

OPTIK TOLALAR VA ULARNING FIZIK PARAMETRLARINI TELEKOMMUNIKATSIYA TIZIMLARIDAGI ROLI

Turaxujayev Anvarxuja Abbasxuja o'g'li
Rahimova Mohidil Alisher qizi

¹Qo'qon davlat universiteti o'qituvchisi,

²Qo'qon davlat universiteti talabasi

e-mail: atoraxojayev@gmail.com

Anotatsiya: Ushbu maqola optik tolalar va ularning telekommunikatsiya tizimlaridagi o'rnini, ishlash prinsiplari va kelajakdagi rivojlanish istiqbollari o'rganadi. Optik tolalar, yuqori tezlikda va past yo'qotish bilan ma'lumot uzatishning asosiy vositasi sifatida, nafaqat telekommunikatsiya tarmoqlari, balki boshqa sohalarda ham keng qo'llanilmoqda. Maqolada optik tolalarning fizik asoslari, refraktiv koeffitsiyent, total yansitish tamoyili va dispersion kabi muhim xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, optik tolalar texnologiyasining kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlari, yangi materiallar, kvant texnologiyalari va fotonikaning roli, shuningdek, 5G va IoT¹⁷⁰ tizimlaridagi ahamiyati haqida batafsil ma'lumot beriladi. Kelajakda optik tolalar va ularga asoslangan tizimlarning global aloqalar va raqamli iqtisodiyot uchun yangi imkoniyatlar yaratishi kutilmoqda.

Kalit so'zlar: Optik tolalar, telekommunikatsiya tizimlari, ma'lumot uzatish, total yansitish, refraktiv koeffitsiyent, fotonika, kvant texnologiyalari, 5G, internet buyumlari.

KIRISH

Optik tolalar - bu yuqori samarali va uzoq masofalarga ma'lumot uzatishda qo'llaniladigan ilg'or texnologiyalardir. Ularning ishlash prinsipi va xususiyatlari ko'plab sohalarda, ayniqsa, telekommunikatsiya va aloqa tizimlarida katta o'rin egallaydi. Bugungi kunda optik tolali aloqalar, internet tarmog'i, televizion uzatish, mobil aloqa va boshqa ko'plab kommunikatsiya tizimlarida asosiy rol o'ynamoqda. Optik tolalar yordamida yuqori tezlikda va past yo'qotish bilan ma'lumot uzatish imkoniyati mavjud bo'lib, ular bu sohalarda yanada samarali ishlashni ta'minlaydi. Bundan tashqari O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2025-yil 29-avgustidagi "O'zbekiston Respublikasi Telekommunikatsiyalarni tartibga solish agentligi faoliyatini tashkil etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi 550-son qarorining 2-ilovasi, 1-bandini, v) kichi bandiga asosan respublika hududida "...belgilangan tartibda xo'jalik yurituvchi subyektlarning, shu jumladan, xorijiy xo'jalik yurituvchi subyektlarning ular tomonidan telekommunikatsiyalarning axborotlarga ishlov berish va ma'lumotlarni uzatish tarmoqlariga oid qismini, shu jumladan, "Internet" tarmoqlarini, loyihalashtirish, qurish, ulardan foydalanish va ularning xizmatlarini ko'rsatish" kabi vazifalar belgilangan¹⁷¹.

¹⁷⁰ Internet of things – (tarjima eng.) Internet buyumlari.

¹⁷¹ O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2025-yil 29-avgustidagi 550-sonli qarori

Optik tolalarning fizikasi va ularning ma'lumot uzatish jarayonidagi roli bilan tanishish, bu texnologiyalarni to'g'ri va samarali qo'llashni tushunish uchun zarurdir. Optik tola orqali ma'lumot uzatish jarayoni, birinchi navbatda, yorug'likning tola ichidagi qayta aks etishi va so'ngra minimal yo'qotish bilan uzoq masofaga uzatilishini ta'minlashga asoslanadi. Bu jarayonni amalga oshirishda total yansitish (total internal reflection) tamoyili asosiy rol o'ynaydi, ya'ni yorug'lik tola yuzalarida aks etadi va ularning yuqori optik ko'rsatkichlari yordamida signallarni samarali tarzda uzatish mumkin bo'ladi.

Bugungi kunda optik tolalar faqat telekommunikatsiya sohasida emas, balki kengaytirilgan haqiqat (AR), sun'iy intellekt (AI), katta ma'lumotlar (Big Data) va bulutli hisoblash kabi sohalarda ham muhim o'rin egallamoqda. Optik tolalar yordamida amalga oshiriladigan yuqori tezlikdagi ma'lumot uzatish, nafaqat aloqalarni tezlashtiradi, balki butun dunyo bo'ylab ma'lumot almashinuvi va kommunikatsiya tizimlarining samaradorligini oshiradi.

