ZAMONAVIY UCHUVCHISIZ UCHISH APPARATLARI PARVOZLARI XAVFSIZLIGIGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR

Xakberdiyev Jasurbek Baxtiyarovich
O'zbekiston Respublikasi harbiy xavfsizlik va mudofaa Universiteti Harbiy aviatsiya Instituti

Annotatsiya. *Mazkur maqolada zamonaviy uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) parvozlari xavfsizligiga ta'sir etuvchi asosiy texnik, meteorologik, inson, tashkiliy, navigasion va kiberxavfsizlik omillari kompleks tahlil qilinadi. Uchuvchisiz aviatsiya tizimlarining qo'llanish ko'lami kengayib borayotgan sharoitda havo hududidan xavfsiz foydalanish, boshqaruv kanali ishonchliligi, navigatsiya ma'lumotlarining aniqligi, energiya manbalari holati va operatorning kasbiy tayyorgarligi muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotda xalqaro fuqaro aviatsiyasi tashkiloti (ICAO), Yevropa Ittifoqi aviatsiya xavfsizligi agentligi (EASA), Xalqaro standartlashtirish tashkiloti (ISO) va AQSh Federal aviatsiya ma'muriyati (FAA) hujjatlariga asoslangan xavflarni baholash yondashuvlari ko'rib chiqiladi. Natijalar UUA parvozlarini rejalashtirish, xavfsizlikni boshqarish tizimini takomillashtirish va ekspluatatsiya jarayonida qaror qabul qilishda qo'llanilishi mumkin.*

Kalit so'zlar: *uchuvchisiz uchish apparati, parvoz xavfsizligi, xavflarni baholash, navigatsiya, meteorologik omillar, inson omili, kiberxavfsizlik, ICAO, EASA, xavfsizlikni boshqarish tizimi.*

Аннотация. *В статье проводится комплексный анализ основных технических, метеорологических, человеческих, организационных, навигационных факторов и факторов кибербезопасности, влияющих на безопасность полётов современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В условиях расширения сфер применения беспилотной авиации особое значение приобретают безопасное использование воздушного пространства, надёжность канала управления, точность навигационных данных, состояние источников энергии и профессиональная подготовка операторов. Рассматриваются подходы к оценке рисков, основанные на документах Международной организации гражданской авиации (ICAO), Агентства авиационной безопасности Европейского союза (EASA), Международной организации по стандартизации (ISO) и Федерального управления гражданской авиации США (FAA). Результаты могут применяться при*

планировании полётов БПЛА, совершенствовании системы управления безопасностью и принятии эксплуатационных решений.

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, безопасность полётов, оценка рисков, навигация, метеорологические факторы, человеческий фактор, кибербезопасность, ICAO, EASA, система управления безопасностью.*

Abstract. *This article provides a comprehensive analysis of the technical, meteorological, human, organizational, navigation-related, and cybersecurity factors affecting the flight safety of modern unmanned aircraft systems (UAS). As the use of unmanned aviation expands, safe airspace integration, command-and-control link reliability, navigation accuracy, energy-system condition, and remote pilot competence become increasingly important. The study examines risk assessment approaches based on documents published by the International Civil Aviation Organization (ICAO), the European Union Aviation Safety Agency (EASA), the International Organization for Standardization (ISO), and the United States Federal Aviation Administration (FAA). The findings may support UAS flight planning, safety management system improvement, and operational decision-making.*

Keywords: *unmanned aircraft system, flight safety, risk assessment, navigation, meteorological factors, human factors, cybersecurity, ICAO, EASA, safety management system.*

KIRISH

Raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt, sensorlar, avtomatlashtirilgan boshqaruv algoritmlari va ma'lumot uzatish tizimlarining jadal rivojlanishi uchuvchisiz uchish apparatlarining aviasiya sohasidagi ahamiyatini oshirmoqda. Bugungi kunda UUAlar qishloq xo‘jaligi, geodeziya, kartografiya, sanoat ob'ektlarini nazorat qilish, qidiruv-qutqaruv ishlari, ekologik monitoring, logistika va favqulodda vaziyatlarni baholash kabi yo‘nalishlarda qo‘llanilmoqda.

