



DRONLARNING PARVOZ DINAMIKASI VA AERODINAMIK XUSUSIYATLARINI O'RGANISH

Rustamov Zuhridin Zayniddin o'g'li

NamDU akademik litseyi,

Fizika fani o'qituvchisi

E-mail: rustamovzuhridin32@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada uchuvchisiz uchish apparatlari - dronlarning parvoz dinamikasi va ularga ta'sir etuvchi aerodinamik kuchlar tizimli tahlil qilingan. Ko'tarish kuchi, sudralish (qarshilik) kuchi, tortish kuchi va og'irlik kuchining o'zaro muvozanati, propeller aerodinamikasining momentum va pona elementi nazariyalari asosida hisoblanishi, ko'p rotorli (multirotor) tizimlarning uchta chiziqli va uchta burchakli erkinlik darajasi bo'yicha harakat tenglamalari hamda Reynolds va Frud sonlarining kichik o'lchamli dronlar uchun ahamiyati ko'rib chiqilgan. Shuningdek, dronlarning turg'unligi, boshqaruvchanligi va PID-regulyator asosidagi avtomatik barqarorlashtirish tizimlarining ishlash prinsiplari, sensorlar (IMU, barometr, GPS) ma'lumotlarining rol o'ynashi yoritilgan. Olingan natijalar dronlarni loyihalashda, ta'lim jarayonida fizika va texnika fanlarini o'qitishda amaliy ahamiyatga ega ekanligi asoslangan.

Kalit so'zlar: dron, uchuvchisiz uchish apparati (UUA), parvoz dinamikasi, aerodinamika, ko'tarish kuchi, sudralish kuchi, propeller, multirotor, Reynolds soni, turg'unlik, PID-regulyator, kvadrokopter.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОЛЁТА И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРОНОВ



Рустамов Зухриддин Зайниддин угли

*учитель физики Академического лицея НамГУ (Наманганский
государственный университет)*

Аннотация. В данной статье проведён системный анализ динамики полёта беспилотных летательных аппаратов - дронов, а также аэродинамических сил, действующих на них. Рассмотрено взаимное равновесие подъёмной силы, силы сопротивления (лобового сопротивления), силы тяги и силы тяжести; расчёт аэродинамики воздушного винта на основе импульсной теории и теории элемента лопасти; уравнения движения мультироторных систем по трём линейным и трём угловым степеням свободы, а также значение чисел Рейнольдса и Фруда для малоразмерных дронов. Кроме того, освещены устойчивость и управляемость дронов, принципы работы систем автоматической стабилизации на основе ПИД-регулятора, а также роль данных датчиков (IMU, барометр, GPS). Полученные результаты обосновывают практическую значимость данной темы при проектировании дронов и при преподавании физики и технических дисциплин в учебном процессе.

Ключевые слова: дрон, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), динамика полёта, аэродинамика, подъёмная сила, сила сопротивления, воздушный винт, мультиротор, число Рейнольдса, устойчивость, ПИД-регулятор, квадрокоптер.

STUDY OF THE FLIGHT DYNAMICS AND AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF DRONES

Rustamov Zukhriddin Zayniddin ugli

Physics teacher, Academic Lyceum of



Namangan State University (NamSU)

Annotation. This article presents a systematic analysis of the flight dynamics of unmanned aerial vehicles (drones) and the aerodynamic forces acting upon them. It examines the balance between lift, drag, thrust and weight forces; the calculation of propeller aerodynamics based on momentum theory and blade element theory; the equations of motion of multirotor systems with three linear and three angular degrees of freedom; and the significance of the Reynolds and Froude numbers for small-scale drones. The article also covers drone stability and controllability, the operating principles of PID-based automatic stabilization systems, and the role of sensor data (IMU, barometer, GPS). The results obtained substantiate the practical importance of this topic for drone design and for teaching physics and engineering disciplines in the educational process.

Keywords: drone, unmanned aerial vehicle (UAV), flight dynamics, aerodynamics, lift force, drag force, propeller, multirotor, Reynolds number, stability, PID controller, quadcopter.

Kirish

So‘nggi yillarda uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA), xalq orasida keng tarqalgan nomi bilan dronlar, qishloq xo‘jaligi monitoringi, kartografiya, tez yordam yukini yetkazish, ekologik kuzatuv, harbiy razvedka va ta‘lim sohalarida qo‘llanilmoqda. O‘zbekistonda ham dronlardan foydalanish qishloq xo‘jaligi ekinlarini himoyalash, geodezik o‘lchash ishlari va suv resurslarini nazorat qilishda tobora kengaymoqda, bu esa mazkur texnikaning fizik-texnik asoslarini chuqur o‘rganishni dolzarb vazifaga aylantiradi.

