

UO‘K 629.7.087.8

DOI 10.51955/2312-1327\_2026\_1\_43

## TOG‘LI HUDUDLARGA XOS BO‘LGAN MURAKKAB XALAQITLAR SHAROITIDA HAVODAGI HARAKATNI BOSHQARISH TIZIMLARIDA MA‘LUMOTLARNI QAYTA ISHLASH ANIQLIGINI OSHIRISH

*Ilxomjon Miralimovich Saydumarov,  
orcid.org/0000-0001-6120-1015,  
fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent  
Toshkent davlat transport universiteti,  
Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1  
Toshkent sh., 100167, O‘zbekiston  
saidilh@mail.ru*

*Ramzjon Bobqul o‘g‘li Jabborov,  
orcid.org/0009-0007-3748-9590,  
Toshkent davlat transport universiteti  
Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1  
Toshkent sh., 100167, O‘zbekiston  
ramzb@mail.ru*

*Mubinaxon Nazim qizi Madaminova,  
orcid.org/0009-0000-5435-9551,  
Toshkent davlat transport universiteti  
Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1  
Toshkent sh., 100167, O‘zbekiston  
mmadaminova540@gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu ishda murakkab relyefli hududlarda – tog‘li va tog‘oldi mintaqalarida tabiiy va texnogen omillar navigatsiya va aloqa uchun qo‘shimcha to‘siqlar yaratishliigi, bunday sharoitlarda havodagi harakatni boshqarish tizimlarida ma‘lumotlarni qayta ishlashning an‘anaviy usullari ko‘pincha yetarlicha aniqlikka ega bo‘lmasligi hamda bu esa havo transporti xavfsizligi va samaradorligi darajasining pasayishiga olib kelishi mumkinligi keltirilgan.

Ushbu ishda hududlarda radiolokatsiya muammolarini hal qilish muhandislik innovatsiyalari, algoritmik moslashuvchanlik va strategik rejalashtirishning kombinatsiyasini talab qilishligi ko‘rsatilgan. Xalqaro amaliyotdan olingan real misollar shuni tasdiqlaydiki, texnologiyalarni to‘g‘ri integratsiyalash orqali eng murakkab topografik sharoitlarda ham havo harakatining yuqori darajadagi xavfsizligi va ishonchliligini ta‘minlash mumkinmumkinligi keltirilgan.

Relyefning o‘ziga xos xususiyatlari va texnik cheklovlarni hisobga olgan holda, tog‘ va tog‘oldi hududlari sharoitida ishlaydigan ma‘lumotlarni qayta ishlashning mavjud usullarini tahlil qililib, tog‘ va tog‘oldi hududlarida uchish sharoitlarini radiolokatsion ta‘minot nuqtayi nazaridan tahlil qilish texnik modernizatsiya, meteorologik moslashuv va topografik modellashtirishni o‘z ichiga olgan kompleks yondashuv zarurligini ta‘kidlaydi. Bunday yondashuvsiz parvozning muhim uchastkalarida xavfsizlik darajasi sezilarli darajada pasayishi mumkin.

**Kalit so‘zlar:** tog‘li, texnogen, parvoz, radioto‘lqin, xalaqitlar, radiolokatsiya.

# ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНЫХ СИТУАЦИЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ

*Илхомжан Миралимович Сайдумаров,  
orcid.org/0000-0001-6120-1015,  
кандидат физико-математических наук, доцент  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
ул. Темирюлчилар, 1  
Ташкент, 100167, Узбекистан  
saidilh@mail.ru*

*Рамзжон Бобкул угли Жаббаров,  
orcid.org/0009-0007-3748-9590,  
Ташкентский государственный транспортный университет  
ул. Темирюлчилар, 1  
Ташкент, 100167, Узбекистан  
ramzb@mail.ru*

*Мубинахон Назим кизи Мадаминава,  
orcid.org/0009-0000-5435-9551,  
Ташкентский государственный транспортный университет  
ул. Темирюлчилар, 1  
Ташкент, 100167, Узбекистан  
mmadaminova540@gmail.com*

**Аннотация.** В данной работе отмечено, что в районах со сложным рельефом – горных и предгорных районах – природные и техногенные факторы создают дополнительные препятствия для навигации и связи. В таких условиях традиционные методы обработки данных в системах управления воздушным движением часто не обладают достаточной точностью, что может привести к снижению уровня безопасности и эффективности воздушного транспорта.

Данная работа показывает, что решение радиолокационных задач в регионах требует сочетания инженерных инноваций, алгоритмической гибкости и стратегического планирования. Реальные примеры из международной практики подтверждают, что за счет надлежащей интеграции технологий можно обеспечить высокий уровень безопасности и надежности воздушного движения даже в самых сложных топографических условиях.

Комплекс, включающий в себя техническую модернизацию, метеорологическую адаптацию и топографическое моделирование с учетом особенностей рельефа и технических ограничений, анализ существующих методов обработки данных, применяемых в условиях горных и предгорных районов, а также анализ условий полетов в горных и предгорных районах с точки зрения радиолокационного обеспечения, подчеркивает необходимость подхода, без которого уровень безопасности на важных участках полета может значительно снизиться.

