

ДОДАТОК А
Апробація результатів

Міністерство освіти і науки України



NURE

Харківський національний університет
радіоелектроніки

ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2024

(Випуск 2)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



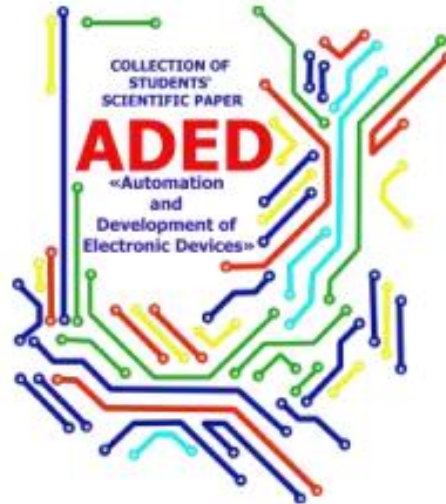
<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2024

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)



ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2024

(Випуск 2)

[електронне видання]

Харків 2024

<i>Александрович Д.П.</i> Розроблення автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві	138
<i>Васенко А.В.</i> Аналіз розвитку систем автоматичного розпізнавання автомобільних номерів	145
<i>Водяницький М.А.</i> Розробка системи розумного доступу до виробничого приміщення з використанням технологій комп'ютерного зору	147
<i>Глушенко О.Г.</i> Аналіз ефективності інфрачервоних нагрівачів для монтажу та демонтажу SMD та BGA компонентів	152
<i>М.С. Греков</i> Безпілотна робототехнічна мобільна платформа для надання гуманітарної допомоги...	157
<i>Жуков А.І.</i> Підсистема для оптимізації взаємодії між державними органами та людьми з обмеженими можливостями	164
<i>Жукова Л.Є.</i> Автоматизована підсистема розрахунку компенсацій і пільг для працівників промислових підприємств	170
<i>Редькін К.С.</i> Інтеграція газових котлів з системою сучасного теплозабезпечення України	176
<i>Karpenko A.</i> Overview at modern mine detecting robots	181
<i>Краснопольов М.Р., Казановська К.А.</i> Автоматизація логістичних систем з використанням кіберфізичних підходів	186
<i>Кривенко Д.</i> Автоматизація ідентифікації вантажів на бондових складах	191
<i>Мірошниченко Ю.М.</i> Аналіз сучасних робототехнічних комплексів	196
<i>Олінкевич Я.В.</i> SRM-система в сучасному підприємстві: ефективне управління бізнес-процесами	202
<i>Погребняк В.В.</i> Дослідження методів обробки зображень за допомогою бібліотеки OPENCV для пошуку дефектів на поверхні друкованих виробів за технологією FDM/FFF	207
<i>Ісмайлов Т.В.</i> Розробка алгоритму підвищення точності локалізації та навігації рухомих об'єктів	214
<i>Illya Karpenko</i> analysis of limitations on the design of a small-dimensional robot for investigating damage to panel buildings	219
<i>Дмитрієв Д.В.</i> Розробка реконфігурованого мобільного робота	223
<i>Бельков Д.О.</i> Інтелектуальна система управління мікрокліматом у складському приміщенні	285

БЕЗПІЛОТНА РОБОТОТЕХНІЧНА МОБІЛЬНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ НАДАННЯ ГУМАНІТАРНОЇ ДОПОМОГИ

М. С. Греков

Харківській національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: mykyta.hrekov@nure.ua

Анотація: У даній роботі розглядається розроблення безпілотної робототехнічної мобільної платформи, призначеної для ефективної доставки гуманітарної допомоги в зону надзвичайних ситуацій, розглянуто систему VTOL, описано ПІД-регулятор та програмне забезпечення Autodesk Fusion 360, побудовано модель БПЛА-октокоптера для гуманітарної місії.

Ключові слова: БПЛА, октокоптер, ПІД-регулятор, VTOL, керування.

DEVELOPMENT OF AN UNMANNED ROBOTIC MOBILE PLATFORM FOR HUMANITARIAN AID

M. S. Hrekov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14

E-mail: mykyta.hrekov@nure.ua

Abstract: This paper considers the development of an unmanned robotic mobile platform designed for the effective delivery of humanitarian aid to the zone of emergency situations, the VTOL system is considered, the PID controller and Autodesk Fusion 360 software are described, and a model of an octocopter UAV for a humanitarian mission is built.

