# DEVELOPMENT TRENDS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND ELECTRONIC WARFARE TECHNOLOGIES

**Sotkulov Sharofiddin Shukhratovich**
PhD, Lieutenant Colonel
Head of the Department of the IMC, University of Military Security and Defense of the Republic of Uzbekistan
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.22834293

**Abstract:** In modern armed conflicts, unmanned aerial vehicles (UAVs) and electronic warfare (EW) technologies have become some of the key factors determining the technological nature of military operations. The development of digital communication systems, artificial intelligence, sensors, and automated control systems has expanded the capabilities of UAVs, bringing to the forefront the issues of their reliable operation in an electromagnetic environment. Based on open sources, this article analyzes the development trends of UAVs and EW technologies, their interaction, their role on the digital battlefield, as well as general approaches to ensuring functional stability. Additionally, a conceptual model for assessing the functional stability of UAV systems is proposed.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, electronic warfare, electromagnetic spectrum, digital control, artificial intelligence, data fusion, functional stability.

# UCHUVCHISIZ UCHISH APPARATLARI VA RADIOELEKTRON KURASH TEXNOLOGIYALARINING RIVOJLANISH TENDENSIYALARI

**Annotatsiya:** Zamonaviy qurolli mojarolarda uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) va radioelektron kurash (REK) texnologiyalari harbiy operatsiyalarning texnologik xususiyatini belgilab beruvchi asosiy omillardan biriga aylandi. Raqamli aloqa tizimlari, sun'iy intellekt, sensorlar va avtomatlashtirilgan boshqaruv vositalarining rivojlanishi UUAlarning imkoniyatlarini kengaytirib, elektromagnit muhitda ishonchli faoliyat yuritish masalalarini dolzarb qildi. Maqolada UUA va REK texnologiyalarining rivojlanish tendensiyalari, ularning o'zaro ta'siri, raqamli jang maydonidagi o'rni hamda funksional barqarorlikni ta'minlashga oid umumiy yondashuvlar ochiq manbalar asosida tahlil qilinadi. Shuningdek, UUA tizimlarining funksional barqarorligini baholash uchun konseptual model taklif etiladi.

**Kalit so'zlar:** uchuvchisiz uchish apparati, radioelektron kurash, elektromagnit spektr, raqamli boshqaruv, sun'iy intellekt, Data Fusion, funksional barqarorlik.

Axborot texnologiyalari, sun'iy intellekt va mikroelektronika sohalaridagi jadal rivojlanish harbiy tizimlarga ham sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Zamonaviy qurolli mojarolarda qaror qabul qilish tezligi, vaziyat haqidagi ma'lumotlarning aniqligi va boshqaruv tizimlarining integratsiyasi muhim ahamiyat kasb etmoqda. Bu jarayonda uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) va radioelektron kurash (REK) vositalari alohida o'rin egallaydi.

UUAlar dastlab asosan kuzatuv va razvedka vazifalari uchun ishlab chiqilgan bo'lsa, keyinchalik ularning qo'llanish sohasi kengayib, ekologik monitoring, favqulodda vaziyatlarda qidiruv-qutqaruv

ishlari, infratuzilmani inspeksiya qilish, qishloq xo‘jaligi, logistika va boshqa sohalarda ham keng qo‘llanila boshladi. Harbiy sohada esa ular axborot yig‘ish va vaziyatni kuzatish tizimlarining muhim qismiga aylandi.

REK texnologiyalari ham so‘nggi o‘n yilliklarda yangi bosqichga ko‘tarildi. Raqamli signallarni qayta ishlash, kognitiv radio, spektr monitoringi va sun’iy intellekt elementlarining joriy etilishi elektromagnit muhitni boshqarish imkoniyatlarini kengaytirdi. Bu jarayonlar murakkab axborot tizimlarining ishonchliligi va barqarorligini ta’minlash bo‘yicha yangi ilmiy vazifalarni keltirib chiqardi [1].

Uchuvchisiz uchish apparatlari va radioelektron kurash texnologiyalarining zamonaviy rivojlanish tendensiyalarini tahlil qilish, ularning raqamli axborot muhitidagi o‘zaro ta’sirini baholash hamda funksional barqarorlikni ta’minlash bo‘yicha umumiy yondashuvlarni ishlab chiqishdan iborat.