Ushbu texnologiyalar inson mehnatini yengillashtirish, ma'lumotlarni tezkor yig‘ish va xavfli hududlarda ishlash imkoniyatini yaratsa-da, ulardan foydalanish yangi aviasiya xavflarini ham yuzaga keltiradi. Masalan, boshqaruv aloqasining uzilishi, navigasiya signallarining buzilishi, batareya quvvatining kutilmaganda kamayishi, kuchli shamol yoki boshqa havo kemalari bilan to‘qnashish ehtimoli parvoz xavfsizligiga bevosita ta'sir ko‘rsatadi.

ICAOning RPAS bo‘yicha hujjatlarida uchuvchisiz aviasiyani umumiy havo hududiga integrasiya qilishda havo kemasining texnik holati, parvoz operasiyalari,

aloqa, navigasiya, kuzatuv, ekipaj tayyorgarligi va xavfsizlik masalalariga kompleks yondashish zarurligi qayd etilgan.

Dolzarbligi. Zamonaviy uchuvchisiz uchish apparatlari parvozlari xavfsizligiga ta'sir etuvchi asosiy omillarni tizimli tahlil qilish, ularning nisbiy ustuvorligini baholash va xavflarni kamaytirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

UUA PARVOZLARI XAVFSIZLIGIGA TA'SIR ETUVCHI ASOSIY OMILLAR

Texnik omillar

Texnik omillar apparatning konstruksiyasi, dvigatellari, parraklari, boshqaruv kontrolleri, sensorlari, energiya ta'minoti va avtomatik himoya funksiyalari bilan bog‘liq.

Asosiy texnik xavflar quyidagilardan iborat:

elektrodvigatel yoki parraklarning ishdan chiqishi;

batareya sig‘imining pasayishi yoki kuchlanishning keskin tushishi;

inersial o‘lchash bloki, barometr yoki kompasning noto‘g‘ri ma'lumot berishi;

dasturiy ta'minotdagi xatolar va boshqaruv algoritmining kutilmagan ishlashi;

texnik xizmat ko‘rsatishdagi kamchiliklar;

ortiqcha yuklama va ruxsat etilgan ekspluatasiya chegaralarining buzilishi.

Texnik nosozliklar xavfini kamaytirish uchun parvoz oldidan diagnostika, batareya holatini tekshirish, parraklar va mahkamlagichlarni ko‘zdan kechirish, sensorlarni kalibrlash, dasturiy ta'minot versiyalarini nazorat qilish va texnik xizmat tarixini qayd etish talab etiladi.

Apparatda avtomatik qaytish (Return-to-Home), favqulodda qo‘nish

va aloqa uzilganda xavfsiz holatga o‘tish funksiyalari mavjud bo‘lishi muhim. Biroq ushbu funksiyalar ham xatosiz ishlaydi deb qabul qilinmasligi, balki real operasiya sharoitida tekshirilishi lozim.

Meteorologik omillar

Meteorologik sharoitlar uchuvchisiz apparatning barqarorligi, energiya sarfi, navigasiya aniqligi va belgilangan marshrutni bajarish qobiliyatiga ta'sir ko‘rsatadi.

Asosiy omillar:

shamol tezligi va yo‘nalishi;

turbulentlik va havo oqimlarining keskin o‘zgarishi;

yog‘ingarchilik, tuman va ko‘rish masofasining qisqarishi;

havo haroratining yuqori yoki past bo‘lishi;

namlik va kondensasiya;

quyosh nurlanishi va harorat ta'sirida batareya xususiyatlarining o‘zgarishi.