Keywords: UAV, octocopter, PID controller, VTOL, control.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Робототехнічні мобільні платформи поступово стають незамінними в різних сферах життя, розширюючи горизонти технологічного прогресу [1-4]. Важливе місце серед них займають безпілотні літальні апарати (БПЛА). У сільському господарстві вони використовуються для запилення полів, також відіграють важливу роль у доставці ліків і гуманітарної допомоги, а їх застосування для моніторингу інфраструктури, такої як електролінії та трубопроводи, сприяє підвищенню безпеки й ефективності робітників, які

тепер можуть уникати небезпечних зон, і знижує час та вартість обслуговування, роблячи моніторинг інфраструктури більш ефективним.

Зростання природних і техногенних загроз, а також потреба в оперативній гуманітарній допомозі, зокрема в Україні, підкреслюють необхідність розвитку потужної системи моніторингу та швидкого реагування. Ключовим елементом цієї системи є авіаційна підтримка, включно з безпілотними авіаційними системами (БАС). Завдяки БАС, які можуть безпечно

та оперативно доставляти гуманітарну допомогу, медикаменти, воду та інші ресурси до постраждалих регіонів, ефективність гуманітарних операцій значно зростає.

В умовах надзвичайних ситуацій БАС дозволяють оперативно оцінювати масштаби катастроф, доставляти рятувальників або критично важливі вантажі у віддалені та важкодоступні райони, а також передавати дані в реальному часі для координації подальших дій. Однак в Україні такі системи застосовуються поки що експериментально, переважно через адміністративні обмеження.

Удосконалення законодавчої бази дозволить інтегрувати БАС у сферу гуманітарної допомоги та надзвичайного реагування, забезпечивши відповідність міжнародним стандартам.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Концепція безпілотних літальних апаратів із вертикальним зльотом і посадкою (VTOL) відіграє ключову роль у розвитку сучасної авіації. VTOL-БПЛА поєднують переваги вертольотів, здатних виконувати завдання в умовах обмеженого простору, з високою швидкістю та ефективністю літаків. Це робить їх особливо актуальними для гуманітарних місій, де потрібна оперативна доставка вантажів у важкодоступні райони.

У рамках наукового підходу до розроблення VTOL-БПЛА вивчаються питання аеродинамічної оптимізації, зниження енергоємності польотів і підвищення корисного навантаження. Новизну дослідження може скласти, наприклад, використання адаптивних систем управління для більш точного маневрування в складних умовах або впровадження гібридних енергетичних систем, що підвищують автономність апарату. Розроблення VTOL для гуманітарних місій вимагає врахування специфічних потреб, як-от забезпечення автономності в умовах відсутності інфраструктури, захист корисного навантаження та зниження рівня шуму для мінімізації стресу в людей, які перебувають у зоні лиха.

VTOL-БПЛА стають важливим інструментом для поліпшення доступу до медичної допомоги, доставки продовольства та інших ресурсів. Наукові дослідження в цій галузі сприяють розробці ефективних, стійких і економічно доступних рішень, відкриваючи нові горизонти для використання БПЛА у соціальній та економічній сферах.

У контексті гуманітарних місій, VTOL-БПЛА стають важливим інструментом для поліпшення доступу до медичної допомоги, доставки продовольства та інших ресурсів. Наукові дослідження в цій галузі відкривають нові можливості для використання БПЛА у соціальних і економічних сферах, допомагаючи створювати більш ефективні, стійкі та економічно доступні рішення для розвитку безпілотних технологій. В детальному вивченні цих аспектів для створення нових технологій, здатних значно покращити ефективність гуманітарних місій.

НАВІГАЦІЙНІ ОБЧИСЛЕННЯ ОКТОКОПТЕРА. Для забезпечення стабільного польоту та надійності у складних умовах, при розробці навігаційних обчислень октокоптера необхідно враховувати його конструктивні особливості. Октокоптер складається з восьми роторів, які симетрично розташовані на рамі, зазвичай круглої або квадратної форми. Така конструкція забезпечує підвищену стабільність у польоті, більшу підйомну силу та можливість роботи навіть у разі відмови одного або кількох двигунів. Подібно до квадрокоптера, октокоптер здатний виконувати вертикальний зліт і посадку, що робить його надзвичайно універсальним для використання в умовах обмеженого простору.

