



## AERONAVIGATSIYA VA ALOQA TIZIMLARIDA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR: GPS, DRONLAR VA ANTI-DRON TIZIMLARI

**Ilmiy rahbar: Shukurova S.M.**

PhD, Dotsent TDT universiteti

“Aeronavigatsiya tizimlari” kafedrası muduri

**Isroilov Imomali Utkirovich**

Toshkent Davlat Transport Unversiteti talabasi

Imomaliisroilov353@gmail.com

tel.: 900523596

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada aeronavigatsiya va aloqa tizimlarida GPS/GNSS, dronlar, masofadan identifikatsiya qilish, uchuvchisiz havo kemalarini havo hududiga integratsiya qilish hamda anti-dron tizimlarining ilmiy-texnik asoslari tahlil qilinadi. Aeronavigatsiyada sun'iy yo'ldosh navigatsiyasi parvoz yo'nalishini aniqlash, havo kemasining koordinatasi, tezligi va vaqt sinxronizatsiyasini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Dronlar esa monitoring, logistika, qidiruv-qutqaruv, qishloq xo'jaligi va infratuzilma nazoratida keng qo'llanmoqda. Shu bilan birga, aeroportlar va muhim obyektlar hududida ruxsatsiz dronlar xavfsizlikka tahdid tug'dirgani sababli aniqlash, kuzatish va zararsizlantirishga qaratilgan anti-dron tizimlari rivojlanmoqda. Maqolada GPS psevdouzoqlik tenglamasi, trilateratsiya, aloqa kanali sig'imi, radar tenglamasi, dron uchish vaqti hamda sensorli aniqlash modeli keltiriladi.

**Kalit so'zlar:** aeronavigatsiya, aloqa tizimlari, GPS, GNSS, dron, UAV, UAS, RPAS, anti-dron tizimi, radar, radiochastota monitoringi, Remote ID, PBN, ADS-B, havo harakati boshqaruvi.



## MODERN TECHNOLOGIES IN AERONAVIGATION AND COMMUNICATION SYSTEMS: GPS, DRONES AND COUNTER- DRONE SYSTEMS

**Abstract.** This article analyzes the scientific and technical foundations of GPS/GNSS, drones, remote identification, integration of unmanned aircraft into airspace, and counter-drone systems in aeronautical navigation and communication systems. Satellite navigation is essential in aviation for determining flight routes, aircraft coordinates, velocity, and time synchronization. Drones are widely used in monitoring, logistics, search and rescue, agriculture, and infrastructure inspection. At the same time, unauthorized drones near airports and critical facilities pose safety and security risks, which has accelerated the development of detection, tracking, and counter-drone systems. The article presents GPS pseudorange equations, trilateration, communication channel capacity, radar equation, drone flight endurance, and sensor-based detection models.

**Keywords:** aeronautical navigation, communication systems, GPS, GNSS, drone, UAV, UAS, RPAS, counter-drone system, radar, radio-frequency monitoring, Remote ID, PBN, ADS-B, air traffic management.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ И СВЯЗНЫХ СИСТЕМАХ: GPS, ДРОНЫ И АНТИДРОНОВЫЕ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** В статье анализируются научно-технические основы применения GPS/GNSS, дронов, дистанционной идентификации, интеграции беспилотных воздушных судов в воздушное пространство и антидроновых систем в аэронавигационных и связных системах. Спутниковая навигация в авиации играет важную роль в определении маршрута полёта, координат воздушного судна, скорости и синхронизации



времени. Дроны широко применяются в мониторинге, логистике, поисково-спасательных работах, сельском хозяйстве и контроле инфраструктуры. Вместе с тем несанкционированные дроны вблизи аэропортов и важных объектов создают риски для безопасности, что обуславливает развитие систем обнаружения, сопровождения и противодействия дронам. В статье приводятся уравнения псевдодальности GPS, трилатерации, пропускной способности канала связи, радиолокационного обнаружения, времени полёта дрона и сенсорной модели обнаружения.

**Ключевые слова:** аэронавигация, системы связи, GPS, GNSS, дрон, UAV, UAS, RPAS, антидроновая система, радар, радиочастотный мониторинг, Remote ID, PBN, ADS-B, управление воздушным движением.

