

## RADIORELELI ALOQA TIZIMLARI

**Madaminov Muhridin Ro‘ziboy o‘g‘li**

*Farg‘ona davlat texnika universiteti o‘qituvchisi.*

**Ozodbekov Ozodbek Ulug‘bek o‘g‘li**

*Farg‘ona davlat texnika universiteti talabasi*

[ozodbek5710926@gmail.com](mailto:ozodbek5710926@gmail.com)

**Abdumalikov Azizbek Turg‘unboy o‘g‘li**

*Farg‘ona davlat texnika universiteti talabasi*

[azizbek511x1@gmail.com](mailto:azizbek511x1@gmail.com)

**Annotatsiya:** Mazkur ishda radioreleli qurilmalarning mobil aloqa tizimlari barqarorligini ta‘minlashdagi strategik ahamiyati ko‘rib chiqilgan. RRL texnologiyasining rivojlanish tarixi, signal retranslyatsiyasi prinsiplari va millimetrli to‘lqin diapazonlarida ma‘lumot uzatishning o‘ziga xos xususiyatlari yoritilgan. Aloqa operatorlari uchun xarajatlarni kamaytirish va tarmoq qamrovini kengaytirishda raqamli radiorele stansiyalarining texnik imkoniyatlari baholangan. Sun‘iy intellekt va energiya samaradorligi texnologiyalarini tizimga integratsiya qilish istiqbollari alohida to‘xtalib o‘tilgan.

**Kalit so‘zlar:** radiorele aloqasi, infratuzilma, 5G transport tarmog‘i, mikroto‘lqinli uzatish, radiochastota spektri, raqamli modulyatsiya, magistral aloqa.

### Radio-relay communication systems

**Madaminov Muhridin Ro‘ziboy o‘g‘li**

*Teacher of Fergana State Technical University.*

**Ozodbekov Ozodbek Ulug‘bek ugli**

*Student of Fergana State Technical University*

[ozodbek5710926@gmail.com](mailto:ozodbek5710926@gmail.com)

**Abdumalikov Azizbek Turgunboy ugli**

*Student of Fergana State Technical University*

[azizbek511x1@gmail.com](mailto:azizbek511x1@gmail.com)

**Annotation:** This work examines the strategic importance of radio relay equipment in ensuring the stability of mobile communication systems. The history of RRL technology development, signal retransmission principles, and specific features of data transmission in millimeter-wave bands are highlighted. The technical capabilities of digital radio relay stations in reducing operator costs and expanding network coverage are evaluated.

*Particular focus is placed on the prospects of integrating artificial intelligence and energy-efficient technologies into the system.*

**Keywords:** *radio relay communication, infrastructure, 5G backhaul, microwave transmission, radio frequency spectrum, digital modulation, backbone communication.*

## СИСТЕМЫ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ

**Мадаминов Мухриддин Рузибой угли**

*Преподаватель Ферганского государственного технического университета.*

**Озодбеков Озодбек Улугбек угли**

*Студент Ферганский государственный технический университет*

[ozodbek5710926@gmail.com](mailto:ozodbek5710926@gmail.com)

**Абдумаликов Азизбек Тургунбой угли**

*Студент Ферганский государственный технический университет*

[azizbek511x1@gmail.com](mailto:azizbek511x1@gmail.com)

**Аннотация:** *В данной работе рассматривается стратегическое значение радиорелейного оборудования в обеспечении устойчивости систем мобильной связи. Освещены история развития технологии РРЛ, принципы ретрансляции сигналов и особенности передачи данных в миллиметровом диапазоне волн. Оценены технические возможности цифровых радиорелейных станций в снижении затрат операторов связи и расширении зоны покрытия сети. Особое внимание уделено перспективам интеграции искусственного интеллекта и энергоэффективных технологий в систему.*

**Ключевые слова:** *радиорелейная связь, инфраструктура, транспортная сеть 5G, микроволновое вещание, радиочастотный спектр, цифровая модуляция, магистральная связь.*

