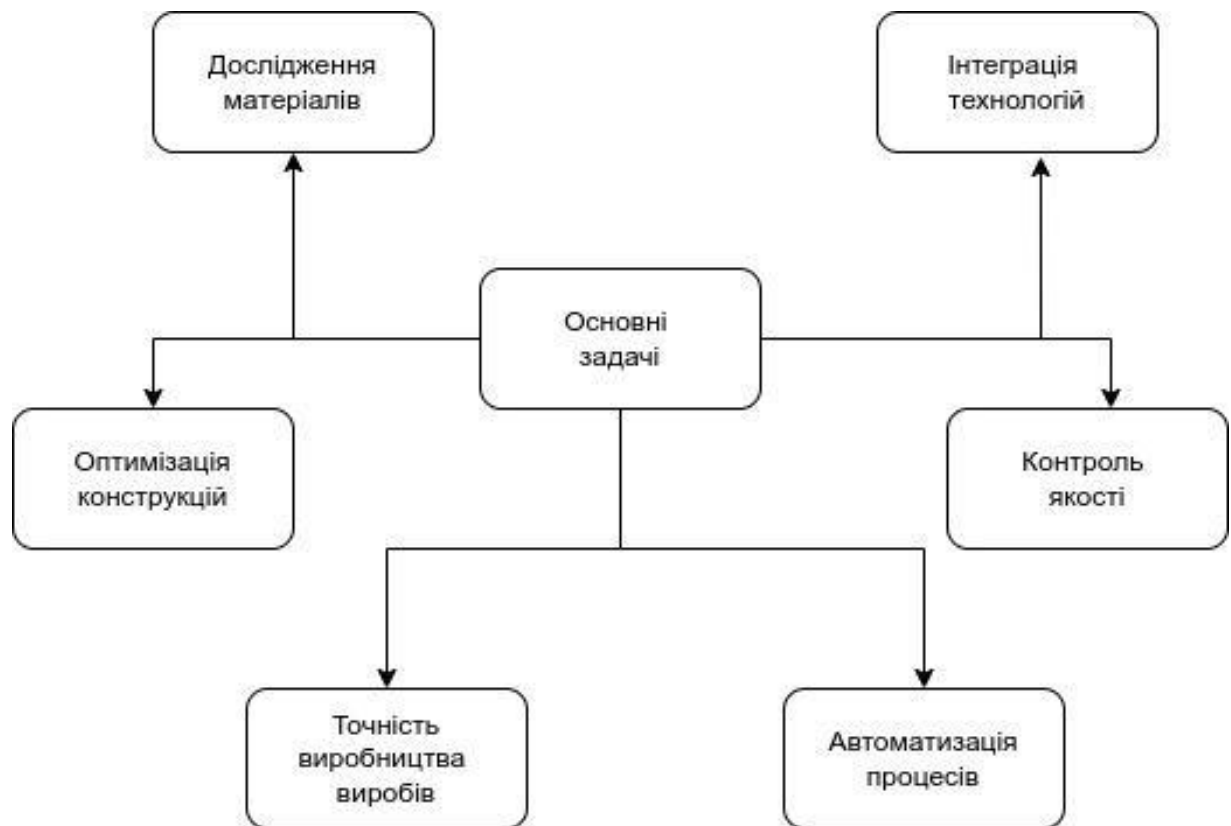
З іншої сторони, в умовах глобалізації ринку безпілотних технологій конкуренція стає все більш жорсткою. Для збереження конкурентоспроможності виробники повинні забезпечити високу якість продукції.

Таким чином, необхідність у підвищенні надійності полягає у розробці методів підвищення якості виготовлення БПЛА дозволяє мінімізувати ризики відмов та аварій, що є критично важливим для багатьох сфер застосування, особливо у військовій та рятувальній галузях.

Слайд 5 – Комплекс заходів і технологічних інновацій підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів



Слайд 6 — Основні задачі та особливості розробки методів підвищення якості виготовлення безпілотних літальних апаратів