**Kirish.** Aeronavigatsiya va aloqa tizimlari zamonaviy fuqaro aviatsiyasi, harbiy aviatsiya, havo harakati boshqaruvi, uchuvchisiz parvozlari va aeroport xavfsizligining asosiy texnologik tayanchi hisoblanadi. Parvoz xavfsizligi havo kemasining aniq joylashuvi, yo'nalishi, balandligi, tezligi, dispetcherlik aloqa sifati, meteorologik axborot, navigatsion yordamchi vositalar va havo hududidagi boshqa obyektlar bilan o'zaro muvofiqlashuviga bog'liq. So'nggi yillarda aeronavigatsiyada sun'iy yo'ldosh navigatsiyasi, raqamli aloqa, avtomatik kuzatuv, uchuvchisiz havo tizimlari va anti-dron texnologiyalari jadal rivojlandi. GPS va GNSS tizimlari havo kemalariga an'anaviy radio-navigatsion vositalardan tashqari global koordinata, vaqt va tezlik axborotini taqdim etadi. ICAO Performance Based Navigation konsepsiyasi RNAV va RNP kabi navigatsion talablarni global uyg'unlashtirishga qaratilgan bo'lib, davlatlarga PBN mezonlari asosida marshrut va aeroport protseduralarini joriy etishni tavsiya qiladi [1].

Dronlar aviatsiya texnologiyalarining yangi bosqichini boshlab berdi. Ular qishloq xo'jaligi, geodeziya, monitoring, qidiruv-qutqaruv, transport, videotasvir,



ekologik nazorat va xavfsizlik sohalarida qo'llanmoqda. ICAO uchuvchisiz aviatsiya, RPAS, UAS Traffic Management, advanced air mobility va vertiportlar bo'yicha global standartlar, tartiblar va ko'rsatmalar ishlab chiqayotganini qayd etadi [2]. Dronlar bilan bog'liq xavfsizlik masalalari ham kuchaymoqda. Aeroportlar, harbiy obyektlar, energetika infratuzilmasi va ommaviy tadbirlar hududida ruxsatsiz dronlar parvoz xavfsizligiga, axborot xavfsizligiga va jamoat tartibiga tahdid tug'dirishi mumkin. Shu sababli anti-dron tizimlari — ya'ni dronlarni aniqlash, tasniflash, kuzatish, identifikatsiya qilish va zarur hollarda qonuniy tartibda zararsizlantirish tizimlari — dolzarb ilmiy-amaliy yo'nalishga aylandi.

**Asosiy qism.** Aeronavigatsiyaning asosiy maqsadi havo kemasining fazodagi holatini aniq aniqlash, parvoz yo'nalishini boshqarish va havo hududida xavfsiz ajratishni ta'minlashdan iborat. An'anaviy navigatsiyada VOR, DME, NDB, ILS kabi yer usti radio vositalari muhim o'rin tutgan bo'lsa, zamonaviy tizimlarda GPS/GNSS, SBAS, ABAS, ADS-B, CPDLC va raqamli havo harakati boshqaruvi texnologiyalari keng qo'llanmoqda. FAA ma'lumotlariga ko'ra, GNSS aviatsiyada GPS, WAAS va ABAS kabi tizimlarni o'z ichiga oladi; WAAS keng hududli sun'iy yo'ldoshli qo'shimcha tizim sifatida GPS aniqligini va ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi [3].

GPS — Global Positioning System — sun'iy yo'ldoshlar orqali joylashuv, navigatsiya va vaqtni aniqlash tizimidir. Uning asosiy g'oyasi sun'iy yo'ldoshdan qabul qiluvchigacha bo'lgan masofani vaqt kechikishi orqali o'lchashga asoslanadi. GPS.gov ma'lumotlarida GPS modernizatsiyasi tizimning xizmat sifati, barqarorligi va foydalanuvchilar uchun imkoniyatlarini yaxshilashga qaratilgani qayd etiladi [4].

GPS ishlashining matematik asosi psevdouzoqlik tenglamasida ifodalanadi:

$$\rho_i = c(t_r - t_i) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} + c\Delta t + \varepsilon_i$$



Bu yerda:

$\rho_i$ —  $i$ -sun'iy yo'ldoshgacha o'lchangan psevdouzoqlik;

$c$ — yorug'lik tezligi;

$t_r$ — qabul qiluvchi signalni olgan vaqt;

$t_i$ — signal yuborilgan vaqt;

$(x' y' z)$ — qabul qiluvchi koordinatalari;

$(x_i' y_i' z_i)$ — sun'iy yo'ldosh koordinatalari;

$\Delta t$ — qabul qiluvchi soati xatosi;

$\varepsilon_i$ — ionosfera, troposfera, ko'p yo'lli tarqalish va o'lchash xatolari.