Відмінність між октокоптером і гелікоптером також полягає в принципах управління. У той час як гелікоптери використовують змінний кут нахилу лопатей і рульовий гвинт для маневрування, октокоптери керуються шляхом зміни швидкості обертання окремих роторів. Такий підхід дозволяє досягти більшої маневровості та точності в управлінні.

Окрім того, октокоптери мають перевагу в підйомній силі та здатності нести важкі вантажі, що робить їх ідеальними для гуманітарних місій, зокрема доставки медичних засобів або провізії в ізольовані райони. Використання більшої кількості роторів також сприяє зниженню рівня вібрацій, що позитивно впливає на стабільність польоту та якість роботи сенсорного обладнання (рисунок 1, а).

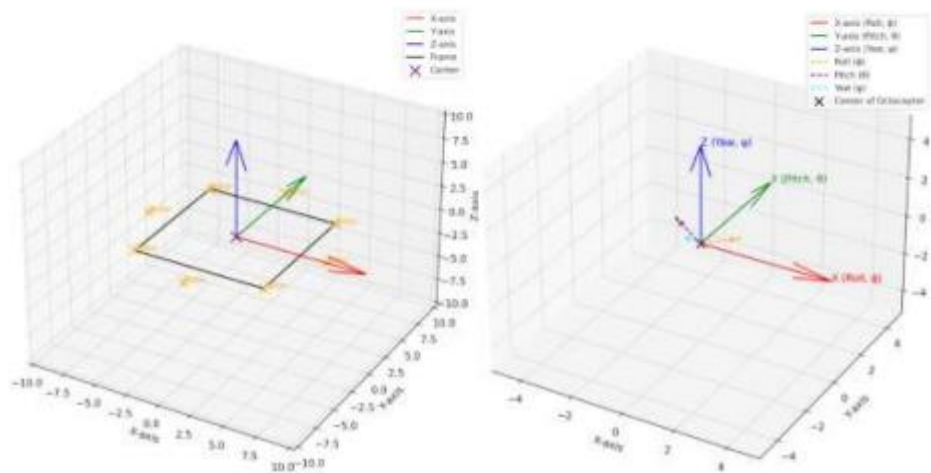
На рис. 1, а показано складову октокоптера у тривимірній системі координат:

- червона, зелена, синя стрілки представляють осі X, Y і Z відповідно;
- рама октокоптера має квадратну структуру, позначену чорними лініями;

- ротори розташовані на кутах рами, а також у проміжних позиціях уздовж осей для симетрії та збільшення підйомної сили (позначені помаранчевими точками);
- центр октокоптера позначено фіолетовою точкою.

Відповідно до представленого фрагмента, для октокоптера, як і квадрокоптера, основа динаміки польоту базується на регулюванні кутових швидкостей двигунів, що впливають на підйомну силу та кінцевий крутний момент.

Для управління октокоптером кожен рух координується через незалежне регулювання швидкостей обертання восьми роторів. Це дозволяє досягти високої стабільності, маневровості та точності управління, що критично важливо для виконання складних задач, таких як гуманітарні місії або операції в обмежених просторах (рисунок 1, б).



а)

б)

- а) відображення системи координат октокоптера з позначенням осей та роторів;
 б) ілюстрація рухів октокоптера: Roll, Pitch, Yaw – у тривимірній системі координат

Рисунок 1 – Рух октокоптера у трьохвимірній системі координат

Основні рухи октокоптера забезпечуються наступним чином. Вертикальний рух (вісь Z) досягається шляхом узгодженого збільшення або зменшення підйомної сили на всіх роторах. Суми сил ротора визначають загальну підйомну силу, яка піднімає або опускає апарат.

Тангаж (θ) використовується для нахилу вперед або назад, швидкість обертання передніх і задніх роторів змінюється, створюючи потрібний крутний момент навколо осі X.

Крен (ϕ) досягається зміною швидкостей обертання правих і лівих роторів. Це генерує крутний момент навколо осі Y, що дозволяє октокоптеру нахилитися вбік.

Рискання (ψ) забезпечується реактивним моментом роторів, що обертаються в протилежних напрямках. Для обертання апарата навколо осі Z змінюється різниця крутних моментів між роторами, які обертаються за годинниковою стрілкою та проти неї.

На рис. 1, б: червона вісь (X): відповідає за рух Roll (ϕ) – обертання навколо осі X; зелена вісь (Y): відповідає за рух Pitch (θ) – обертання навколо осі Y; синя вісь (Z): відповідає за рух Yaw (ψ) – обертання навколо осі Z.