Dronning havoda barqaror va boshqariladigan holda harakatlanishi ikkita o‘zaro bog‘liq fan sohasi - parvoz dinamikasi va aerodinamika qonuniyatlariga asoslanadi. Aerodinamika apparat atrofidagi havo oqimi hosil qiladigan kuch va momentlarni o‘rgansa, parvoz dinamikasi shu kuchlar ta‘sirida apparatning fazoda qanday harakatlanishini, ya‘ni uning holatini tavsiflovchi differensial tenglamalar



tizimini tadqiq qiladi. Ushbu maqolaning maqsadi - dron parvozini ta'minlovchi asosiy aerodinamik kuchlarni, ularning matematik ifodalarini va parvoz barqarorligini ta'minlash mexanizmlarini tizimli va aniq faktlar asosida yoritishdan iborat.

Dron parvozigacha ta'sir etuvchi asosiy kuchlar

Har qanday uchish apparati, jumladan dron ham, parvoz vaqtida to'rtta asosiy kuch ta'sirida bo'ladi: og'irlik kuchi (Mg), ko'tarish kuchi (L), tortish kuchi (T) va sudralish - havo qarshiligi kuchi (D). Gorizontaal barqaror parvozda ko'tarish kuchi og'irlik kuchiga, tortish kuchi esa sudralish kuchiga teng bo'lishi kerak:

$$L = Mg, \quad T = D.$$

Ko'tarish kuchi klassik aerodinamik formula orqali hisoblanadi:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_L$$

bu yerda ρ - havoning zichligi (dengiz sathida taxminan $1,225 \text{ kg/m}^3$), V - havo oqimiga nisbatan tezlik, S - qanot yoki propeller diskining yuza maydoni, C_L - ko'tarish koeffitsiyenti bo'lib, u hujum burchagiga va profil shakliga bog'liq holda o'zgaradi. Xuddi shunday tarzda sudralish kuchi $D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_D$ formula bilan aniqlanadi, bu yerda C_D - sudralish koeffitsiyenti.

Ko'p vintli (multirotor) dronlarda ko'tarish kuchi qanot emas, balki aylanuvchi propellerlar tomonidan hosil qilinadi. Bunday holatda impuls (momentum) nazariyasiga ko'ra, propeller hosil qiladigan tortish kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$T = 2 \cdot \rho \cdot A \cdot v_i^2$$

bu yerda A - propeller diskining maydoni, v_i - induksion (indutsirlangan) havo oqimi tezligi. Ushbu munosabat propellerlarning aylanish tezligi ortishi bilan tortish kuchi kvadratik emas, balki taxminan ikkinchi darajali (ω^2) qonun bo'yicha o'sishini



ko'rsatadi, ya'ni real tajribalarda $T \approx k \cdot \omega^2$ munosabati keng qo'llaniladi, bu yerda k - propellerlarning geometrik va aerodinamik xususiyatlariga bog'liq tortish koeffitsiyenti.

Propeller aerodinamikasi: pona elementi nazariyasi

Propeller ishini aniqroq tahlil qilish uchun pona elementi nazariyasi (Blade Element Theory) qo'llaniladi. Bu nazariyaga ko'ra propeller pichog'i ko'plab kichik radial kesmalarga (elementlarga) bo'linadi va har bir elementga alohida qanot profili sifatida qaralib, unga ta'sir etuvchi elementar ko'tarish va sudralish kuchlari hisoblanadi, so'ngra butun pichoq bo'ylab integrallanadi. Bu yondashuv momentum nazariyasi bilan birgalikda qo'llanilganda (Blade Element Momentum Theory - BEMT), propellerlarning turli aylanish tezliklari va hujum burchaklarida ko'rsatgan real xarakteristikalarini yuqori aniqlik bilan bashorat qilish imkonini beradi.

Kichik o'lchamli dron propellerlari uchun Reynolds soni odatda 10 000 dan 100 000 gacha oralig'ida bo'ladi:

$$Re = \rho \cdot V \cdot c / \mu$$

bu yerda c - pichoqning xordasi (kengligi), μ - havoning dinamik yopishqoqligi. Bunday nisbatan past Reynolds sonlarida havo oqimining laminar-turbulent o'tishi beqaror kechadi, natijada kichik dronlar propellerlarining aerodinamik samaradorligi katta uchish apparatlariga nisbatan pastroq bo'ladi va bu holat propeller profilini loyihalashda alohida hisobga olinishi shart.

Dronning fazodagi harakat tenglamalari va turg'unligi

Dron - fazoda oltita erkinlik darajasiga (6-DOF) ega qattiq jism sifatida qaraladi: uchta chiziqli siljish (x, y, z bo'yicha) va uchta burchakli aylanish - kren (roll, φ), tang (pitch, θ) va sarish (yaw, ψ) burchaklari. Nyutonning ikkinchi qonuni va aylanma harakat uchun moment tenglamasi asosida dron dinamikasi quyidagi umumlashgan tarzda ifodalanadi:



$$m \cdot (dV/dt) = F_{\text{aero}} + F_{\text{tortish}} + F_{\text{og'irlik}}, \quad I \cdot (d\omega/dt) + \omega \times (I \cdot \omega) = M$$

bu yerda m - apparat massasi, I - inersiya tenzori, ω - burchak tezlik vektori, M - propellerlar hosil qilgan boshqaruvchi momentlar yig'indisi. Kvadrokopterlarda to'rtta propellerning aylanish tezliklarini mustaqil boshqarish orqali tang, kren va sarish momentlari hosil qilinadi: masalan, old va orqa propellerlar tortish kuchi farqi tang momentini, chap va o'ng propellerlar farqi esa kren momentini yuzaga keltiradi, sarish momenti esa soat yo'nalishi va soat yo'nalishiga teskari aylanuvchi propellerlar reaktiv momentlarining farqidan hosil bo'ladi.