GPS aniqligiga bir nechta omil ta'sir qiladi. Ular qatoriga sun'iy yo'ldosh geometriyasi, atmosfera kechikishi, qabul qiluvchi sifati, antenaning joylashuvi, ko'p yo'lli signal tarqalishi, radiochastota shovqini va vaqt sinxronizatsiyasi kiradi. Aniqlik ko'pincha DOP — dilution of precision — koeffitsiyenti orqali baholanadi:

$$\sigma_{pos} = DOP \cdot \sigma_{range}$$

Bu yerda  $\sigma_{pos}$ — joylashuv xatosi,  $\sigma_{range}$ — masofa o'lchash xatosi. DOP kichik bo'lsa, sun'iy yo'ldoshlar geometriyasi qulay va joylashuv aniqligi yuqori bo'ladi.

Aviatsiyada GPS/GNSS mustaqil ishlashi yetarli emas; uning yaxlitligi, uzluksizligi, aniqligi va mavjudligi ham muhim. Shuning uchun SBAS va ABAS kabi qo'shimcha tizimlar ishlatiladi. SBAS sun'iy yo'ldosh va yer usti stansiyalari orqali tuzatishlar yuboradi, ABAS esa havo kemasi bortidagi qabul qiluvchi algoritmlar, jumladan RAIM orqali xatolarni aniqlaydi [3].

Aeronavigatsiya tizimlarida aloqa ham navigatsiya kabi muhimdir. Havo kemasi va dispatcher o'rtasidagi aloqa odatda VHF ovozli radioaloqa, HF aloqa, SATCOM, CPDLC va boshqa raqamli kanallar orqali ta'minlanadi. Raqamli



aloqa parvoz rejalari, yoʻnalish oʻzgarishlari, balandlik ruxsatlari va boshqa maʼlumotlarni matnli shaklda uzatish imkonini beradi. Aloqa kanali sifati signal-quvvat, shovqin, polos kengligi va kodlash usullariga bogʻliq.

Aloqa tizimining nazariy sigʻimi Shannon formulasi orqali ifodalanadi:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

Bu yerda:

$C$  — kanal sigʻimi, bit/s;

$B$  — kanal polos kengligi, Hz;

$S$  — foydali signal quvvati;

$N$  — shovqin quvvati;

$\frac{S}{N}$  — signal-shovqin nisbati.

Bu formula aeronavigatsiya va dron aloqa tizimlarida maʼlumot uzatish tezligi, signal sifati va radiochastota muhitini baholashda nazariy asos boʻlib xizmat qiladi.

Aeronavigatsiyada kuzatuv texnologiyalari ham muhim. ADS-B — Automatic Dependent Surveillance–Broadcast — havo kemasining GPS/GNSS orqali aniqlangan koordinata, tezlik, balandlik va identifikatsiya maʼlumotlarini efirga uzatish texnologiyasidir. ADS-B orqali dispetcherlik tizimlari va boshqa havo kemalari parvoz holatini kuzatishi mumkin. Biroq ADS-B va GPS signallari xavfsizlik nuqtayi nazaridan jamming va spoofing kabi xatarlarga nisbatan baholanishi kerak.

Dronlar yoki UAV/UAS tizimlari aeronavigatsiya va aloqa sohasiga yangi talablar olib kirdi. UAS odatda uchuvchisiz havo apparati, yer usti boshqaruv stansiyasi, aloqa kanali, navigatsiya tizimi, foydali yuklama va dasturiy boshqaruv tizimidan iborat boʻladi. ICAO RPAS va UASlarni global aviatsiya



tizimiga xavfsiz, samarali va himoyalangan tarzda integratsiya qilishni o'z faoliyatining muhim yo'nalishlaridan biri sifatida belgilaydi [2].

Dronlarda navigatsiya odatda GNSS, inertial o'lchov bloki — IMU, barometr, magnetometr, vizual navigatsiya, optik oqim sensorlari va ba'zan LiDAR orqali amalga oshiriladi. GNSS ochiq hududda yaxshi natija beradi, lekin binolar orasida, metall konstruksiyalar yaqinida yoki radioelektron shovqin mavjud joyda IMU va vizual navigatsiya bilan integratsiya zarur bo'ladi.