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda quyidagi vazifalar belgilab olindi, jumladan:

- UUA texnologiyalarining rivojlanish bosqichlarini tahlil qilish;
- radioelektron kurash sohasidagi zamonaviy tendensiyalarni o‘rganish;
- UUA va REK texnologiyalarining o‘zaro bog‘liqligini ko‘rib chiqish;
- funksional barqarorlikka ta’sir etuvchi omillarni tasniflash;
- UUA tizimlarini baholashning konseptual modelini taklif etish [2].

**UUA texnologiyalarining rivojlanish bosqichlari**

Uchuvchisiz uchish apparatlari rivojlanishini shartli ravishda to‘rt bosqichga ajratish mumkin (1-jadval).

**1-jadval**

**UUA texnologiyalarining rivojlanish bosqichlari**

| Bosqich | Davr | Asosiy xususiyatlari |
|---|---|---|
| I | 1990–2005-y. | Masofadan boshqariladigan platformalar, asosan kuzatuv vazifalari |
| II | 2005–2015-y. | GPS navigatsiyasi, raqamli aloqa, yuqori aniqlikdagi optik sensorlar |
| III | 2015–2022-y. | Avtonom parvoz funksiyalari, Data Fusion, bulutli hisoblash elementlari |
| IV | 2022-y.–hozirgacha | Sun’iy intellekt, ko‘p sensorli tizimlar, tarmoqlashgan boshqaruv va yuqori darajadagi avtomatlashtirish |

Ushbu bosqichlar UUAlarning texnik imkoniyatlari kengayishi bilan birga ularning axborot tizimlari bilan integratsiya darajasi ham ortib borganini ko‘rsatadi.

**Radioelektron kurash texnologiyalarining rivojlanish tendensiyalari**

Zamonaviy REK tizimlari elektromagnit spektrdagi vaziyatni kuzatish, signallarni tahlil qilish va axborot muhitini baholash imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Ular raqamli aloqa tizimlari, sensorlar va boshqaruv platformalari bilan integratsiya qilingan holda ishlaydi.

REK sohasidagi asosiy rivojlanish tendensiyalari quyidagilardan iborat:

- raqamli signallarni qayta ishlash algoritmlarining takomillashuvi;
- kognitiv radio texnologiyalarining rivojlanishi;
- sun’iy intellekt yordamida spektr tahlili;
- avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari;
- taqsimlangan sensor tarmoqlaridan foydalanish;
- kiber va elektromagnit muhit haqidagi ma’lumotlarni birlashtirish.

Bu tendensiyalar nafaqat harbiy sohada, balki aviatsiya, telekommunikatsiya va toifalangan infratuzilmalarni himoya qilish sohalarida ham muhim ahamiyat kasb etmoqda [3].

**Uchuvchisiz uchish apparatlari va radioelektron kurash texnologiyalarining o‘zaro integratsiyasi**

1. Raqamli axborot muhitida UUA va REKning o‘rni.

Zamonaviy uchuvchisiz uchish apparatlari alohida texnik qurilma emas, balki raqamli axborot muhitining tarkibiy qismi sifatida faoliyat yuritadi. UUA platformasi bort sensorlari, navigatsiya tizimlari, aloqa kanallari va yerdagi boshqaruv stanцiyalari bilan yagona axborot muhitida o‘zaro bog‘langan.

Bu jarayonda radioelektron texnologiyalar quyidagi umumiy vazifalarni bajarishga yo‘naltirilgan:

- elektromagnit muhitni monitoring qilish;
- aloqa kanallarining holatini baholash;
- spektrdan foydalanish samaradorligini tahlil qilish;
- axborot uzatish sifati monitoringi;
- avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlariga ma’lumot yetkazish.