**Ключевые слова:** горный, техногенный, полет, радиоволны, помехи, радиолокация.

# IMPROVING THE ACCURACY OF DATA PROCESSING IN AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS IN COMPLEX SITUATIONS TYPICAL FOR MOUNTAINOUS AREAS

*Ilkhomzhan M. Saidumarov*  
*orcid.org/0000-0001-6120-1015,*  
*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor*  
*Tashkent State Transport University*  
*st. Temirelchilar, 1*  
*Tashkent, 100167, Uzbekistan*  
*saidilh@mail.ru*

*Ramzjon Bobkul coal Zhabbarov*  
*orcid.org/0009-0007-3748-9590,*  
*Tashkent State Transport University*  
*st. Temirelchilar, 1*  
*Tashkent, 100167, Uzbekistan*  
*ramzb@mail.ru*

*Madaminova Mubinahon Nazim kizi*  
*orcid.org/0009-0000-5435-9551,*  
*Tashkent State Transport University*  
*st. Temirelchilar, 1*  
*Tashkent, 100167, Uzbekistan*  
*mmadaminova540@gmail.com*

**Abstract.** This paper states that in areas with difficult terrain – mountainous and foothill regions – natural and man-made factors create additional obstacles to navigation and communication. In such conditions, traditional data processing methods in air traffic control systems often lack sufficient accuracy, which can lead to a reduction in the safety and efficiency of air transport.

This paper demonstrates that solving regional radar challenges requires a combination of engineering innovation, algorithmic flexibility, and strategic planning. Real-world examples from international practice confirm that proper technology integration can ensure a high level of air traffic safety and reliability, even in the most challenging topographic conditions.

A complex including technical modernization, meteorological adaptation and topographic modeling taking into account the terrain features and technical limitations, an analysis of existing data processing methods applied in mountainous and foothill regions, as well as an analysis of flight conditions in mountainous and foothill regions from the point of view of radar support, emphasizes the need for an approach without which the level of safety in important flight segments can significantly decrease.

**Key words:** mountainous, man-made, flight, radio waves, interference, radar location.

## **Kirish**

Zamonaviy dunyoda aviatsiya global qatnovlar, iqtisodiy integratsiya va strategik xavfsizlikni ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. Ayniqsa, yo'lovchi va yuk tashish jadal o'sib borayotgan hozirgi sharoitda havo qatnovi har qanday davlat infratuzilmasining ajralmas qismiga aylandi. Shu munosabat bilan havodagi harakatni boshqarish bilan

bog‘liq masalalar alohida ahamiyat kasb etadi, chunki parvozlarning xavfsizligi, muntazamligi va barqarorligi ularning samaradorligiga bevosita bog‘liq.

O‘zbekiston Respublikasi havo hududida havo harakatiga xizmat ko‘rsatish xalqaro standartlarga va O‘zbekiston Respublikasi havo hududidan foydalanish to‘g‘risidagi nizomga muvofiq tashkil etiladi va xizmat ko‘rsatish amalga oshiriladigan havo hududining tasnifiga bog‘liq bo‘ladi [O‘zbekiston respublikasining havo kodeksi, 1993, b. 23].

Uzluksiz radiolokatsiya nazorati mavjud bo‘lmaganda va bortdagi navigatsiya asbob-uskunalari beqaror ishlayotganda quyi xavfsiz eshelondan pasayish taqiqlanadi. Bunday holda havo kema zaxira aerodromga borishi kerak [Havo harakati O‘zbekiston..., 2016, b. 74].

### **Materiallar va usullar**

Fazoni polarizatsion zondlash istiqbolli usul bo‘lib, nishon va xalaqitlarni polarizatsion xarakteristikalarini bo‘yicha farqlash imkonini beradi. Norvegiyada amalga oshirilgan PolarSAR loyihasi doirasida turli qutblanishdagi signallarni tarqatish va qabul qilish imkoniyatiga ega bo‘lgan radiolokatorlar ishlab chiqildi, bu esa murakkab tog‘ sharoitlarida obyektlarni aniqlash aniqligini sezilarli darajada oshirdi.

Radiolokatsion ma‘lumotlarni ADS-B va GNSS tizimlari bilan integratsiyalash radiolokatsion qoplamaning kamchiliklarini bartaraf etish imkonini beradi. Rossiyaning Gornyy Altaysk aeroportida yerdagi RLS va sun‘iy yo‘ldosh manbalaridan olingan ma‘lumotlarni birlashtiruvchi gibril tizimdan foydalaniladi, bu esa radar aloqasi vaqtincha yo‘qolganda ham uzluksiz kuzatuvni ta‘minlaydi.

Parvozlarni radiolokatsiya ta‘minoti havodagi harakatni boshqarish tizimining asosiy tarkibiy qismlaridan biri bo‘lib, parvozning barcha bosqichlarida havo kemalarini kuzatish va aniq yo‘naltirishni ta‘minlaydi. Radiolokatsiya tizimlarining ishlash samaradorligi qabul qilinayotgan va qayta ishlanayotgan radiosignallarning sifatiga bevosita bog‘liq bo‘lib, ular o‘z navbatida turli xil xalaqitlarga duchor bo‘ladi. Ularning tasnifi kelib chiqishi bo‘yicha tabiiy, texnogen va topografik guruhlariga bo‘linishi mumkin. Har bir guruh o‘ziga xos ta‘sir ko‘rsatish mexanizmlariga ega bo‘lib, ularni bartaraf etish yoki o‘rnini to‘ldirish uchun o‘ziga xos yondashuvlarni talab qiladi.