Dron parvoz vaqtini soddalashtirilgan tarzda quyidagicha baholash mumkin:

$$T = \frac{E_{bat}\eta}{P_{avg}}$$

Bu yerda:

$T$ — parvoz vaqti;

$E_{bat}$ — batareya energiyasi;

$\eta$ — energiya tizimi samaradorligi;

$P_{avg}$ — parvoz paytidagi o'rtacha quvvat sarfi.

Bu formula parvoz davomiyligi batareya sig'imi va dronning aerodinamik samaradorligiga bog'liqligini ko'rsatadi. Yuk og'irligi ortsa, shamol kuchaysa yoki parvoz tezligi nooptimal bo'lsa,  $P_{avg}$  ortadi va parvoz vaqti kamayadi.

Dronlarda aloqa kanali C2 — command and control — muhim funksiyani bajaradi. C2 orqali operator buyruqlar yuboradi, dron esa telemetriya, koordinata, balandlik, batareya holati va sensor axborotini qaytaradi. C2 kanalining uzilishi favqulodda rejimlar, avtonom qaytish, xavfsiz qo'nish yoki oldindan belgilangan marshrut bo'yicha davom etish algoritmlarini talab qiladi.

Dronlarni havo hududiga integratsiya qilishda masofadan identifikatsiya qilish muhim o'rin tutadi. FAA Remote IDni dronning parvoz vaqtida identifikatsiya va joylashuv ma'lumotlarini efir orqali uzatish qobiliyati sifatida



ta'riflaydi; bu ma'lumotlar huquqni muhofaza qiluvchi organlar va mas'ul tashkilotlarga xavfli yoki taqiqlangan hududdagi dronni hamda boshqaruv stansiyasini aniqlashga yordam beradi [5].

Anti-dron tizimlari ruxsatsiz yoki xavfli dronlarni aniqlash, kuzatish, tasniflash, identifikatsiya qilish va belgilangan huquqiy tartibda javob choralarini ko'rishga qaratiladi. FAA aeroportlarda UAS aniqlash va javob berish texnologiyalarini joylashtirishda muvofiqlashtirish zarurligini qayd etadi, chunki bunday tizimlar aeroport infratuzilmasi, xavfsizlik axboroti va tartibga solish talablari bilan bog'liqdir [6].

Anti-dron tizimlarida odatda bir nechta sensor birgalikda ishlatiladi: radar, radiochastota monitoringi, optik kamera, infraqizil kamera, akustik sensor va Remote ID qabul qilgich. Bitta sensor yetarli bo'lmasligi mumkin, chunki kichik dronning radar kesimi kichik, akustik shovqini fon shovqiniga qo'shib ketishi, optik kamera esa tuman, qorong'ilik yoki masofa sabab cheklanishi mumkin. Shu sababli sensorlarni birlashtirish — data fusion — muhim texnik yondashuv hisoblanadi.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L}$$

Bu yerda:

$P_r$ — qabul qilingan signal quvvati;

$P_t$ — uzatilgan signal quvvati;

$G_t, G_r$ — uzatuvchi va qabul qiluvchi antenna kuchaytirish koeffitsiyentlari;

$\lambda$ — to'lqin uzunligi;

$\sigma$ — obyektning radar kesim yuzasi;

$R$ — masofa;

$L$ — yo'qotishlar.



Kichik dronlar uchun  $\sigma$  qiymati kichik bo'lgani sababli ularni uzoq masofadan aniqlash qiyinlashadi. Shu sababli radar ma'lumoti optik, infraqizil yoki radiochastota ma'lumoti bilan birlashtiriladi.

Radiochastota monitoringi dron va operator o'rtasidagi boshqaruv signallari yoki telemetriya oqimini aniqlashga asoslanadi. Bunda tizim signalning chastota diapazoni, vaqt bo'yicha o'zgarishi, modulyatsiya xususiyati va signal manbai yo'nalishini tahlil qiladi. Yo'nalishni aniqlashda antenna massivlari va faza farqi usullari qo'llanishi mumkin. Soddalashtirilgan holda signal-shovqin nisbati quyidagicha yoziladi:

$$SNR = \frac{P_s}{P_n}$$

Bu yerda  $P_s$ — foydali signal quvvati,  $P_n$ — shovqin quvvati.  $SNR$  qanchalik yuqori bo'lsa, signalni aniqlash ehtimoli shunchalik ortadi.

Akustik aniqlash dron propelleri va motorlarining tovush spektrini tahlil qiladi. Multirotor dronlarda propeller aylanish chastotasi va harmoniklari o'ziga xos akustik imzo hosil qiladi. Biroq akustik sensorlar shahar shovqini, shamol, transport va sanoat fonida cheklangan natija berishi mumkin.