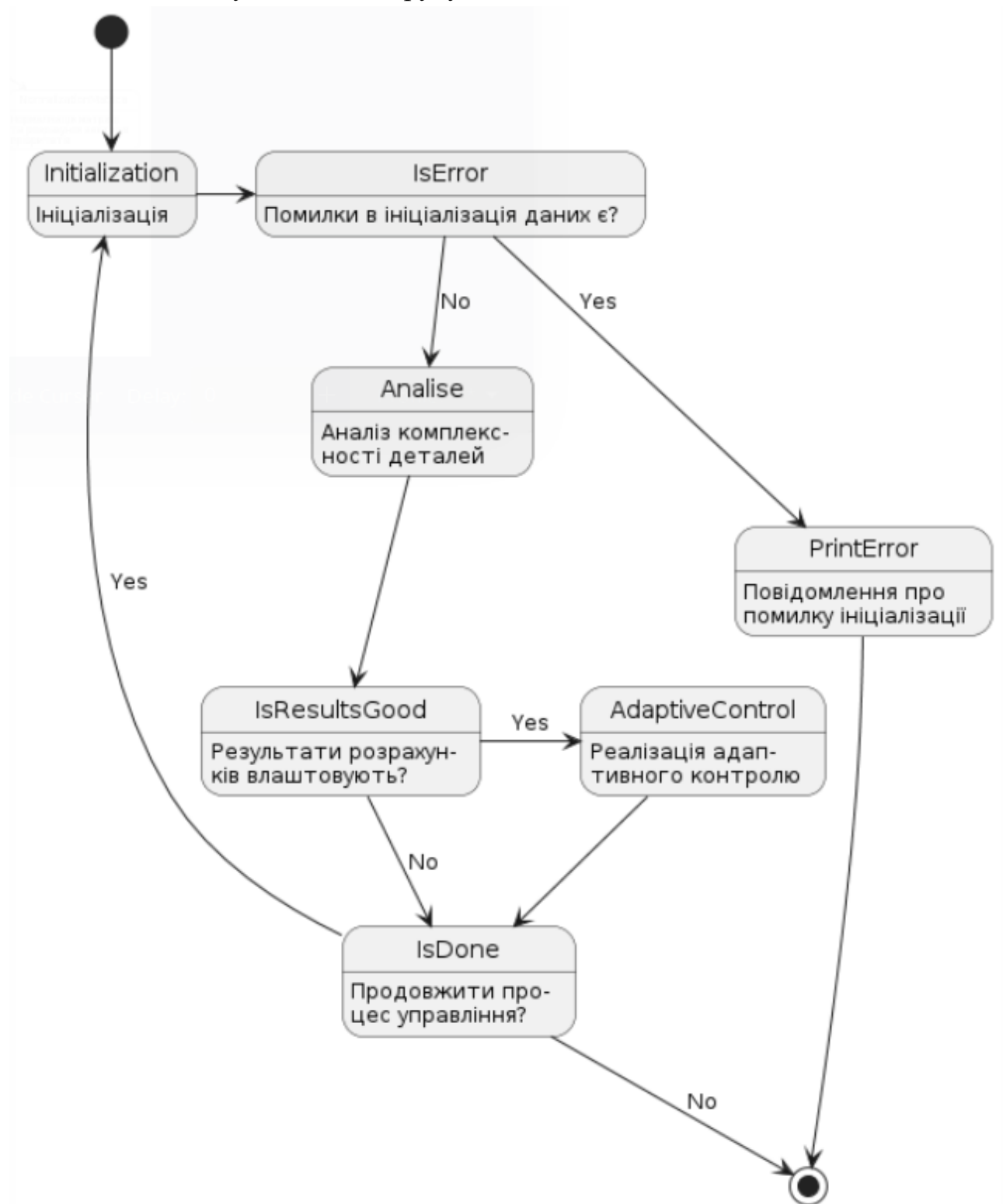
Слайд 7 — Вимоги щодо модуля оптимізації процесу 3D друку деталей безпілотних літальних апаратів



Слайд 8 — Основні функціональні можливості модуля налаштування параметрів 3D друку, які необхідні для реалізації в програмному засобі



Слайд 9 – UML діаграма станів адаптивного регулювання для оптимізації точності позиціонування в 3D друку



Слайд 10 — Скріншот HTML форми тестування даних які відправляються на сервер для модуля моніторинга температури в системі управління 3D принтером

Введення даних для екструдера

Задана температура екструдера (°C):

Поточна температура екструдера (°C):

Історія температурних змін:

Введіть історію температурних змін...

Тип філаменту:

Оптимальна температура плавлення (°C):

Температура руйнування (°C):

Швидкість друку (мм/с):

Температура в друкарні (°C):

Вологість в друкарні (%):

Надіслати

Слайд 11 – Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше запропоновано метод оптимізації, особливість якого полягає у визначенні критичних параметрів друку на основі існуючих методик 3D друку, що впливають на якість деталей БПЛА та не потребує в оцінки значень параметрів великих часових витрат і, як наслідок, дає можливість підвищити якість виготовлення основних компонентів;

- вперше запропоновано метод експериментальної перевірки та валідації програмного засобу, що виконуються на пілотних зразках та враховує шарову побудову об'єктів з цифрових 3D моделей, і, як наслідок, дає можливість створювати складні геометрії та легкі конструкції, які є ідеальними для аеронавтичних застосувань;

- подальшого розвитку отримав метод автоматизації процесів налаштування параметрів друку в контексті виготовлення основних компонентів БПЛА, у якому, на відміну від існуючих, використано інтелектуальні програмні модулі, що дозволило оптимально керувати 3D друковим процесом за встановленими вимогами користувачів відносно якості наданих зразків.

Слайд 12 – Практична цінність отриманих результатів:

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі отриманих в магістерській кваліфікаційній роботі теоретичних положень запропоновано алгоритм адаптивного регулювання для оптимізації точності позиціонування в 3D друку.

Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів "Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій", (Одеса, 2024).

Основні результати досліджень опубліковано в науковій праці у матеріалах цієї конференції.