Bunday integratsiya axborotning tezkor qayta ishlanishi va qaror qabul qilish jarayonining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

UUA tizimining funksional samaradorlik ko‘rsatkichi quyidagi 1-formula orqali aniqlash mumkin.

$$F=\sum_{i=1}^{n} w_i x_i \qquad (1)$$

Bu yerda,

F– funksional samaradorlik indeksi

$x_i$ - baholanuvchi parametr

$w_i$ -parametrning vazn koeffitsienti

n– parametrlar soni

2. Data Fusion texnologiyalarining ahamiyati.

So‘nggi yillarda UUAlarda turli manbalardan olinadigan ma’lumotlarni birlashtirish (Data Fusion) texnologiyalariga qiziqish ortmoqda. Ushbu yondashuv bir nechta sensordan kelgan ma’lumotlarni yagona axborot maydoniga birlashtirish orqali vaziyatni to‘liqroq baholash imkonini beradi [3-7;].

**2-jadval**

**Data Fusion texnologiyasining asosiy bosqichlari**

| Bosqich | Mazmuni |
|---|---|
| Ma’lumotlarni yig‘ish | Turli sensorlardan ma’lumot qabul qilish |
| Oldindan qayta ishlash | Shovqinlarni kamaytirish, sinxronlashtirish |
| Integratsiya | Ma’lumotlarni yagona axborot maydoniga birlashtirish |
| Tahlil | Vaziyatni baholash va xulosa chiqarish |
| Vizuallashtirish | Natijalarni operatorga taqdim etish |

Shuni takidlash joizki, Data Fusion nafaqat harbiy sohada, balki transport, tibbiyot, sanoat, ekologik monitoring va favqulodda vaziyatlarni boshqarish tizimlarida ham keng qo‘llanilmoqda.

Ko‘p sensorli tizimlarda umumiy baholash quyidagi 2-formula orqali amalga oshiriladi.

ISSN:2308-5703
Impact factor:13.5 *International Multidisciplinary Online Journal* September, 2026

$$X_f = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i X_i \quad (2)$$

Bu yerda,
$X_f$– birlashtirilgan ma’lumot

$X_i$- sensor ma’lumot

$\alpha_i$- sensor vazni

Shart,

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_1 = 1$$

3. Sun’iy intellektning roli.

Zamonaviy UUA platformalarida sun’iy intellekt algoritmlaridan quyidagi yo‘nalishlarda foydalanish tendenцiyasi kuzatilmoqda:

- tasvirlarni avtomatik tahlil qilish;
- ob’ektlarni aniqlash va tasniflash;
- parvoz parametrlarini optimallashtirish;
- texnik holatni prognoz qilish;
- energiya sarfini optimal boshqarish.

Yuqorida keltirilgan imkoniyatlar inson omilini qisqartirish emas, balki operatorning qaror qabul qilish jarayonini axborot bilan qo‘llab-quvvatlashga imkon bermoqda.

**UUA va REK texnologiyalari rivojlanishining umumiy tendensiyalari**

Ochiq ilmiy manbalar tahlili asosida quyidagi asosiy tendenцiyalar ajratiladi (3-jadval).

**3-jadval**

**UUA va REK texnologiyalari rivojlanishining umumiy tendensiyasi**

| **Bosqich** | **Mazmuni** |
|---|---|
| Miniatyurlashtirish | Elektron komponentlarning kichrayishi UUAlarning og‘irligini kamaytirib, energiya samaradorligini oshirmoqda. |
| Ko‘p sensorli arxitektura | Optik, infraqizil, radiolokatsion va boshqa sensorlarni bir platformada birlashtirish tendenцiyasi kuchaymoqda. |
| Avtomatlashtirilgan boshqaruv | Parvozni rejalashtirish, ma’lumotlarni qayta ishlash va monitoring jarayonlarida avtomatlashtirish darajasi o‘smoqda. |
| Bulutli texnologiyalar | Ma’lumotlarni saqlash va tahlil qilish uchun bulutli hisoblash xizmatlaridan foydalanish kengaymoqda. |
| Axborot xavfsizligi | Aloqa va ma’lumot almashinuvini kriptografik himoya qilish, kiberxavfsizlik talablari tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. |

4. UUA texnologiyalari bozorining rivojlanish dinamikasi.

Turli ochiq bozor tahlillariga ko‘ra, fuqarolik va harbiy yo‘nalishlarda UUA texnologiyalari bozori so‘nggi yillarda barqaror o‘sishni namoyon etmoqda (4-jadval).