Optik va infraqizil sensorlar vizual tasdiqlash uchun muhim. Kamera tizimi dronni tasvirda ajratib oladi, obyektни kuzatadi va tasniflaydi. Sun'iy intellektga asoslangan tasvir tahlili dron, qush, samolyot, shar yoki boshqa obyektlarni farqlashga yordam beradi. Bunda xato tasniflash ehtimoli ham baholanishi kerak.

Sensorli aniqlash jarayonida umumiy ehtimollik modeli quyidagicha ko'rinishda berilishi mumkin:

$$P_D = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{D_i})$$

Bu yerda:



$P_D$ — umumiy aniqlash ehtimoli;

$P_{D_i}$ —  $i$ -sensor orqali aniqlash ehtimoli;

$n$ — sensorlar soni.

Bu model sensorlar mustaqil ishlaydi degan soddalashtirilgan farazga asoslanadi. Amaliy tizimlarda sensorlar o'zaro bog'liq bo'lishi mumkin, shuning uchun murakkabroq bayes, Kalman filtri yoki mashinali o'rganish asosidagi fusion algoritmlar qo'llanadi.

Anti-dron tizimlarida javob choralarini tanlash xavf darajasi, hudud turi, huquqiy ruxsat, aeroport faoliyati, aholi xavfsizligi va dronning xarakteriga bog'liq. Javob choralari passiv kuzatuv, ogohlantirish, operatorni aniqlash, parvoz hududini yopish, xavfsizlik guruhini yuborish yoki qonuniy vakolatli organlar tomonidan texnik ta'sir ko'rsatish kabi bosqichlarga bo'linadi. Bunday texnik ta'sirlar har doim qonunchilik va aviatsiya xavfsizligi talablariga mos bo'lishi shart.

GPS/GNSS tizimlarida jamming va spoofing xavflari alohida e'tibor talab qiladi. Jamming foydali sun'iy yo'ldosh signalini shovqin bilan bostirishga qaratilgan bo'lsa, spoofing qabul qiluvchiga soxta navigatsion signal uzatish orqali noto'g'ri koordinata hosil qilishga olib kelishi mumkin. Aviatsiyada bunday xavflar parvoz xavfsizligi uchun muhim bo'lgani sababli inertial navigatsiya, multi-GNSS, RAIM, signal yaxlitligini tekshirish va alternativ navigatsion vositalar bilan zaxiralash zarur.

GPS signal sifatini baholashda tashuvchi-shovqin zichligi nisbati ishlatiladi:

$$C/N_0 = \frac{C}{N_0}$$



Bu yerda  $C$  — qabul qilingan tashuvchi signal quvvati,  $N_0$  — shovqin spektral zichligi.  $C/N_0$  pasaysa, signal sifati yomonlashadi va navigatsion yechim ishonchliligi kamayadi.

Aeronavigatsiya va dronlar integratsiyasida UTM — UAS Traffic Management — tizimlari istiqbolli yo'nalishdir. UTM past balandlikdagi dronlar harakatini rejalashtirish, ruxsat berish, kuzatish, to'qnashuvning oldini olish va geofencing orqali nazorat qilishga xizmat qiladi. ICAO ham UTM va advanced air mobility kabi yo'nalishlarning global aviatsiya tizimiga xavfsiz integratsiyasi bo'yicha ish olib borilayotganini ko'rsatadi [2].

Geofencing dron dasturiy ta'minotida taqiqlangan yoki cheklangan havo hududiga kirishni oldindan cheklash usulidir. Bunda dron koordinatasi belgilangan hudud chegarasi bilan solishtiriladi:

$$d = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$$

Agar  $d < R$  bo'lsa, dron radiusi  $R$  bo'lgan cheklangan hududga kirgan deb baholanadi. Real tizimlarda bu model murakkab poligonlar, balandlik chegaralari, vaqt bo'yicha cheklovlar va ruxsat rejimlari bilan to'ldiriladi.

Aloqa tizimlarida kiberxavfsizlik ham muhim. GPS ma'lumotlari, dron telemetriyasi, C2 kanali, aeroport sensorlari, havo harakati boshqaruvi tarmoqlari va anti-dron tizimlari raqamli muhitda ishlagani sababli autentifikatsiya, shifrlash, yaxlitlikni tekshirish, kirishni boshqarish va audit mexanizmlari talab qilinadi. Remote ID tizimlari bo'yicha ham autentifikatsiya va maxfiylik masalalari ilmiy tadqiqotlarda muhim muammo sifatida muhokama qilinmoqda.