Shamolga qarshi harakatlanishda energiya sarfi ortishi va parvoz davomiyligi qisqarishi mumkin. Kuchli shamol, ayniqsa, yengil ko‘p rotorli apparatlarning

barqarorligiga ta’sir qiladi. Yog‘ingarchilik esa apparatning suvdan himoya darajasiga qarab elektronika, sensorlar

va energiya tizimi uchun xavf tug‘dirishi mumkin.

Shuning uchun ob-havo prognozini tekshirishning o‘zi yetarli emas: parvoz balandligidagi sharoit, shamolning ehtimoliy o‘zgarishi, havo harorati, apparat ishlab chiqaruvchisi belgilagan cheklovlar va qo‘nish uchun zaxira imkoniyatlari ham baholanishi lozim.

Inson omili

Inson omili parvoz xavfsizligining eng muhim tashkiliy va ekspluatasion tarkibiy qismlaridan biri hisoblanadi. Operatorning malakasi, diqqatni jamlash qobiliyati, charchoq darajasi, vaziyatni anglashi va favqulodda holatda qaror qabul qilishi xavfsizlikka bevosita ta'sir qiladi.

Asosiy xavflar:

yetarli tayyorgarlik va amaliy tajribaning yo‘qligi;

nazorat ro‘yxatlariga rioya qilmaslik;

uzoq vaqt davomida diqqatni saqlash natijasida charchoq;

bir vaqtning o‘zida bir nechta vazifani bajarish;

aloqa uzilishi yoki batareya ogohlantirishlarini noto‘g‘ri talqin qilish;

favqulodda holatlarda kechikkan yoki noto‘g‘ri qaror qabul qilish.

Ushbu omillarni kamaytirish uchun operatorlarni muntazam o‘qitish, standart operasion tartiblarni ishlab chiqish, mashg‘ulotlarda favqulodda ssenariylarni sinash va parvozdan keyingi tahlilni yo‘lga qo‘yish kerak.

Navigasiya va aloqa omillari

Zamonaviy UUAlar ko‘pincha sun’iy yo‘ldosh navigasiyasi, inersial sensorlar, radioaloqa va raqamli ma’lumot uzatish tizimlariga tayanadi. Bu tizimlarning ishonchliligi apparatning joylashuvi, harakat yo‘nalishi va operator buyruqlarini to‘g‘ri bajarishi uchun muhimdir;

Navigasiya va aloqa bilan bog‘liq asosiy xavflar;

GNSS signalining zaiflashishi yoki yo‘qolishi;

radioto‘lqinlarga xalaqit beruvchi manbalar;

boshqaruv kanali kechikishi yoki uzilishi;

telemetriya ma’lumotlarining noto‘g‘ri yoki kechikib kelishi;

kompasga elektromagnit ta'sir;

xarita ma’lumotlari yoki marshrut koordinatalaridagi xatolar.

Aloqa uzilganda apparatning qanday harakat qilishi oldindan belgilanishi zarur. Avtomatik qaytish rejimi har doim ham eng xavfsiz yechim bo‘lavermaydi: marshrutda to‘siqlar, taqiqlangan hudud yoki qo‘nish uchun yaroqsiz joylar bo‘lishi

mumkin. Shu sababli xavfsiz holatga o‘tish ssenariysi konkret parvoz sharoitiga moslashtirilishi kerak.

Kiberxavfsizlik omillari

UUAlarning raqamli boshqaruv tizimlari kiberxavflarga ham duch kelishi mumkin. Bunday xavflar boshqaruv kanalining himoyasizligi, ruxsatsiz kirish, dasturiy ta’minotning o‘zgartirilishi, ma’lumotlarning soxtalashtirilishi yoki navigasiya ma'lumotlariga tashqi ta’sir ko‘rsatish bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Kiberxavfsizlikni ta’minlash choralari:

boshqaruv va telemetriya kanallarini himoyalash;

qurilmalar va dasturiy ta'minotning haqiqiyligini tekshirish;

parollar va kirish huquqlarini boshqarish;

dasturiy ta'minotni nazorat qilinadigan tartibda yangilash;

hodisalar jurnalini saqlash va shubhali faollikni monitoring qilish;

aloqa yoki navigasiyaga ishonch yo‘qolganda qo‘llaniladigan zaxira tartiblarini ishlab chiqish.