Додатково позначені напрями для кожного з типів обертання (пунктирними стрілками). Центр октокоптера позначено чорною точкою. Ця система координат демонструє, як відбуваються базові рухи та маневри апарата в просторі.

Для октокоптера моторні пари, ймовірно, будуть організовані у чотири групи, кожна з яких включає два двигуни, що відповідають за один з напрямків руху – газ, крен, тангаж, рискання (таблиця 1).

Таблиця 1 – Робота двигунів

Мотори	Газ	Крен	Тангаж	Рискання
Мотори 1, 5	1	2	1	2
Мотори 2, 6	2	1	2	1
Мотори 3, 7	3	4	3	4
Мотори 4, 8	4	3	4	3

Газ (підйомна сила) контролюється всіма моторами одночасно. Кожен мотор виконує свою роль у балансуванні підйому, щоб утримувати апарат на необхідній висоті.

Крен управляється через моторні пари, розташовані на протилежних сторонах (наприклад, мотори 1 і 5 змінюють швидкість для крену).

Тангаж залежить від балансування швидкостей між передніми та задніми моторами для нахилу вперед або назад.

Рискання досягається завдяки різниці швидкості між моторами, що обертаються за годинниковою стрілкою та проти.

Така структура дозволяє точно налаштувати рухи октокоптера, враховуючи наявність восьми двигунів і необхідність у точному контролі кожного напрямку.

РОБОТА ПІД-РЕГУЛЯТОРА. ПІД-регулятор в системі управління БПЛА, зокрема в контексті гуманітарного застосування, може суттєво підвищити стійкість БПЛА до зовнішніх збурень, таких як вітер або зміна навантаження, що важливо для БПЛА, які виконують місії у складних умовах. Вони дозволяють зменшити кількість переналаштувань системи керування при зміні ваги чи конфігурації БПЛА, що особливо актуально для гуманітарних місій, де вантаж може змінюватися в залежності від завдання.

Новизна цього підходу полягає в розробці алгоритму, який адаптується до конкретних умов роботи гуманітарних БПЛА, зокрема під час доставки вантажу у змінних атмосферних умовах або під час змін у вагових навантаженнях. Такий ПІД-регулятор дозволяє оптимізувати роботу системи керування, знижуючи енергоспоживання та підвищуючи ефективність польотів, що є важливим для тривалих місій.

Цей підхід може бути підтверджений через моделювання та симуляції, де можна показати переваги використання ПІД-регулятора у порівнянні з традиційними методами керування БПЛА. Це включає візуалізацію в Autodesk Fusion 360 та симуляції в MATLAB або Simulink, де буде показано, як система керування з ПІД-регулятором реагує на зміну вантажу, атмосферних умов і зовнішніх збурень.

Використання ПІД-регулятора в системі управління БПЛА для гуманітарних місій дозволить значно покращити точність, стабільність та енергоефективність БПЛА, що є ключовими для забезпечення успіху місій у складних умовах. Це стане науковим внеском у розробку БПЛА для гуманітарних цілей і відкриє нові можливості для їх ефективного використання в різних сценаріях.

ПІД-регулятор виробляє вихідний сигнал, який розраховується за такою формулою:

$$Y_i = \frac{1}{K_p} \cdot \left(E_i + \tau_d \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{\text{вип}}} + \frac{1}{\tau_i} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{\text{вип}} \right) \cdot 100\%,$$

де X_p – смуга пропорційності; E_i – неузгодженість; τ_d – постійна часу диференціювання; ΔE_i – різниця між двома сусідніми вимірами E_i та E_{i-1} ; Δt_{min} – час між двома сусідніми вимірами T_i та T_{i-1} ; τ_i – постійна часу інтегрування; ΣE_i – накопичена в i -й момент часу сума неузгодженостей (інтегральна сума).

ПД-регулятор несе у собі три функції: це пропорційна (P) функція, яка відповідає за корекцію на основі поточної похибки, інтегральна (I) функція, яка враховує накопичену похибку за час, що дозволяє усунути постійні, але малі відхилення, які можуть залишатися після дії пропорційної складової, та диференціальна (D) функція, яка враховує швидкість зміни похибки, що дозволяє передбачити та коригувати майбутні відхилення. Це допомагає зменшити коливання та забезпечити більш стабільне управління.

k_P , k_I та k_D – це коефіцієнти, які налаштовуються для правильного функціонування ПД-регулятора. Їх значення можуть варіюватися залежно від конкретної системи та кожен з цих коефіцієнтів може бути встановлений як нуль, що призведе до відключення відповідної складової компоненти регулятора. Таким чином, регулятор можна налаштувати як пропорційний (P), пропорційно-

інтегральний (PI), пропорційно-диференціальний (PID) та інші комбінації. Різні системи потребують різних налаштувань, саме тому ПД-регулятор є таким універсальним.