Yuqori tezlikdagi internet aloqalari talabining ortishi va global tarmoqlarni rivojlantirish maqsadida optik tolalar yordamida ma'lumot uzatish texnologiyasi yanada rivojlanmoqda. Bugungi kunda telekommunikatsiya tizimlarining optimallashtirilishi, 5G va undan keyingi texnologiyalarni yaratish, shuningdek, yuqori tezlikda video va boshqa turdagi ma'lumotlarni uzatishning o'sib borayotgan ehtiyojlari optik tolalarni yanada kengroq qo'llashga olib kelmoqda. Optik tolalar yordamida har bir uyga va har bir telefon aloqa tizimiga tez va uzluksiz ma'lumot uzatish imkonini beradigan yutuqlarni yaratish maqsadida ilmiy tadqiqotlar davom etmoqda.

Shuningdek, optik tolalar bilan bog'liq ilmiy izlanishlar telekommunikatsiya tarmoqlarining o'zgarishiga, ya'ni yuqori tezlikda ma'lumot uzatish va samarali signallarni uzatishning yangi imkoniyatlariga olib kelmoqda. Bu maqolada optik tolalar va ularning fizik asoslarini, shuningdek, telekommunikatsiya tizimlaridagi o'rnini, rivojlanish istiqbollari ko'rib chiqamiz. Optik tolalarning ishlash mexanizmlarini, ularning xususiyatlarini va amaliy ahamiyatini chuqur o'rganish, bugungi texnologiyalarni yanada samarali rivojlantirishga yordam beradi.

Optik tolalar va ularning fizik asoslari

Optik tolalar - bu yorug'lik signallarini uzoq masofalarga uzatish uchun mo'ljallangan maxsus materiallardir. Ularning asosiy ishlash prinsipi total yansitish (total internal reflection) tamoyiliga asoslanadi. Bu tamoyilga ko'ra, yorug'lik nurlari tolaning yadro qatlamidan chiqmasdan uning ichida aks etadi va shu tarzda uzoq masofalarga samarali tarzda uzatiladi. Optik tolalar ikki asosiy qatlamdan tashkil topgan bo'lib, biri yuqori refraktiv koeffitsiyentga ega yadro (core), ikkinchisi esa refraktiv koeffitsiyenti pastroq bo'lgan qobiq (cladding) hisoblanadi. Yadro orqali nur uzatiladi, qobiq esa nurni yadroda saqlashga yordam beradi.

Optik tolalarning ishlash samaradorligi bir qator fizikaviy omillarga bog'liq bo'ladi. Refraktiv koeffitsientlarning farqi, ya'ni yadro va qobiq orasidagi refraktiv koeffitsientning

farqi, nurning aks etishiga ta'sir qiladi va bu total yansitishni amalga oshiradi. Agar nurning kirish burchagi tolaning ichki yuzasiga nisbatan ma'lum bir burchakdan katta bo'lsa, nur tolaning ichida aks etadi va bu jarayon davomida nurning chiqib ketishi oldini oladi. Bunda nur tolaning ichki yuzalarida ko'p marotaba aks etadi va shunday qilib uzoq masofalarga uzatiladi.

Optik tolalar orqali uzatiladigan signalning samaradorligi tolaning uzunligiga, materialiga va ko'rsatilgan sharoitlarga bog'liq ravishda o'zgarishi mumkin. Yorug'lik signallarining yo'qolishi, ya'ni optik yo'qotishlar, tolaning materialiga va uning o'lchamlariga bog'liq. Optik yo'qotishlarning asosiy turlari: absorbsiya (yutilish), Rayleigh scattering¹⁷² va mikrobuqalamalar (tola egilishi yoki tashqi bosimlardan kelib chiqadigan signallarni yo'qotish) kabi omillarni o'z ichiga oladi. Bu yo'qotishlar signalning sifatiga ta'sir qiladi va uning masofaga uzatilish samaradorligini kamaytiradi.

Optik tolalardagi dispersion hodisasi ham ma'lumot uzatish jarayonida muhim rol o'ynaydi. Dispersion, ya'ni nurning to'lqin uzunligiga qarab turli tezliklarda tarqalishi, optik tolalarda signallarni uzatishda ba'zi noqulayliklarga olib kelishi mumkin. Biroq, bu hodisa ko'p modali optik tolalarda ko'proq kuzatiladi, chunki ularning diametri kattaroq va turli modallar orqali nur uzatiladi. Bir modali optik tolalarda esa dispersion minimal bo'ladi, bu ularni uzoq masofalarga ma'lumot uzatishda yanada samarali qiladi.

Optik tolalar ko'p turdagi materiallardan tayyorlanadi, ammo ular odatda silikat yoki plastik materiallar asosida quriladi. Silikat tolalar ko'proq telekommunikatsiya tizimlarida ishlatiladi, chunki ular yuqori refraktiv koeffitsientga ega va nurni minimal yo'qotish bilan uzatishga qodir. Plastik tolalar esa ko'proq kichik masofalar uchun va kamroq talablar bilan ishlatiladi. Optik tolalar ko'p moddali va bir modali tolalarga bo'linadi. Ko'p modali optik tolalar ko'plab nur moddalarini uzata olish xususiyatiga ega, ammo ular dispersiya va yo'qotishlarga moyil bo'ladi. Bir modali optik tolalar faqat bitta nur modalini uzatadi va bu ularni uzoq masofalarda yuqori samaradorlik bilan ishlashga imkon beradi.