Tabiiy xalaqitlar tabiiy hodisalar, jumladan, atmosfera yog‘inlari (yomg‘ir, qor, do‘l), suv bug‘lari, chaqmoq, quyosh chaqnashlari va kosmik nurlanishlar ta‘sirida yuzaga keladi. Bu omillar radioto‘lqinlarga atmosferada yutilish, tarqalish va refraksiyaning o‘zgarishi hisobiga ta‘sir ko‘rsatadi. Matematik jihatdan yomg‘ir tufayli signal quvvatining yo‘qolish darajasi quyidagi tenglama orqali ifodalanishi mumkin:

$$L_{\text{yomg'ir}} = k \cdot R^{\alpha} \cdot d \quad (1)$$

bu yerda  $L_{\text{yomg'ir}}$  – quvvat yo‘qotilishi (dB),  $k$  va  $\alpha$  – radiosignal chastotasiga bog‘liq bo‘lgan empirik koeffitsiyentlar,  $R$  – yog‘ingarchilik intensivligi (mm/soat),  $d$  –

signalning tarqalish yo‘li uzunligi (km). Yo‘qotishlarning ko‘payishi, ayniqsa millimetrli radiolokatsion komplekslar kabi yuqori chastotali tizimlarda koordinatalarni aniqlash aniqligining pasayishiga olib keladi.

Texnogen xalaqitlar inson faoliyati natijasida hosil bo‘ladi va ularga sanoat qurilmalari, elektr uzatish liniyalari, radio va teleuzatkichlarning elektromagnit nurlanishlari, boshqa radiolokatsion tizimlarning xalaqitlari kiradi. Aeroportlar yaqinida yuzaga keladigan keng polosali shovqinlar aks etgan signallarni aniq qayta ishlash uchun muhim bo‘lgan signal/shovqin nisbatini (SNR) pasaytirishi mumkin:

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{shovqin}}} \quad (2)$$

bu yerda  $P_{\text{signal}}$  – foydali signal quvvati,  $P_{\text{shovqin}}$  – shovqin quvvati.

$\text{SNR} < 1$  bo‘lganda, radar ekranlarida soxta belgilarning paydo bo‘lish ehtimoli ortadi, bu esa dispetcherlik ma’lumotlarida xatolarga va havo kemalarini noto‘g‘ri kuzatib borishga olib keladi.

Topografik xalaqitlar joy relyefining xususiyatlari bilan bog‘liq: tog‘lar, tepaliklar, binolar va sun‘iy inshootlar radioto‘lqinlarni ekranlashi yoki aks ettirishi mumkin, bu esa ko‘p nurli tarqalish va signalning buzilishiga olib keladi. “Soya hududi” hodisasi ma’lum bir hududda radiolokatsiya qamrovining yo‘qligi yoki sifatsiz ekanligini anglatadi:

$$\theta_{\text{soya}} = \arctan\left(\frac{h}{d}\right) \quad (3)$$

bu yerda  $\theta_{\text{soya}}$  – soyaning burchak o‘lchami,  $h$  – to‘siq balandligi,  $d$  – radardan to‘siqqacha bo‘lgan masofa.

Bunday buzilishlar havo kemasining aniq joylashuvini topishni qiyinlashtiradi, ayniqsa qo‘nish yoki uchish paytida past eshelonlarda.

Ko‘rsatilgan xalaqitlarning parvozlar xavfsizligiga ta’siri ko‘p jihatli. Tabiiy va texnogen xalaqitlar, ayniqsa, yuqori harakat zichligi sharoitida havo kemalarini aniq identifikatsiya qilishni qiyinlashtiradi. Topografik omillar radiolokatsion qamrov zonalarini cheklaydi, aerodromlar yaqinida manevr qilishda, ayniqsa ko‘rinish cheklangan qo‘nishda xavf tug‘diradi. Bunday xalaqitlarni yetarlicha qoplamaslik yoki bashorat qilmaslik trayektoriyalar to‘qnashuvining o‘z vaqtida aniqlanmasligiga, eshelonlar yoki kirish yo‘nalishlarini belgilashda xatoga yo‘l qo‘yilishiga olib kelishi mumkin, bu esa aviatsiya insidenti ehtimolini oshiradi.

Xalaqitlar ta’sirini minimallashtirishning zamonaviy yondashuvlari antennalarni fazoviy diversifikatsiyalash, signallarni raqamli filtrlash, soxta nishonlarni aniqlash uchun mashinali o‘rganish algoritmlaridan foydalanish, shuningdek, radar ma’lumotlarini ADS-B va sun‘iy yo‘ldosh kuzatuvlari bilan integratsiyalashni o‘z ichiga oladi. Shunga qaramay, har bir xalaqit manbasining tabiatini fundamental tushunish aviatsiyada

ishonchli radar tizimlarini loyihalash va ishlatish uchun muhim bo‘lib qolmoqda.

Tog‘ va tog‘oldi hududlarida parvoz sharoitlarini tahlil qilish havo harakati xavfsizligini ta‘minlashda, ayniqsa qo‘nish va uchish bosqichida muhim vazifa hisoblanadi. Joyning geomorfologik xususiyatlari, meteorologik hodisalar va radiolokatsion kuzatuvning cheklovlari navigatsiyaning ishonchliligi va havo kemalarini boshqarish sifatiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Tog‘li va tog‘oldi hududlar sharoitida radiolokatsion ta‘minotning standart tamoyillari signallarni ekranlash, ko‘p nurli aks ettirish va beqaror atmosfera xususiyatlari bilan bog‘liq bir qator muammolarga duch keladi.

Asosiy cheklovlardan biri topografik ekranlashdir. Balandliklar, qoyalar va tizmalar to‘g‘ridan-to‘g‘ri radar qoplamasi bo‘lmagan soya zonalarini yaratishi mumkin. Geometrik jihatdan soya zonasining diapazonini avvalroq tilga olingan (3) tenglama yordamida burchak xarakteristikasi orqali baholash mumkin:

$$\theta_{\text{soya}} = \arctan\left(\frac{h}{d}\right) \quad (4)$$

Ekranlash burchaklari katta bo‘lganda, ayniqsa murakkab trayektoriya bo‘yicha qo‘nishga kirishda havo kemasini o‘z vaqtida aniqlash ehtimoli kamayadi.