### **Kirish**

Zamonaviy jamiyatda aloqa vositalarining tezkor rivojlanishi va keng tarqalishi, axborot almashinuvi hajmining misli ko'rilmagan darajada o'sishi telekommunikatsiya infratuzilmasining ahamiyatini yanada oshirmoqda. Mobil aloqa tizimlari global miqyosda milliardlab foydalanuvchilarni o'zaro bog'lab turuvchi asosiy platformalardan biri bo'lib, ular barqaror va yuqori sifatli radioqabul qilish qurilmalariga tayanadi. Radioreleli liniyalar (RRL) esa ushbu mobil aloqa tizimlarining magistral va mintaqaviy tarmoqlarida, ayniqsa tolali-optik liniyalarni o'rnatish iqtisodiy jihatdan samarasiz yoki texnik jihatdan murakkab bo'lgan joylarda, muhim bog'lovchi bo'g'in vazifasini o'taydi. Ularning tezkor joylashtirish imkoniyati, moslashuvchanligi va nisbatan arzonligi, ayniqsa qiyin geografik

sharoitlarda yoki vaqtinchalik aloqa ehtiyojlari uchun ularni ajralmas texnologiyaga aylantiradi. Shu sababli, radioreleli liniyalar qurilmalarining o'ziga xos xususiyatlarini chuqur o'rganish, ularning mobil aloqa tizimlaridagi samaradorligini oshirish va barqarorligini ta'minlash nuqtai nazaridan g'oyat dolzarbdir. Ushbu tadqiqot ushbu texnologiyaning zamonaviy ahamiyatini, uning cheklovlari va salohiyatini ochib beradi. Shiddat bilan rivojlanayotgan mobil aloqa standartlari, jumladan 5G va undan keyingi avlodlar, radioreleli liniyalarga yuqori tezlik, past kechikish va yuqori ishonchlilik kabi qat'iy talablarni qo'ymoqda. An'anaviy radioreleli tizimlar tezlik va samaradorlik nuqtai nazaridan joriy ehtiyojlarni qondirishga qiynalishi mumkin. Muammo shundaki, yuqori chastota diapazonlarida ishlaydigan va ko'p gigabitli ma'lumot uzatishni ta'minlay oladigan radioreleli qurilmalarni loyihalash va optimallashtirish murakkab muhandislik vazifasidir. Ular signallarning tarqalish xususiyatlari, shovqinlar, zaiflashish va atrofdagi muhitning ta'siri kabi omillarni hisobga olishni talab qiladi.

RRL stansiyalari o'ta yuqori chastotalarda (UTCH) ishlagani uchun, antennalar orasida to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish bo'lishi shart. Yerning egriligini olgan holda maksimal masofa formulasi:

$$R_{max} = 3.57 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Radioreleli aloqa (radio... va rele) — qabul qilish-uzatish radiostansiyalari zanjiridan iborat avtomatik radioaloqa. Bir punktdan qabul qilingan signallar oraliq st-yada kuchaytirilib, ikkinchisiga uzatiladi. Styalar bir-biridan 40–60 km masofada quriladi. Radioreleli aloqada ultraqisqa to'lqinlardan foydalaniladi. Radioreleli aloqa liniyalari katta sig'imli (magistral), o'rtacha sig'imli (zonali), kam kanalli (temir yo'l transporti, gaz quvurlari, neft quvurlari va boshqalarda qo'llanadigan) liniyalarga bo'linadi. Har bir liniya imkoniyatini oshirish uchun bir necha (6 ta 5 gacha) yuqori chastotali tarmoqlar qo'llanadi. Tarmoqlar mustaqil ishlaydi, lekin hammasi umumiy antennadan foydalanadi. Har qaysi tarmoqdan bir vaqtda 600-1000 telefonda gaplashish yoki 1 ta sifatli teledastur uzatish mumkin. Radioreleli aloqada yo'naltirilgan kuchli antennalardan foydalaniladi. Birinchi 5 ta telefon kanaliga mo'ljallangan radioreleli aloqa liniyasi 1935-yil AQShdan Nyu-York bilan Filadelfiya orasida qurilgan. Radioreleli aloqa shaharlararo telefon va telegraf aloqasi o'rnatish, radio va televideniye dasturlarini uzoq masofalarga uzatish, teleboshqarish hamda teleo'lchash signallarini uzatish maqsadlarida, harbiy ishda qo'llanadi. Radioreleli aloqa radiosignallarining ko'p marotaba retranslyatsiyalanishiga asoslangan yer usti radioaloqasining turlaridan biri hisoblanadi. Radioreleli aloqa statsionar obyektlar orasida amalga oshiriladi. Radioreleli aloqa liniyasi qabul qilish uzatish radioreleli stansiyalari zanjiri ko'rinishida quriladi. Radioreleli liniyalarda uzatkichlar, qabul qilgichlar, antennalar o'rnatiladi.