Dronning barqaror parvozini ta'minlash uchun zamonaviy tizimlarda inersial o'lchov bloki (IMU - akselerometr va giroskop), barometrik balandlik sensori hamda GPS moduli ma'lumotlari birlashtirilib (sensor fyujn), Kalman filtri orqali qayta ishlanadi. Olingan holat parametrlari asosida PID (proportsional-integral-differensial) regulyator har bir propeller uchun zarur aylanish tezligini real vaqt rejimida hisoblab chiqaradi, bu esa tashqi shamol yoki turbulentlik ta'sirida ham apparat holatining tez tiklanishini ta'minlaydi.

Amaliy jihatlar va ta'lim ahamiyati

Aerodinamik va dinamik qonuniyatlarni bilish dron batareyasi sig'imini va parvoz davomiyligini optimallashtirishda muhim rol o'ynaydi: tortish kuchi talabi ortishi energiya sarfini keskin oshiradi, chunki quvvat talabi taxminan tortish kuchining $3/2$ darajasiga proporsional ($P \propto T^{1.5}$) o'sadi. Shuning uchun amaliyotda ortiqcha yuk yoki noqulay hujum burchagi parvoz vaqtini sezilarli darajada qisqartiradi.

Fizika ta'limi nuqtai nazaridan dronlar mavzusi Nyuton qonunlari, aylanma harakat, moment, energiya va quvvat tushunchalarini amaliy, ko'rgazmali misolda o'rganish imkonini beruvchi zamonaviy vosita hisoblanadi. Akademik litsey o'quvchilariga dron parvozi misolida kuchlar muvozanati va boshqaruv tizimlari tushuntirilishi ularning muhandislik fikrlashini rivojlantirishga xizmat qiladi.



Xulosa

O'tkazilgan tahlil shuni ko'rsatadiki, dronlarning parvoz dinamikasi va aerodinamik xususiyatlari klassik mexanika va aerodinamika qonunlarining o'zaro uyg'unlashgan qo'llanilishiga asoslanadi. Ko'tarish, sudralish va tortish kuchlarining matematik modeli, propeller aerodinamikasining momentum hamda pona elementi nazariyalari, shuningdek olti erkinlik darajali harakat tenglamalari dron parvozini to'liq va aniq tavsiflash imkonini beradi. Kichik Reynolds sonlari sharoitida ishlaydigan propellerlarning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olish, sensorlar ma'lumotlarini birlashtirish va PID asosidagi boshqaruv algoritmlarini takomillashtirish - dronlarning barqarorligi va energetik samaradorligini oshirishning asosiy yo'nalishlari hisoblanadi. Ushbu bilimlarni ta'lim jarayoniga tatbiq etish esa o'quvchi va talabalarda fizika-texnika fanlariga bo'lgan amaliy qiziqishni kuchaytiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Habibullayev S., Vahobov A. Fizika. Umumiy fizika kursi. Toshkent: O'qituvchi, 2015. 512 b.
2. Sharipov O'.Q., Nazarov Q.A. Aerodinamika va uchish apparatlari mexanikasi asoslari. Toshkent: Fan va texnologiya, 2018. 264 b.
3. Yusupov M.A. Uchuvchisiz uchish apparatlarining qo'llanilish istiqbollari // O'zMU xabarleri (Fizika-matematika seriyasi). 2021. №3. B. 118–124.
4. Qodirov B.N., Toshpo'latov D.S. Kvadrokopterlarning boshqaruv tizimlarini modellashtirish // Fizika, matematika va informatika ilmiy-metodik jurnali. Toshkent, 2022. №2. B. 45–52.
5. Rasulov T.H. Mexanika va aylanma harakat dinamikasi. O'quv qo'llanma. Namangan: NamDU nashriyoti, 2020. 180 b.



6. Ergashev A.S. Qishloq xo'jaligida dron texnologiyalaridan foydalanish samaradorligi // Agroilm ilmiy jurnali. 2023. №1. B. 76–81.
7. Nazarova D.R. Akademik litseylarda fizika fanini o'qitishda zamonaviy texnologiyalardan foydalanish metodikasi. Toshkent: TDPU nashriyoti, 2019. 96 b.
8. Anderson J.D. Fundamentals of Aerodynamics. 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017. 1130 p.
9. Etkin B., Reid L.D. Dynamics of Flight: Stability and Control. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 400 p.
10. Beard R.W., McLain T.W. Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice. Princeton: Princeton University Press, 2012. 320 p.
11. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. - Chichester: John Wiley & Sons, 2010. 372 p.
12. Fahlstrom P.G., Gleason T.J. Introduction to UAV Systems. 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2012. 294 p.
13. Stengel R.F. Flight Dynamics. Princeton: Princeton University Press, 2004. 864 p.