**4-jadval**

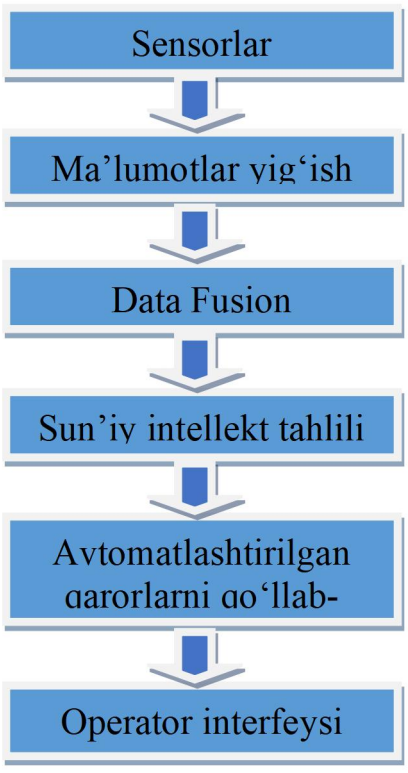
**UUA texnologiyalari bozorining umumiy o‘sish tendensiyasi**

| Yillar kesimida | Bozor hajmi (taxminiy, mlrd AQSh dollari) |
|---|---|
| 2022 | 27 |
| 2023 | 31 |
| 2024 | 36 |
| 2025 | 42 |
| 2026* | 48 |

*2026 yil uchun qiymatlar ochiq bozor prognozlarini umumlashtirish asosida keltirilgan.

Shuni takilash joizki, o‘sish sur’ati mikroelektronika, akkumulyator texnologiyalari, sensorlar, dasturiy ta’minot va sun’iy intellekt sohalaridagi rivojlanish bilan bevosita bog‘liq.

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda zamonaviy UUA axborot tizimining umumlashtirilgan концептual arxitekturasi quyidagi ko‘rinishga ega (1-rasm).




**1-rasm.** Zamonaviy UUA axborot tizimining umumlashtirilgan konseptual arxitekturasi.

**Xulosa.**

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, UUA va radioelektron texnologiyalar rivojlanishi alohida yo‘nalishlar sifatida emas, balki sensorlar, aloqa tizimlari, ma’lumotlarni qayta ishlash, sun’iy intellekt va axborot xavfsizligini qamrab olgan yagona raqamli ekotizim sifatida kechmoqda. Kelgusi tadqiqotlarda funkцional barqarorlikni baholash, Data Fusion algoritmlarini takomillashtirish va intellektual axborot tizimlarining samaradorligini oshirish dolzarb ilmiy vazifalardan biri bo‘lib qoladi.

**FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR**

1. Sotqulov, Sh.Sh. Harbiy razvedka tizimida radioelektron razvedkaning o‘rni va ahamiyati // Harbiy aloqa va AKT xabarlari. - 2023. - №1(13).
2. Sulaymanov, B.B. Taktik bo‘g‘indagi UUA larga radioelektron kurashga asoslangan qarshi kurash tizimini yaratish: PhD dis.: 21.02.14. - T., 2023. - 110 b.
3. Sotqulov, Sh.Sh. “EAS dome majmui misolida ko‘p sensorli C-UAS tizimlarida ma’lumotlarni birlashtirish (sensor fusion) muammosi va yagona arxitektura yechimi” / Sh.Sh. Sotqulov, B.B. Sulaymanov / Innovation technosystems ilmiy-texnik jurnal №1(21), 201-206-b.
4. Electronic Autonomous Solutions (EAS). Taqdimot materiallari va texnik spetsifikatsiyalari. - Toshkent, 2026.
5. Mahafza B.R. Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB. - 3rd ed. - CRC Press, 2013. - 772 p.
6. Hall D.L., McMullen S.A.H. Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion. - 2nd ed. - Artech House, 2004. - 424 p.
7. Blackman S., Popoli R. Design and Analysis of Modern Tracking Systems. - Artech House, 1999. - 1230 p.