### **Muhokama**

Oxirgi yillarda, O‘zbekiston fuqarolik aviatsiya sohasida keskin yuksalishga erishildi, jumladan havo kemalari parkini yangi samolyotlar hisobiga boyitilishi, aeroport tizimlarini yangi texnologiyalarini kiritish bilan birgalikda ilmiy tadqiqot ishlari ham ortdi [Saydumarov et al., 2023a, p. 040088-4; Saydumarov et al., 2023a, p.040088-3; Shamsiev, 2021, p. 8-12; Shamsiev, 2022, p. e11801; Maturazov et al., 2022, p. 030044-3].

Havo harakatini boshqarishning nazariy va amaliy jihatlarini rivojlantirishga salmoqli hissa qo‘shgan horijiy ilmiy izlanishlar orasida [Adaptive Kalman Filters..., 2025, p. 7221-7225] da taklif etilgan aralash bo‘lmagan holatlar o‘rtasidagi o‘tish modeliga asoslanib, qisman navigatsiya holatlarini baholashning cheklangan aniqligi muammosini hal qilish uchun tanlov asosida Kalman moslashuvchan filtrlarini ham taklif qilingan. Inersial ma‘lumotlar asosida integratsiyalashgan navigatsiyada texnologik shovqin kovariatsiya matritsasini baholash geterogen Gauss tanlanmalariga asoslangan dispersiyaning maksimal ishonchliligini baholash sifatida umumlashtiriladi. So‘ngra har xil tanlanmalarning noaniq qismlarining baholanayotgan dispersiyaga ta‘sirini oldini olish imkonini beradigan namunalar olish usuli taklif etiladi, bu esa inersial ma‘lumotlar asosida integratsiyalashgan navigatsiyada texnologik shovqin kovariatsiya matritsasini baholash aniqligini oshiradi.

[Impacts of Global Navigation..., 2024] maqolada birinchi marta 2022 yilning fevralidan dekabrigha qadar Boltiqbo‘yi davlatlari, Qora dengiz bilan chegaradosh Sharqiy Yevropa va Sharqiy O‘rta er dengizi mintaqalarida to‘plangan ommaviy kuzatuv ma‘lumotlaridan foydalanib, ushbu hodisalarning ko‘lami va davomiyligini ularning

fuqaro aviatsiyasiga ta'sirini aniqlash uchun baholangan. Tahlillar yakka tartibdagi hodisalardan boshlab muntazam ravishda keng ko'lamli va takrorlanuvchi uzilishlargacha bo'lgan turli xususiyatlarni ko'rsatadi. Keyin tegishli reyslar uchun havo kemalarining turlarini aniqlangan va faqat sun'iy yo'ldosh navigatsiyasiga tayanadigan va yo'ldosh navigatsiyasini yo'qotgan taqdirda yordamni talab qiladigan reyslarni aniqlash uchun navigatsiya uskunalari nisbatan parvoz rejasi to'g'risidagi ma'lumotlarni baholangan. Nihoyat, ishda sun'iy yo'ldosh navigatsiyasining parvozlarning xavfsizligiga ta'sirini ko'rsatilgan.

Zamonaviy sun'iy yo'ldosh navigatsiya tizimlari ikki chastotada ishlash uchun tobora ko'proq imkoniyatlar yaratadi, bu esa navigatsiya aniqligini oshirish va qoldiq xatolarni kamaytirish imkonini beradi. Yaqinda aviatsiya hamjamiyati GNSS uskunalari uchun yangi standartlashtirilgan minimal foydalanish xususiyatlarini ishlab chiqishga kirishdi, shunda kelajakda ikki chastotali ko'p zvenoli tizimlardan (DFMC) foydalanish mumkin. Bunday sharoitda foydalanuvchi GNSS antenasi tomonidan kiritilayotgan qoldiq xatolar yanada dolzarb bo'lib, antennalarning texnik tavsiflarida ham, havo kemalarining ko'p nurli ishlashi uchun modellarda ham lozim darajada aniqlash va cheklashni talab qiladi. [The Role of Antennas..., 2022] ishda ushbu muammo o'rganilib, L1/E1 va L5/E5a chastota diapazonlari uchun hamda ularning ionosfera nurlanishsiz kombinatsiyasi uchun havoda ko'p nurli radio signalni tarqatishning yangi modellarini ishlab chiqishga qaratilgan ishlar natijalari ko'rsatib o'tildi.

Eksperimental uskunar tarkibiga GPS va Galileo asosiy tashuvchi chastotalar atrofida radiochastota spektrining chuqur dastlabki korrelyatsion tahlilini o'tkazish imkonini beruvchi yuqori aniqlikdagi radiochastotalarni qayd etish moslamasi [Impact of GNSS-Band..., 2022] da kiritilgan. Natijalar shuni tasdiqlaydiki, ishda kuzatilayotgan uzilishlar, ehtimol, sun'iy radio to'siqlar tufayli yuzaga kelgan. Ular, shuningdek, GNSS aralashuvi sharoitida tijorat avionikasining xatti-harakatlarini joyida o'rganish imkonini beradi.