Для налаштування регулятора потрібно варіювати коефіцієнти:

– за умови збільшення k_P збільшується швидкість виходу на встановлене значення, збільшується сигнал, що управляє. Чисто математично система не може прийти рівно до заданого значення, бо за наближення до установки P складник пропорційно зменшується. При подальшому збільшенні k_P реальна система втрачає стійкість і починаються коливання;

– за умови збільшення k_I зростає швидкість компенсації помилки, яка накопичилася, що дозволяє вивести систему точно до заданого значення з плином часу. Якщо система повільна, а k_I є занадто великим – інтегральна сума сильно зростає та відбудеться перерегулювання, яке може мати характер коливань, що не затухають, з великим періодом. Тому інтегральну суму в алгоритмі регулятора часто обмежують, щоб вона не могла збільшуватися та зменшуватися до нескінченності;

– за умови збільшення k_D зростає стабільність системи, вона дає системі змінюватися дуже швидко. У той же час k_D може стати причиною неадекватної поведінки системи та постійних стрибків сигналу керуємого, якщо значення з датчика коливається. На кожну різку зміну сигналу датчика D складова буде реагувати зміною керуємого сигналу, тому сигнал з датчика потрібно фільтрувати.

Отже, правильне налаштування коефіцієнтів k_P , k_I і k_D є критичним для досягнення оптимальної роботи регулятора. Якщо коефіцієнти вибрані неправильно, система може або втратити стійкість, або бути занадто повільною в досягненні заданої величини, що призведе до зниження ефективності регулювання. Тому важливо забезпечити баланс між цими коефіцієнтами, щоб система працювала швидко, стабільно та точно.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ AUTODESK FUSION 360. Для тривимірного моделювання конструкції БПЛА було використано програмне забезпечення Autodesk Fusion 360, яке забезпечує необхідну точність і функціональність для розробки інженерних виробів. Програма також містить розширені функції симуляції, які дають змогу аналізувати механічні навантаження, деформації та інші фізичні властивості.

Fusion 360 підходить для моделювання БПЛА завдяки своїй універсальності та потужним інструментам для дизайну, симуляції та інженерного аналізу. Програма дозволяє створювати деталізовані 3D-моделі, що включають корпус БПЛА, його пропелери, раму, кріплення для батарей та інші ключові компоненти. Використовуючи параметричне та поверхневе моделювання, можна точно налаштовувати форму і структуру кожної деталі, щоб зробити

БПЛА максимально легким і аеродинамічним. На рисунку 2 представлено частину тривимірної моделі октокоптера, створеної у програмному забезпеченні Autodesk Fusion 360. Зображено основну монтажну пластину та кріплення для одного з плечей БПЛА.

Ця конструкція розроблена автором і використовується для забезпечення жорсткості каркаса, а також зручного кріплення двигунів та інших компонентів. Отвори на пластині призначені для кріплення електроніки та компонентів, а геометрія плеча розрахована для зменшення ваги за збереження міцності.

Програмне забезпечення підтримує симуляції, які дозволяють протестувати конструкцію БПЛА під навантаженням, наприклад, у польоті або під час приземлення. Це особливо корисно для перевірки надійності та міцності БПЛА ще на етапі проєктування, щоб зменшити ймовірність пошкоджень у реальних умовах. Інструменти для оптимізації топології дозволяють покращити вагу і форму конструкції, створюючи легкі та міцні деталі, що важливо для БПЛА, яким потрібен тривалий час польоту.