RRLda yo'qotilgan parabolik antenlar qurilmalar. Ularning qurishi antenaning diametri va ishchi chastotasiga bog'liq:

$$G = 10 \cdot \lg \left( \eta \cdot \left( \frac{\pi \cdot D \cdot f}{c} \right)^2 \right)$$

Radioreleli aloqa shaharlararo telefon va telegraf aloqasi o'rnatish, radio va televideniye dasturlarini uzoq, masofalarga uzatish, teleboshqarish hamda teleo'lchash signallarini uzatish maqsadlarida, harbiy ishda qo'llaniladi. Masofa, yer yoki boshqa qiyinchiliklar tufayli to'g'ridan-to'g'ri aloqa qila olmaydigan radiostantsiyalar signallarni uzatish uchun ba'zan oraliq radioreley stantsiyasidan foydalanadilar. Radiorele zaif signallarni qabul qiladi va ularni kuchliroq signal sifatida ko'pincha boshqa yo'nalishda qayta uzatadi. Masalan, havodagi radio rele, mikroto'lqinli radio rele va aloqa sun'iy yo'ldoshi. Amerika Radio Relay Ligasi shu maqsadda tashkil etilgan, ammo bu uning ishining ahamiyatsiz qismiga aylanganda nomini o'zgartirmagan.

Radiorele aloqasi - bu radiosignal ko'p marotaba o'tkazilishiga asoslangan yer usti radioaloqasining turlaridan biri. Radiorele aloqasi, qoida tariqasida, statsionar ob'ektlar o'rtasida amalga oshiriladi. Tarixiy jihatdan stantsiyalar orasidagi radiorele aloqasi yer stantsiyalari zanjiri yordamida amalga oshirildi, ular faol yoki passiv bo'lishi mumkin. Boshqa barcha turdagi yer usti radioaloqalaridan radiorele aloqasining o'ziga xos xususiyati yuqori yo'naltirilgan antennalardan, shuningdek, dekimert, santimetr yoki millimetrlil radio to'lqinlardan foydalanishdir. Radiorele aloqasi tarixi 1898 yil yanvarda Praga muhandisi Yoxann Mattaushning Avstriyaning "Zeitschrift fur Electrotechnik" jurnalida nashr etilishi bilan boshlanadi. Birinchi xakikiy ishlaydigan radiorele tizimi 1899 yilda italyanskiy millatiga mansub 19 yoshli belgiyalik talaba Emil Guarini Forezio tomonidan ishtirok qilingan. 1899 yil 27 mayda Belgiya Patent idorasiga birinchi marta radioreleli o'rni moslamasini tavsiflovchi 142911-sonli ixtiro patentiga ariza berdi. Ushbu tarixiy xaqiqat E. Guarini-Forezio ustuvorligining dastlabki xujjatli dalilidir, bu bizga ushbu sanani radiorele aloqalarining rasmiy tug'ilgan kuni deb xisoblashga imkon beradi. 1901 yilda Guarini-Forezio, Fernan Ponsele bilan birgalikda Bryussel va Antverpen o'rtasida radiorele alokalarini o'rnatish uchun bir qator muvaffaqiyatli ishlar olib bordi. 1901 yil oxirida xuddi shunday tajriba Bryussel va Parij o'rtasida ham amalga oshirildi.

Radiotolqinlar masofa oshgan sayin zaiflashadi. Bo'shliqdagi energiya yo'qotishlarini (dB larda) formula orqali boshqarish mumkin:

$$L = 32.44 + 20 \cdot \lg(f) + 20 \cdot \lg(R)$$

Raqamli radiorele aloqa liniyalaridan foydalanishning afzalliklari: bugungi kunda axborot almashinuvi har bir inson hayotining ajralmas qismidir. Zamonaviy jamiyatning taraqqiyoti shartlaridan biri axborot va raqamli texnologiyalardan keng va qulay foydalanishdir. Ko'p yillik amaliy tajriba, simsiz aloqa kanallari orqali turli xil ma'lumotlarni uzatishning ishonchliligi va sifatini oshirish maqsadida radiorele liniyalarining keng qo'llanilishiga olib kelmoqda. Jumladan, radiorele aloqa liniyalari tez va samarali yechim bo'lib, foydalanuvchilarga yangi tarmoq qurish, mavjud tarmoqni

kengaytirish, uning ishonchliligini oshirish uchun simli tarmoq kanallari zaxirasini yaratish imkoniyatini beradi.