Millimetrlil to'lqinlardagi aloqa tizimlari (mmWave) keng spektrdan foydalanishi va shuning uchun ma'lumotlarni uzatishning yuqori tezligini ta'minlashi mumkin, masalan, sekundiga bir necha gigabit. Ushbu tizimlarda aloqa liniyalari orasidagi maqbul masofalarni ta'minlash uchun yo'naltirilgan antennalardan foydalaniladi. Demak, yo'naltirilgan qabul qiluvchi antennalar to'g'ri «ridan-to'g'ri» ko'rinish zonasida (NLOS) bo'lmagan zonalarda qabul qilinadigan eng kuchli signalni ushlab turish uchun azimut bo'ylab aylanadi. Ushbu [Afroze et al., 2024, p. 6078-6080] maqolada o'lchovlar natijalarini 90 GHz diapazonida uchta turli stsenariy uchun taqdim etilgan: xonada, ochiq havoda va g'ayrioddiy sharoitlarda: aeroportga texnik xizmat ko'rsatish angarida.

Bu masalalar, ayniqsa, murakkab relyefli hududlarda – tog'li va tog'oldi mintaqalarida juda dolzarb hisoblanadi. Bu joylarda tabiiy va texnogen omillar navigatsiya va aloqa uchun qo'shimcha to'siqlar yaratadi. Bunday sharoitlarda havodagi harakatni boshqarish tizimlarida ma'lumotlarni qayta ishlashning an'anaviy usullari

ko‘pincha yetarlicha aniqlikka ega bo‘lmaydi. Bu esa havo transporti xavfsizligi va samaradorligi darajasining pasayishiga olib kelishi mumkin.

Tog‘ va tog‘oldi hududlarida parvozlarni radiolokatsion ta‘minlash muammolarini hal qilish muhandislik, algoritmik va tashkiliy chora-tadbirlarni birlashtirgan holda kompleks yondashuvni talab qiladi. Asosiy muammolar - signallarni ekranlash, ko‘p nurli aks ettirish, beqaror refraksiya va cheklangan qamrov zonasi - zamonaviy texnologiyalar va moslashuvchan strategiyalar yordamida bartaraf etilmoqda.

Signal maydonini tahlil qilish orqali navigatsiya shovqinlarini aniqlash va rad etish usuli [Затучный, 2018, с. 24] ishlarida keltirilgan. Ushbu usul va fazali antenna panjaralari o‘rtasidagi farq keltirilgan bo‘lib, bu yerda shovqin signalini yo‘q qilish protsedurasi asosiy antenna signalidan periferik deb belgilangan antenna signallarining tortilgan yig‘indisini olib tashlash orqali nurlanish naqshida ba‘zi bir nosozliklarni yaratishga asoslangan. Shu bilan birgalikda to‘siq shovqinini yo‘q qilish bo‘yicha o‘tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan.

Ushbu [Song et al., 2023; Riedel et al., 2020] larda aeroportda yer usti kuchaytirish tizimidan, inersial navigatsiya tizimidan va parvoz masofasiga nisbatan foydalanish imkoniyati ko‘rib chiqiladi, aerodrom yordamchi vositalari vizual va asboblar yordamida qo‘nish, [Degradation of Photometric..., 2024, p. 4-6] da yoritish tizimi fotometrik tavsiflari, [Fan et al., 2022, p. 638] da taklif etilayotgan usulni tasvirlash va tekshirish uchun shartli keng fyuzelyajli tijorat samolyotlari uchun mavzuli tadqiqotlar, [Christauskas, 2008, p. 30] da Vilnyus, Riga, Tallin va Krakov aeroportlarida o‘n yillik davr mobaynida yo‘lovchi tashish dinamikasi tahlili natijalari, [The Impact of Taxiway..., 2023, p. 4] da taklif etilgan yondashuv aeroport operatorlariga aeroportning yuklanishini prognozlashda va kutilmagan holatlarda o‘tkazish qobiliyatini oshirishning eng yaxshi strategiyasini tanlashda yordam berishi mumkinligi keltirilgan.

## **Natijalar**

Mamlakatimizning Termiz, Samarqand va Namangan aeroportlari yaqinidagi radiolokatsiya qoplamaning soya zonasining geometrik diapazonini baholaymiz.

Termiz aeroportiga eng yaqin tog‘ – Hisor tizmasi, Hazrat Sulton cho‘qqisi (4643 m) hisoblanadi.

Aeroportdan tog‘gacha bo‘lgan masofa 40 km.

$$\theta_{\text{Termiz}} = \arctan\left(\frac{4643}{40000}\right) \approx \arctan(0.116) \approx 6.6^\circ$$

Samarqand aeroportiga eng yaqin baland nuqta – Og‘aliq massividagi Kemqo‘ton tog‘i (2178 m). Mazkur tog‘ aeroportdan 15 km masofada.

Demak,

$$\theta_{\text{Samarqand}} = \arctan\left(\frac{2178}{15000}\right) \approx \arctan(0.1452) \approx 8.3^\circ$$

Vodiyning Namangan xalqaro aeroportiga eng yaqin tog‘ Chotqol tizmasi, xususan, uning Katta Chimyon cho‘qqisi (3309 m) hisoblanadi. Bu cho‘qqi 35 km masofada joylashgan.

$$\theta_{\text{Namangan}} = \arctan\left(\frac{3309}{35000}\right) \approx \arctan(0.0945) \approx 5.4^\circ$$

Yuqoridagi natijalarni asosida soya zonasining eng katta diapazoni Samarqand atrofida kuzatilishiga ( $\approx 8.3^\circ$ ) guvoh bo‘lamiz, bu Og‘alik tog‘ massivining yaqin joylashuvi bilan bog‘liq. Bu shuni anglatadiki, ushbu yo‘nalishda, ayniqsa, janubi-g‘arbdan qo‘nishga kirishda radiolokatsiya qamrovining cheklanishiga sabab bo‘lishi mumkin. Termiz va Namanganda esa soya zonasi kichikroq, ammo baribir radiolokatsiya ta‘minotni loyihalashda va qo‘nishga kirish trayektoriyalarini tanlashda hisobga olishni talab qiladi.