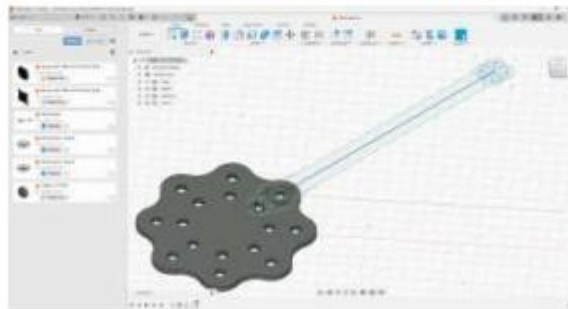


Рисунок 2 – 3D-модель кріплення для корпусу БПЛА, розробленого у ПЗ Autodesk Fusion 360 Software

РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ БПЛА. Конструкція октокоптера передбачає підвищену вантажопідйомність завдяки восьми роторам, що забезпечують стабільний політ навіть у складних погодних умовах. БПЛА оснащений інноваційною системою автономної навігації, яка дозволяє точно визначати місцезнаходження та прокладати маршрут без втручання оператора, використовуючи GPS та інші сенсори для уникнення перешкод. Унікальність проєкту полягає в інтеграції модулів для різних типів гуманітарних місій: від доставки охолоджених медичних препаратів до розгортання зв'язку в місцях катастрофи.

Результати дослідження підтвердили, що запропонована конструкція є ефективною, екологічною та придатною для багаторазового використання. Проведені польові випробування показали високу точність доставки та надійність функціонування БПЛА навіть за умов екстремальних температур і сильного вітру. Цей БПЛА може суттєво змінити підхід до надання гуманітарної допомоги, особливо в умовах, коли швидкість і точність доставки мають критичне значення (рисунок 3).

ВИСНОВКИ. Таким чином, у даній роботі були висвітлені завдання, що виникають під час розробки безпілотної робототехнічної мобільної платформи, призначеної для ефективної доставки гуманітарної допомоги в зону надзвичайних ситуацій, розглянуто систему VTOL, описано ПІД-регулятор та програмне забезпечення Autodesk Fusion 360, побудовано модель БПЛА-октокоптера для гуманітарної місії.

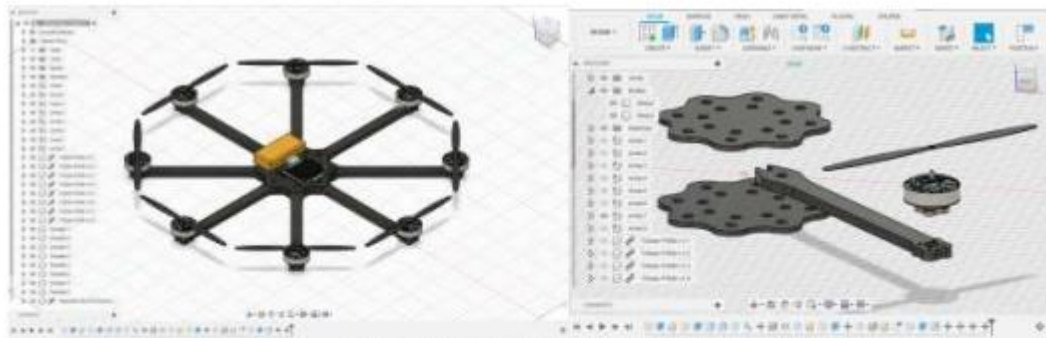


Рисунок 3 – 3D-модель БПЛА для гуманітарної допомоги, побудована у ПЗ Autodesk Fusion 360

ЛІТЕРАТУРА

1. Nevliudov I. Sh. Improvement of the commutation system for a mobile robot platform using polyimide structures / Nevliudov I., Zharikova I., Bronnikov A. // Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference (May 8-10, 2022), Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. – 2022. – PP. 157-163.
2. Zharikova, I., Nevliudova, V., & Chala, O. (2023). Flexible printed structures quality models for mobile robot platform. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 1(1), 77-84. Retrieved from <https://journalofnastech.com/index.php/pub/article/view/9>.
3. Жарікова І. В. Дослідження механічних параметрів гнучких комутаційних структур для мобільних роботизованих платформ / І. В. Жарікова, Д. О. Нікітін // Виробництво & Мехатронні Системи 2024 : матеріали VIII-ої Міжнародної конференції, 25-26 жовтня 2024 р. – Харків, 2024. – С. 110-113.
4. Невлюдов І., Жарікова І., Бронніков А. Використання гнучких комутаційних структур у складі апаратної частини мобільного робота //2023 2nd International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE). – 2023. – С. 41-44.
5. Autodesk Fusion 360 Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription](http://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription).
6. Tan, K. K., Wang, Q. G., Hang, C. C., *Advances in PID control*, Springer Science & Business Media, (2012).

Науковий керівник: Жарікова Ірина Володимирівна, доцент, кандидат технічних наук, доцент, кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки.

ДОДАТОК Б
Демонстраційний матеріал