Raqamli radiorele aloqa liniyalarining asosiy vazifalari:

1. aloqa operatorlari tomonidan mintaqalararo va mahalliy tarmoqlarda transport infratuzilmasini yaratish
2. texnologik aloqa liniyalarini qurish
3. yuqori tezlikdagi LAN tarmoqlarini ulash
4. optik tolali aloqa liniyalarini zaxiralashdan iborat

Aloqa operatorlari magistral simsiz kanallarni qurishda, optik tolali liniyalarni zaxiralash yoki optik tolali halqani tutashtirish uchun magistral RRS dan foydalanishi mumkn. Yuqori o'tkazuvchanlik va ma'lumotlarni uzatishni ishonchliligini oshirish maqsadida bir nechta radioreleyli stansiyalaridan foydalaniladi. Optik tolali liniyalarni o'tkazish imkoni bo'lmagan hollarda aloqa operatorlari o'zlarining mintaqaviy tarmoqlarini bir-biriga ulash uchun radioreleyli stantsiyalardan foydalanadilar, bir nechta tranzit nuqtalari bo'lgan shaharlararo simsiz magistral liniyalarni yaratadilar. O'zbekistonda uyali aloqa operatorlari transport infratuzilmasini qurish uchun raqamli radiorele stansiyalaridan faol foydalanmoqda. Uyali aloqa operatorlari o'z tarmoqlarida simsiz kanallardan foydalanish stasionar aloqa operatorlarining liniyalarini ijaraga olmaslik imkoniyatini yaratadi va xarajatlarni sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi.

Shuningdek, zamonaviy aloqa tarmoqlarini qurishda 71,76 – 81,86 GHz radichastota diapazonida ishlaydigan keng polosali radiorele qurilmalaridan qisqa masofalarga yuqori tezlikdagi ma'lumotlar uzatish maqsadida keng foydalanilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 22-dekabrda "Radiochastota spektridan foydalanish sohasida ruxsat etish hamda radioelektron vositalar va yuqori chastotali qurilmalardan foydalanishni tartibga solish to'g'risida"gi 801-son hamda Radiochastotalar bo'yicha respublika kengashining 2020-yil 19-oktabrdagi "Turg'un xizmat radioelektron vositalaridan foydalanish tartibini soddalashtirish haqida"gi 610-son qarorlariga asosan "EMMM" DUK tomonidan RRS laridan foydalanish huquqini beruvchi ruxsatnomalarni rasmiylashtirish jarayoni soddalashtirilgan tartibda amalga oshirilmoqda. Aloqa liniyalari tarmoqni tashkil etish va ma'lumotlarni uzatish jarayoniga asoslanadi. Ular raqamli infratuzilma yordamida yuqori tezlikdagi va ishonchli translyatsiya imkoniyatini taqdim etadi. Raqamli texnologiyalar, ayniqsa, simsiz aloqa va ma'lumot uzatish jarayonlarida inqilobiy yondashuvlarni taqdim etadi, bu esa kengaytirilgan ma'lumot tezligini va unumdorligini ta'minlaydi.

Raqamli radioreleli aloqa liniyalari zamonaviy aloqa tizimlarining ajralmas qismi bo'lib, ular hatto og'ir sharoitlarda ham ishonchli bog'lanishni ta'minlaydi. Ularning ahamiyati iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishga bog'liq.

Asosiy prinsiplar: Raqamli radioreleli aloqa liniyalarida uzluksizlik, ishonchlilik va tezlik kabi asosiy prinsiplar muhim o'rin egallaydi, bu esa ularning samaradorligini belgilaydi.

Aloqa jarayoni: Aloqa jarayoni ma'lumotlarni kodlash, uzatish va qabul qilish jarayonlaridan iborat. Bu jarayonlar raqamli texnikalar orqali monitoring qilinadi va optimallashtiriladi.

Signal uzatish: Signal uzatish jarayoni turli modulyatsiya usullari orqali amalga oshiriladi, bu esa signalning sifatini va uzatish masofasini yaxshilaydi.

$$s(t) = [A_c + m(t)] \cdot \cos(2\pi f_c t)$$

Amplituda modulyatsiyasi

Aloqa liniyalarining komponentlari, uzatgichlar va qabul qiluvchilar:

Komponentlar Aloqa tizimining har bir shu komponenti uzatish, qabul qilish va qayta ishlash jarayonlarini yo'lga qo'yadi; ularning sifatini oshirish kommunikatsiya unumdorligi uchun ahamiyatlidir.