Keyingi muhim muammo radiosignalning relyef sirtidan va havo kemalarining o‘zidan qaytishida, ayniqsa nurning qiyalik burchagi kichik bo‘lganda yuzaga keladigan ko‘p nurli qaytishlar hisoblanadi. Bu qaytishlar qabul qilinayotgan signalning fazaviy va amplitudaviy buzilishlarini keltirib chiqaradi. Qaytish mavjud bo‘lganda qabul qilingan signalning samarali quvvati  $P_r$  quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \cdot F_{\text{akslanirish}} \quad (5)$$

bu yerda  $P_t$  – uzatkich quvvati,  $G_t$  va  $G_r$  – mos ravishda uzatuvchi va qabul qiluvchi antenaning kuchaytirish koeffitsiyentlari,  $\lambda$  – to‘lqin uzunligi,  $\sigma$  – nishonning samarali aks etish maydoni,  $R$  – nishongacha bo‘lgan masofa,  $F_{\text{akslanirish}}$  – tog‘ yuzalaridan qaytish natijasida signalning kuchayish/susayish koeffitsiyenti.

Yer va tog‘ yonbag‘irlaridan akslanish mavjud bo‘lganda,  $\sigma$  qiymati nochiziqli o‘zgaradi, bu esa ma‘lumotlarni aniq talqin qilishni qiyinlashtiradi.

1-jadvaldagi ma‘lumotlardan foydalanib, mamlakatning tog‘li hududlari uchun qabul qilingan signalning samarali quvvatini hisoblash mumkin.

1-jadval – Namangan, Samarqand va Termiz aeroportlari uchun ayrim ma‘lumotlar

Aeroport	Eng baland nuqta			Radiolokatsiya tizimlari (RLT)	Chastota, GHz	Akslanish koeffitsiyenti
	Nomi	Balandligi, m	Uzoqligi, km			
Namangan	Chotqol	3309	~35	Navigatsiya/kuzatuv RLT	~9,4 (X diapazon)	1,5 (kuchli)

Samarqand	Kemqo‘ton	2178	~15	Ko‘pchastotali RLT	~5,6 (C diapazon)	1,2 (o‘rtacha)
Termiz	Hazrat Sulton	4643	~40	Meteo/navigatsiya RLT	~2,7 (S diapazon)	0,8 (kuchsiz)

-jadvaldagi ma’lumotlarni (5) tenglamaga qo‘yib, Namangan, Samarqand va Termiz aeroportlari uchun qabul qilinadigan shartli signalning samarali quvvatini hisoblaymiz:

Samarqand uchun

$P_t = 1000 \text{ W}$ ,  $G_t = G_r = 30 \text{ dB} \rightarrow G = 10^{30/10} = 1000$ ,  $\lambda = c/f = (3 \cdot 10^8)/5,6 \cdot 10^9 \approx 0,0536 \text{ m}$ ,  $\sigma = 1 \text{ m}^2$  (shartli),  $R = 15 \text{ 000 m}$ ,  $F_{\text{akslantirish}} = 1.2$ .

$$P_r = \frac{1000 \cdot 1000 \cdot 1000 \cdot (0.0536)^2 \cdot 1}{(4\pi)^3 \cdot (15000)^4} \cdot 1.2 \approx 4.36 \cdot 10^{-11} \text{ Vt}$$

Yuqoridagi hisoblashni Termiz va Namangan aeroportlari uchun ham takrorlaymiz. Natijada, quyidagicha xulosaga kelamiz:

Namangan uchun  $P_r \approx 6.8 \cdot 10^{-11} \text{ Vt}$  (kuchli), ya’ni eng yuqori samaradorlik;

Samarqand uchun  $P_r \approx 4.4 \cdot 10^{-11} \text{ Vt}$  (o‘rtacha), ya’ni optimal kuchaytirish;

Termiz uchun  $P_r \approx 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ Vt}$  (kuchsiz), ya’ni masofa uzoqligi sababli signal kuchsizlangan.

Tog‘li hududlarning iqlim va meteorologik sharoitlari radiolokatsion ta’minotni yanada murakkablashtiradi. Tog‘li hududlarda ko‘pincha atmosfera bosimi, harorati va namligining keskin o‘zgarishi kuzatiladi, bu esa atmosferaning refraksiya xususiyatlariga ta’sir qiladi. Anomal refraksiya radiolokatsiya nurining egilishini keltirib chiqarib, radarning ta’sir zonasini o‘zgartirishi mumkin. Refraksiya indeksi  $n$  quyidagicha ifodalanadi:

$$n = 1 + \frac{77.6 \cdot P}{T}$$

bu yerda  $P$  – atmosfera bosimi (gPa),  $T$  – harorat (K).

Ushbu parametrlarning sezilarli darajada o‘zgarishi pozitsiyalash aniqligining pasayishiga va nishonni aniqlashda mumkin bo‘lgan nosozliklarga olib keladi.

Parvozlarning xavfsizligi nuqtayi nazaridan, sanab o‘tilgan barcha omillar bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Topografik ekranlash, ayniqsa bulut yoki tuman tufayli vizual cheklovlar sharoitida, havo kemasini erta aniqlashga to‘sqinlik qiladi. Ko‘p nurli akslanishlar, ayniqsa avtomatik tizimlardan foydalanilganda, soxta maqsadlarning paydo bo‘lishiga yoki kuzatuvdagi xatolarga olib kelishi mumkin. Anomal refraksiya ko‘rsatilayotgan koordinatalarning siljishiga olib kelishi mumkin, bu esa dispetcherlik va bort ishining

sinxronligini buzadi.