Kiberxavfsizlikni faqat axborotni maxfiy saqlash bilan cheklash to‘g‘ri emas. Aviasiya nuqtai nazaridan ma’lumotning yaxlitligi, uning o‘z vaqtida yetkazilishi va boshqaruv funksiyalarining mavjudligi ham xavfsizlikning muhim qismlaridir.

Havo hududidan foydalanish va tashkiliy omillar

UUA parvozi boshqa havo kemalari, yer ustidagi aholi, binolar, elektr uzatish tarmoqlari va muhim infratuzilma ob'ektlariga xavf tug‘dirmasligi lozim.

Operasiya xavfiga quyidagilar ta'sir ko‘rsatadi:

parvozning aholi zich joylashgan hududda amalga oshirilishi.

aerodromlar yoki boshqa havo harakati intensiv bo‘lgan hududlarga yaqinlik.

marshrut va balandlikni noto‘g‘ri rejalashtirish.

parvozga ruxsat olish va havo hududidan foydalanish tartiblariga rioya qilmaslik.

operator, kuzatuvchi va boshqa masul shaxslar vazifalarining aniq belgilanmaganligi.

favqulodda qo‘nish maydonlarining oldindan belgilanmaganligi.

EASAning SORA yondashuvida yerdagi xavf aholi zichligi, apparat xususiyatlari va operasiya turi bilan, havodagi xavf esa boshqariladigan havo kemalari bilan uchrashish ehtimoli va qo‘llanilgan kamaytirish choralari bilan bog‘liq holda baholanadi.

O‘zbekistonda ham UUA ekspluatasiyasi milliy me’yoriy hujjatlar bilan tartibga solinadi. Shuning uchun xalqaro standartlarga tayanish milliy qonunchilik va amaldagi ruxsat berish talablariga rioya qilish o‘rnini bosmaydi.

Quyidagi jadvalda choralarning maqsadi va ularni tekshirish usullari keltirilgan.

Xavf manbai	Kamaytirish chorasi	Nazorat mezoni
Texnik nosozlik	Parvoz oldi diagnostikasi va rejali texnik xizmat	Tekshiruv natijalari va texnik jurnal
Aloqa uzilishi	Aloqa holatini monitoring qilish va zaxira ssenariysi	Nazoratli sinov natijalari
Navigatsiya xatosi	Sensorlarni tekshirish va alternativ navigatsiya holatini baholash	Joylashuv ma’lumotlari ishonchliligi
Noqulay ob-havo	Prognoz va real sharoitni baholash	Ishlab chiqaruvchi belgilagan cheklovlarga muvofiqlik
Operator xatosi	Tayyorgarlik, chek-list va favqulodda mashqlar	Bilim va amaliy ko‘nikma natijalari
Kiberxavf	Kirish huquqlarini cheklash va ma’lumotlarni himoyalash	Axborot xavfsizligi tekshiruvi
Havo hududi	Ruxsatlar, marshrut va havo harakatini muvofiqlashtirish	Parvoz hujjatlari va operatsiya oldi tekshiruvi

PARVOZ XAVFSIZLIGINI TA’MINLASHNING KOMPLEKS TIZIMI

Parvozdan oldingi nazorat

Parvozdan oldingi tekshiruv xavflarning bir qismini parvoz boshlanishidan avval aniqlash imkonini beradi. U apparatning texnik holati, operatorning tayyorgarligi, meteorologik sharoit, havo hududi cheklovlari, marshrut va favqulodda harakatlar rejasini qamrab olishi kerak.