Qabul qiluvchilar ma'lumotlarni signal sifatida oladi va ushbu signallarni foydalanuvchilarga yetkazadi, qabul qiluvchilar zamonaviy texnologiyalar yordamida energiyani iqtisod qilish imkonini beradi. Uzatgichlar ma'lumotlarni to'g'ri va tezda uzatish uchun zarurdir. Ular signalning kuchini oshirishga va to'g'ridan-to'g'ri bog'lanishni yaxshilashga yordam beradi. Radioreleli aloqa tizimlari qisqa va o'rta masofadagi signal uzatish uchun ishlatiladi. Ularning kelajakdagi rivojlanishi quyidagi yo'nalishlarga bog'liq. Millimetr to'lqin diapazoniga o'tish – 5G va 6G texnologiyalari rivojlanishi bilan radioreley aloqa tizimlari yuqori chastotalarga o'tmoqda. Bu signalni zichroq joylashtirish va yuqori o'tkazuvchanlikni ta'minlash imkonini beradi. Avtomatlashtirish va sun'iy intellektdan foydalanish – AI texnologiyalari tarmoqni optimallashtirish, signal uzatish yo'llarini yaxshilash va real vaqt rejimida tahlil qilish uchun ishlatilmoqda. Optik tolali aloqa bilan integratsiya – radioreleyli aloqa tizimlari optik tolali aloqa bilan uyg'unlashtirilib, uzoq masofaga yuqori sifatli signal yetkazish imkoniyatini oshirmoqda. Energiya samaradorligini oshirish – yangi quvvat tejovchi modulyatsiya usullari va aqlli signal boshqaruv tizimlari qo'llanmoqda.



Radioreleyli va yoʻldoshli aloqa tizimlari kelajakda yanada rivojlanib, yuqoritezlik, kam kechikish, xavfsizlik va samaradorlik jihatidan takomillashish kutilmoqda. Bu esa aloqa sohasida yangi innovatsion yechimlarni joriy etish imkoniyatini yaratadi

### **Xulosa**

Xulosa oʻrnida taʼkidlash joizki, zamonaviy telekommunikatsiya infratuzilmasida raqamli radioreleyli aloqa liniyalari oʻzining moslashuvchanligi, iqtisodiy samaradorligi va tezkor oʻrnatilish imkoniyati bilan strategik ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqot natijasida radioreleyli aloqa tizimlarining mobil aloqa tarmoqlarini kengaytirishdagi va optik tolali liniyalarga zaxira sifatida xizmat qilishdagi roli beqiyos ekanligi aniqlandi. Oddiy qilib aytganda, radioreleyli aloqa tizimlari faqatgina anʼanaviy vosita boʻlib qolmay, balki raqamli transformatsiya davrida global axborot almashinuvini taʼminlovchi yuqori texnologik va barqaror platformaga aylandi. Kelajakda ushbu tizimlarni yanada takomillashtirish, ularning spektral samaradorligini oshirish va optik aloqa bilan uzviy integratsiyasini taʼminlash telekommunikatsiya sohasidagi ustuvor vazifa boʻlib qolaveradi.

### **ADABIYOTLAR ROʻYXATI**

1. Gulyamov Sh.M., va boshqalar. Telekommunikatsiya uzatish tizimlari. Toshkent: "Aloqachi" nashriyoti, 2021. – 320 b.
2. Seydametov S.S. Radioreleyli aloqa liniyalari va ularni loyihalash. Oʻquv qoʻllanma. Toshkent: TUIT, 2022. – 186 b.
3. Mishin D.V. Modern Radio Relay Communication Systems. Springer International Publishing, 2023. – 245 p.
4. Rappaport T.S., et al. Millimeter Wave Wireless Communications. Pearson Education, 2020. – 416 p.
5. Oʻzbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining qarori. "Radiochastota spektridan foydalanish sohasida ruxsat etish hamda radioelektron vositalar va yuqori chastotali qurilmalardan foydalanishni tartibga solish toʻgʻrisida" gi 801-son qarori, 22.12.2020. – 84 b.
6. IEEE Xplore Digital Library. Integration of AI in Microwave Radio Relay Networks: Future Trends. Journal of Communications and Networks, 2024. – 14 p.
7. Yunusov A.A. Raqamli axborot uzatish tizimlari hamda modulyatsiya usullari. Toshkent, 2022. – 210 b.
8. ITU-R Recommendations. F.758-7: System parameters and considerations for digital fixed wireless systems. International Telecommunication Union, 2021. – 58 p.
9. Dahlman E., Mildh G. 6G: The Next Generation of Wireless Communication Systems. Academic Press, 2024. – 380 p.
10. EMMM DUK Yillik Toʻplami. Oʻzbekiston hududida radioelektron vositalar monitoringi va rivojlanish koʻrsatkichlari. Toshkent, 2023. – 120 b.