Uchish-qo‘nish bosqichlarida xavf bir necha barobar ortadi. Qiyin radiolokatsion kuzatuv fazoviy holatni yetarlicha nazorat qilmaslikka olib kelishi mumkin, ayniqsa ko‘rinish cheklangan sharoitlarda qo‘nishga kirishda. Qaytgan signallar intensivligining o‘zgarishi ILS va MLS kabi aniq kirish tizimlarining ishlashini murakkablashtiradi. Shuningdek, parvoz paytida, tezda balandlikka ko‘tarilish va to‘g‘ridan-to‘g‘ri radiolokatsion qamrov zonasidan chiqish holatida, kontakti vaqtincha yo‘qotish ehtimoli ortadi, bu esa favqulodda vaziyatda juda muhim.

### **Xulosa**

Tog‘ va tog‘oldi hududlarida uchish sharoitlarini radiolokatsion ta‘minot nuqtayi nazaridan tahlil qilish texnik modernizatsiya, meteorologik moslashuv va topografik modellashtirishni o‘z ichiga olgan kompleks yondashuv zarurligini ta‘kidlaydi. Bunday yondashuvsiz parvozning muhim uchastkalarida xavfsizlik darajasi sezilarli darajada pasayishi mumkin.

Tog‘li hududlarda radiolokatsiya muammolarini hal qilish muhandislik innovatsiyalari, algoritmik moslashuvchanlik va strategik rejalashtirishning kombinatsiyasini talab qiladi. Xalqaro amaliyotdan olingan real misollar shuni tasdiqlaydiki, texnologiyalarni to‘g‘ri integratsiyalash orqali eng murakkab topografik sharoitlarda ham havo harakatining yuqori darajadagi xavfsizligi va ishonchliligini ta‘minlash mumkin.

### **Bibliografik ro‘yxat**

- Zatuchnyy D. A.* Методы противодействия несанкционированным радиотехническим атакам на навигационные системы воздушного судна гражданской авиации // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1(21). С. 21-27. DOI 10.21685/2307-4205-2018-1-3. EDN YUCLZB.
- Adaptive Kalman Filters With Small-Magnitude and Inaccurate Process Noise Covariance Matrix Part II: Application to Inertial-Based Integrated Navigation / Zh. Fengchi, Zh. Siqing, L. Xiaofeng, H. Yulong, Zh. Yonggang // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2025. Vol. 61, № 3. Pp. 7205-7235. DOI 10.1109/TAES.2025.3535481.
- Afroze Z. LOS-to-NLOS Channel Transition Measurements, Analysis and Characterization for the 90 GHz Band / Z. Afroze, D. W. Matolak // in IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2024. Vol. 73, № 5. Pp. 6073-6082. DOI 10.1109/TVT.2023.3347074.
- Christauskas J.* Dynamics of passenger traffic flow at Vilnius, Riga, Tallinn and Krakow airports / J. Christauskas, J. Stanaitis // Aviation. 2008. № 12(1). Pp. 28-32. DOI 10.3846/1648-7788.2008.12.28-32.
- Degradation of Photometric Characteristics of Phosphor Layers in LED Based Airfield Lights / R. Bloudicek, S. Perina, S. Rydlo, P. Makula // 2024 AIAA DATC/IEEE 43rd Digital Avionics Systems Conference (DASC). San Diego, CA, USA, 2024. pp. 1-7. DOI 10.1109/DASC62030.2024.10748720.
- Fan Zh.* A Holistic Method Determining Takeoff Field Length Requirement for Commercial Aircraft / Zh. Fan, X. Yu // International Journal of Aeronautical and Space Sciences. 2022. Vol. 23, № 3. P. 636-645. DOI 10.1007/s42405-022-00476-1. EDN IBBIHV.
- Havo harakati O‘zbekiston Respublikasida tashkil etish bo‘yicha qo‘llanmalar. 2016. 157 p.

Impact of GNSS-Band Radio Interference on Operational Avionics / O. Osechas, F. Fohlmeister, T. Dautermann, M. Felux // NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation. 2022. № 69(2). DOI 10.33012/navi.516.

Impacts of Global Navigation Satellite System Jamming on Aviation / M. Felux, P. Fol, B. Figuet, M. Waltert, X. Olive // NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation. 2024. № 71(3). DOI 10.33012/navi.657.

Maturazov I. S. Improvement of Radio Electronic Equipment Diagnostic System / I. S. Maturazov, A. Abdukayumov // AIP Conference Proceedings. 2022. № 2432. Pp. 030044. DOI 10.1063/5.0090223.

O'zbekiston respublikasining havo kodeksi. 1993. 46 p.

Riedel T. Reducing speed commands in interval management with speed planning / T. Riedel, M. Takahashi, E. Itoh // The Aeronautical Journal. 2020. № 124(1272). Pp. 1-27. DOI 10.1017/aer.2019.124.

Saydumarov I. Increasing the efficiency of aviation operation of the aerodrome / I. Saydumarov, I. Boymanov, S. Shukurova // AIP Conference Proceedings. 2023. № 2789(1). Pp. 040088. DOI <https://doi.org/10.1063/5.0145527>.

Shamsiev Z. Z. Digitalization of Educational and Methodological Support for the Training of Aviation Dispatchers // International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace. 2021. Vol. 8, № 3. DOI 10.58940/2374-6793.1609. EDN BPQLNE.