Parvoz oldidan quyidagi savollarga javob olinishi lozim:

1. Apparat, parraklar, batareya va sensorlar ishga yaroqlimi?
2. Boshqaruv kanali va navigasiya tizimi kutilgan darajada ishlayaptimi?
3. Ob-havo apparatning ekspluatasiya cheklovlariga mosmi?
4. Marshrut va parvoz hududi tegishli talablarga muvofiqmi?
5. Qo‘nish uchun yetarli energiya zaxirasi va xavfsiz maydon mavjudmi?
6. Aloqa uzilishi yoki texnik nosozlikda qanday harakat qilinadi?
7. Operator favqulodda holatlarni boshqarishga tayyormi?
8. Ushbu savollardan birortasiga ishonchli javob bo‘lmasa, xavf qayta baholanishi va zarur hollarda parvoz kechiktirilishi kerak.

Parvoz vaqtida monitoring

Parvoz davomida telemetriya, batareya holati, navigasiya sifati, shamol ta’siri, marshrutdan og‘ish va havo hududidagi vaziyat nazorat qilinadi.

Monitoring tizimi quyidagi vazifalarni bajarishi mumkin:

muhim parametrlar belgilangan chegaradan chiqqanda ogohlantirish;

boshqaruv aloqasi holatini kuzatish;

batareyaning qoldiq quvvatini va energiya sarfini baholash;

rejalashtirilgan marshrutdan og‘ishni aniqlash;

operatorga xavfsiz qo‘nish yoki qaytish zarurati haqida ma’lumot berish.

Avtomatlashtirish xavfsizlikni oshirishi mumkin, ammo operator nazoratini va favqulodda qaror qabul qilish tartibini to‘liq almashtirmaydi. Avtomatik funksiyalar oldindan sinovdan o‘tkazilishi va ularning cheklovlari operatorga ma’lum bo‘lishi zarur.

Parvozdan keyingi tahlil

Parvozdan keyingi tahlil xavfsizlikni doimiy takomillashtirish uchun muhim. Unda telemetriya, batareya sarfi, marshrutdan og‘ishlar, ogohlantirishlar, texnik muammolar va operator qaydlari ko‘rib chiqiladi.

Tahlil natijasida:

takrorlanuvchi nosozliklar aniqlanadi;

chek-list va operasion tartiblar qayta ko‘rib chiqiladi;

operatorlar uchun qo‘shimcha tayyorgarlik ehtiyoji belgilanadi;

texnik xizmat rejasi takomillashtiriladi;

xavflarni baholash modeli yangi ma’lumotlar asosida yangilanadi.

ICAOning xavfsizlikni boshqarishga oid materiallari va FAAning xavflarni boshqarish siyosati xavfni aniqlash, tahlil qilish, kamaytirish va natijalarni hujjatlashtirishga tizimli yondashish muhimligini ko‘rsatadi.

Asosiy amaliy tavsiyalar:

1. Xavfni oldin olishga asoslangan parvoz rejalashtirishni joriy etish. Har bir operasiyaning maqsadi, marshruti, balandligi, muhiti va ehtimoliy oqibatlari oldindan baholanishi lozim.

2. Texnik xizmatni rejali tashkil qilish. Batareyalar, parraklar, dvigatellar, navigasiya sensorlari va boshqaruv tizimlarining holati hujjatlashtirilishi kerak.

3. Aloqa va navigasiyaning zaxira ssenariylarini sinash. Aloqa uzilishi, GNSS signali yo‘qolishi va batareya quvvati kamayishi holatlarida apparatning harakati oldindan belgilanishi va nazoratli sharoitda tekshirilishi zarur.

4. Operatorlarning kasbiy tayyorgarligini oshirish. Amaliy mashg‘ulotlarda favqulodda qo‘nish, marshrutdan og‘ish va avtomatik boshqaruv funksiyalarining ishlamasligi kabi ssenariylarga e'tibor berish kerak.