Zamonaviy aeronavigatsiya tizimlarining rivojlanish yo'nalishlari quyidagilardan iborat: multi-GNSS qabul qiluvchilar, SBAS va GBAS imkoniyatlarini kengaytirish, PBN protseduralarini takomillashtirish, ADS-B va raqamli kuzatuvni rivojlantirish, CPDLC va datalink xizmatlarini kengaytirish,



dronlar uchun UTM arxitekturasini joriy etish, anti-dron sensorlarini integratsiya qilish va sun'iy intellekt yordamida xavf baholashni avtomatlashtirish.

**Xulosa.** Aeronavigatsiya va aloqa tizimlarida GPS/GNSS, dronlar va anti-dron tizimlari zamonaviy aviatsiya xavfsizligi va samaradorligini belgilovchi asosiy texnologik yo'nalishlarga aylandi. GPS/GNSS havo kemasining koordinatasi, tezligi va vaqt sinxronizatsiyasini yuqori aniqlikda ta'minlaydi, PBN konsepsiyasi esa navigatsion jarayonlarni global standartlar asosida uyg'unlashtirishga xizmat qiladi. Dronlar aviatsiya texnologiyalarini keng ommaga yaqinlashtirdi va turli sohalarda samaradorlikni oshirdi. Biroq ularning havo hududiga xavfsiz integratsiyasi Remote ID, UTM, geofencing, ishonchli C2 aloqa, navigatsion yaxlitlik va huquqiy nazoratni talab qiladi. Anti-dron tizimlari aeroportlar, muhim obyektlar va jamoat xavfsizligi uchun zarur texnologik yo'nalish bo'lib, radar, radiochastota monitoringi, optik-infraqizil sensorlar, akustik tizimlar va Remote ID ma'lumotlarini birlashtirishga asoslanadi. Ularning qo'llanishi qat'iy huquqiy tartib, aviatsiya xavfsizligi va mutaxassislar nazorati bilan amalga oshirilishi kerak. Kelajak aeronavigatsiyasi ko'p manbali navigatsiya, raqamli aloqa, sun'iy intellektga asoslangan kuzatuv, avtonom parvozlar, dron transporti va xavfsizlik tizimlarining integratsiyasi bilan bog'liq bo'ladi. Bu jarayonda texnologik taraqqiyot parvoz xavfsizligi, kiberxavfsizlik, huquqiy boshqaruv va inson omili bilan uyg'un rivojlanishi zarur.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. ICAO. Performance Based Navigation: PBN Overview. – Montréal: International Civil Aviation Organization, 2025.
2. ICAO. Unmanned Aviation and Advanced Air Mobility. – Montréal: International Civil Aviation Organization, 2025.
3. Federal Aviation Administration. Navigation Programs — Satellite Navigation. – Washington, DC: FAA, 2025.



4. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. GPS Modernization. – Washington, DC: GPS.gov, 2025.
5. Federal Aviation Administration. Remote Identification of Drones. – Washington, DC: FAA, 2025.
6. Federal Aviation Administration. UAS Detection, Mitigation, and Response on Airports. – Washington, DC: FAA, 2025.
7. Kaplan E.D., Hegarty C.J. Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications. – 3rd ed. – Boston: Artech House, 2017.
8. Parkinson B.W., Spilker J.J. Global Positioning System: Theory and Applications. Vol. I–II. – Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
9. Kayton M., Fried W.R. Avionics Navigation Systems. – 2nd ed. – New York: Wiley, 1997.
10. Moir I., Seabridge A., Jukes M. Civil Avionics Systems. – 2nd ed. – Chichester: Wiley, 2013.
11. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. – Chichester: Wiley, 2010.
12. Dalamagkidis K., Valavanis K.P., Piegl L.A. On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System. – Dordrecht: Springer, 2012.
13. Skolnik M.I. Introduction to Radar Systems. – 3rd ed. – New York: McGraw-Hill, 2001.
14. Shakhathreh H., Sawalmeh A.H., Al-Fuqaha A., Dou Z., Almaita E., Khalil I. et al. Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 48572–48634.
15. Guvenc I., Koohifar F., Singh S., Sichitiu M.L., Matolak D. Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones // IEEE Communications Magazine. – 2018. – Vol. 56, No. 4. – P. 75–81.