Shamsiev Z. Z. Organizational factors affecting the effectiveness of the educational process of training air traffic controllers // Heliyon. 2022. Vol. 8, № 11. P. e11801. DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e11801. EDN LSFBRB.

Song J. Feasibility Study of GBAS/INS and RRAIM for Airport Surface Movement Under Low-Visibility Conditions / J. Song, C. Milner, H. No // NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation. 2024. № 71(4). DOI 10.33012/navi.673.

The Impact of Taxiway System Development Stages on Runway Capacity and Delay under Demand Volatility / K. Dönmez, E. Aydoğan, C. Çetek, E. E. Maraş // Aerospace. 2023. Vol. 10, № 1. P. 6. DOI 10.3390/aerospace10010006. EDN LJBBFK.

The Role of Antennas on GNSS Pseudorange and Multipath Errors and Their Impact on DFMC Multipath Models for Avionics / S. Caizzone, M. S. Circiu, W. Elmarissi [et al.] // Navigation, Journal of the Institute of Navigation. 2022. Vol. 69, № 3. P. navi.532. DOI 10.33012/navi.532. EDN KLWRIT.

## References

Afroze Z., Matolak D. W. (2024). LOS-to-NLOS Channel Transition Measurements, Analysis and Characterization for the 90 GHz Band. *in IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 73(5): 6073-6082. DOI 10.1109/TVT.2023.3347074.

Bloudicek R., Perina S., Rydlo S., Makula P. (2024). Degradation of Photometric Characteristics of Phosphor Layers in LED Based Airfield Lights. *2024 AIAA DATC/IEEE 43rd Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. 1-7. DOI 10.1109/DASC62030.2024.10748720.

Caizzone S., Circiu M. S., Elmarissi W. [et al.]. (2022). The Role of Antennas on GNSS Pseudorange and Multipath Errors and Their Impact on DFMC Multipath Models for Avionics. *Navigation, Journal of the Institute of Navigation*. 69(3). navi.532. DOI 10.33012/navi.532.

Christauskas J., Stanaitis J. (2008). Dynamics of passenger traffic flow at Vilnius, Riga, Tallinn and Krakow airports. *Aviation*. 12(1): 28-32. DOI 10.3846/1648-7788.2008.12.28-32.

Dönmez K., Aydoğan E., Çetek C., Maraş E. E. (2023). The Impact of Taxiway System Development Stages on Runway Capacity and Delay under Demand Volatility. *Aerospace*. 10(1): 6. DOI 10.3390/aerospace10010006.

- Fan Zh., Yu X. (2022). A Holistic Method Determining Takeoff Field Length Requirement for Commercial Aircraft. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*. 23(3): 636-645. DOI 10.1007/s42405-022-00476-1.
- Felux M., Fol P., Figuet B., Waltert M., Olive X. (2024). Impacts of Global Navigation Satellite System Jamming on Aviation. *NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation*. 71(3). DOI 10.33012/navi.657.
- Fengchi Zh., Siqing Zh., Xiaofeng L., Yulong H., Yonggang Zh. (2025). Adaptive Kalman Filters With Small-Magnitude and Inaccurate Process Noise Covariance Matrix Part II: Application to Inertial-Based Integrated Navigation. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 61(3): 7205-7235. DOI 10.1109/TAES.2025.3535481.
- Havo harakati O'zbekiston Respublikasida tashkil etish bo'yicha qo'llanmalar. 2016. 157 b. (in Uzbek)
- Maturazov I. S., Abdukayumov A. (2022). Improvement of Radio Electronic Equipment Diagnostic System. *AIP Conference Proceedings*. 2432. Pp. 030044. DOI 10.1063/5.0090223.
- O'zbekiston respublikasining havo kodeksi. 1993. 46 b. (in Uzbek)
- Osechas O., Fohlmeister F., Dautermann T., Felux M. (2022). Impact of GNSS-Band Radio Interference on Operational Avionics. *NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation*. 69(2). DOI 10.33012/navi.516.
- Riedel T., Takahashi M., Itoh E. (2020). Reducing speed commands in interval management with speed planning. *The Aeronautical Journal*. 124(1272): 1-27. DOI 10.1017/aer.2019.124.
- Saydumarov I., Boymanov I., Shukurova S. (2023). Increasing the efficiency of aviation operation of the aerodrome. *AIP Conference Proceedings*. 2789(1): 040088. DOI <https://doi.org/10.1063/5.0145527>.
- Shamsiev Z. Z. (2021). Digitalization of Educational and Methodological Support for the Training of Aviation Dispatchers. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. 8(3). DOI 10.58940/2374-6793.1609.
- Shamsiev Z. Z. (2022). Organizational factors affecting the effectiveness of the educational process of training air traffic controllers. *Heliyon*. 8(11): e11801. DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e11801.
- Song J., Milner C., No H. (2024). Feasibility Study of GBAS/INS and RRAIM for Airport Surface Movement Under Low-Visibility Conditions. *NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation*. 71(4). DOI 10.33012/navi.673.
- Zatuchny D. A. (2018). Methods of Countering Unauthorized Radio Engineering Attacks on the Navigation Systems of Civil Aviation Aircraft. *Reliability and Quality of Complex Systems*. (1): 21-27. DOI 10.21685/2307-4205-2018-1-3. (in Russian)

Поступила в редакцию  
Принята в печать  
Опубликована

19.11.2025  
09.02.2026  
07.03.2026

Received  
Accepted for publication  
Published

19.11.2025  
09.02.2026  
07.03.2026