5. Meteorologik nazoratni kuchaytirish. Ob-havo ma’lumotlari parvozdan oldin tekshirilishi va parvoz davomida zarur hollarda qayta baholanishi lozim.

6. Kiberxavfsizlikni ekspluatasiya jarayoniga integrasiya qilish. Boshqaruv kanallari, dasturiy ta’minot va telemetriya ma’lumotlarining yaxlitligi nazorat qilinishi kerak.

7. Hodisalarni qayd etish va tahlil qilish tizimini yaratish. Nosozliklar va xavfli vaziyatlar to‘g‘risidagi ma'lumotlar jazolash vositasi sifatida emas, balki xavfsizlikni takomillashtirish manbai sifatida ham qo‘llanilishi lozim.

8. Milliy va xalqaro talablarni muvofiqlashtirish. Har bir operasiya uchun amaldagi milliy qonunchilik, havo hududidan foydalanish tartibi va tegishli xalqaro standartlar talablari tekshirilishi kerak.

XULOSA

Zamonaviy uchuvchisiz uchish apparatlari parvozlari xavfsizligi texnik ishonchlilik, meteorologik sharoit, inson omili, navigasiya va aloqa tizimlari, kiberxavfsizlik hamda havo hududidan foydalanishni tashkil etish kabi omillarning birgalikdagi ta’siri bilan belgilanadi.

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, faqat apparatning texnik holatini nazorat qilish xavfsizlikni to‘liq ta'minlash uchun yetarli emas. Parvozdan oldingi tekshiruv, operasiya davomida monitoring, favqulodda holatlarga tayyorgarlik va parvozdan keyingi tahlil yagona xavfsizlik tizimining o‘zaro bog‘langan qismlari sifatida qaralishi kerak.

ICAO, EASA, ISO va FAA hujjatlaridagi yondashuvlar UUA operasiyalarini xavfga asoslangan tarzda rejalashtirish, xavflarni baholash va ularni kamaytirish choralarini hujjatlashtirish uchun muhim metodik asos yaratadi. Shu bilan birga, har qanday xalqaro yondashuv muayyan operasiyaning xususiyatlari va milliy qonunchilik talablari bilan muvofiqlashtirilishi shart.

Umuman olganda, UUA parvozlari xavfsizligini oshirishning eng samarali yo‘li – texnik himoya vositalari, operator malakasi, xavflarni tizimli boshqarish, ishonchli ma’lumot almashinuvi va me’yoriy talablarga muvofiqlikni yagona tizimda birlashtirishdan iborat.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. International Civil Aviation Organization (ICAO). *Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), Doc 10019*. First Edition, 2015.

2. International Civil Aviation Organization (ICAO). *Annex 6 – Operation of Aircraft, Part IV: Remotely Piloted Aircraft Systems*. Second Edition, August 2026.

3. European Union Aviation Safety Agency (EASA). *Specific Operations Risk Assessment (SORA)*.

4. International Organization for Standardization (ISO). *ISO 21384-3:2023 – Unmanned Aircraft Systems, Part 3: Operational Procedures*.

5. Federal Aviation Administration (FAA). *Order 8040.6A: Unmanned Aircraft Systems (UAS) Safety Risk Management Policy*. 2023.

6. Federal Aviation Administration (FAA). *Safety Management System: Policy and Requirements*.

7. International Civil Aviation Organization (ICAO). *ICAO Council adopts new international aviation Standards and Recommended Practices for remotely piloted aircraft systems*. 5 April 2024.

8. European Union Aviation Safety Agency (EASA). *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems*.

9. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2016 йил 31 августдаги 287-сон қарори. *Ўзбекистон Республикаси фуқаро ва давлат авиациясида учувчисиз учиш аппаратларидан фойдаланиш тартиби тўғрисидаги низом*.

10. International Telecommunication Union (ITU-T). *Recommendation F.749.15: Requirements for Inspection and Examination Services Using Civilian Unmanned Aerial Vehicles*. March 2022.