Optik tolalar va ularning ishlash prinsiplari, ayniqsa, telekommunikatsiya tizimlarida, ma'lumotlarni uzatishda juda muhim rol o'ynaydi. Ularning samarali ishlashini ta'minlash uchun tolaning materiallari, diametri, uzunligi va optik xususiyatlari doimiy ravishda yaxshilanib boradi. Optik tolalar yordamida ma'lumot uzatish texnologiyalari nafaqat yuqori tezlikda va past yo'qotish bilan ma'lumot uzatishni ta'minlashga yordam beradi, balki ular yanada murakkab va yuqori talablar bilan ishlovchi tizimlarning samaradorligini oshiradi.

Optik tolaning telekommunikatsiya tizimlaridagi roli

Optik tolalar, ayniqsa, telekommunikatsiya tizimlarida alohida o'rin tutadi. Quyida ularning telekommunikatsiya sohasidagi asosiy rollarini keltirib o'tamiz:

Yuqori tezlikda ma'lumot uzatish: Optik tolalar orqali ma'lumotlar tezligi so'ngi yillarda yanada ortdi. Lazerlar yoki LEDlardan foydalangan holda, optik tolalar yuzlab gigabit/s dannyalarini uzatishga qodir. Bu esa internet, telefon aloqasi va televideniya yangiliklar, video oqimlari kabi katta hajmdagi ma'lumotlarni uzatish imkoniyatini yaratadi.

¹⁷² Rayleigh scattering - molekullar bilan o'zaro ta'siri.

Minimal signal yo'qotishlari: Optik tolalarda ma'lumot uzatishda signalning yo'qolishi minimaldir, chunki nur to'liq yansiyadi va uzoq masofalarga samarali tarzda uzatiladi. Bu optik tolalarni uzoq masofali aloqalar uchun eng yaxshi tanlovga aylantiradi.

Keng tarmoqlar va yuqori uzatish quvvati: Optik tolalar yordamida olingan yuqori uzatish quvvati va tarmoqlarni kengaytirish imkoniyati, bugungi kunda global telekommunikatsiya tizimlarining barqaror ishlashiga olib keladi. Optik tolali aloqalar, masalan, interkontinental tarmoqlarni va boshqa uzun masofali aloqa tizimlarini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega.

Kam energiya sarfi: Optik tolalar yordamida ma'lumotlarni uzatish nisbatan past energiya sarfi bilan amalga oshiriladi. Bu, ayniqsa, global miqyosda ma'lumotlarni uzatishda samarali energiya ishlatish va ekologik jihatdan toza tizimlarni yaratishga yordam beradi.

Optik tolalar va kelajakdagi rivojlanish

Kelajakda optik tolalar va ularning imkoniyatlari yanada rivojlanishi kutilmoqda. Optik tolalar hozirda telekommunikatsiya va ma'lumot uzatishning asosiy vositasi sifatida keng qo'llanilmoqda. Biroq, yangi texnologiyalar va ilmiy yutuqlar, ayniqsa fotonika va materialshunoslik sohalarida yuzaga keladigan innovatsiyalar, optik tolalar va ularning imkoniyatlarini yanada kengaytirishga olib keladi.

Birinchidan, yangi materiallar va nano-texnologiyalar yordamida ishlab chiqariladigan optik tolalar yuqori samaradorlikka ega bo'lishi mumkin. Misol uchun, nanostrukturalangan optik tolalar yanada kamroq yo'qotishlar bilan uzoq masofalarga ma'lumot uzatishni ta'minlashga yordam beradi. Shuningdek, optik tolalarni mustahkamlash va ularning fleksibilitetini oshirish uchun yangi turdagi polimerlar va kompozit materiallar ishlab chiqilishi kutilmoqda.

Ikkinchidan, fotonika sohasida yuzaga keladigan yangiliklar, optik tolalarning ma'lumot uzatish tezligini sezilarli darajada oshiradi. Fotonik texnologiyalarni rivojlantirish orqali ma'lumotlar fotonlar yordamida uzatilishi mumkin, bu esa elektronlarga nisbatan ancha tezroq va energiya tejoychi bo'ladi. Fotonlar yordamida yaratilgan optik integratsiyalashgan sxemalar esa, kompyuterlar va telekommunikatsiya tizimlarining ishlash tezligini kutilganidan ham ko'proq oshirishi mumkin. Shuningdek, kvant texnologiyalari ham optik tolalar bilan aloqada yanada yangi imkoniyatlar yaratadi. Kvant teleportatsiyasi va kvant ma'lumotlar uzatish texnologiyalarining rivojlanishi, ma'lumot xavfsizligini oshirishi va yuqori tezlikda ma'lumot almashinuvini amalga oshirish imkonini beradi. Kvant bitlarini (qubits) uzatish uchun optik tolalar ishlatilishi, ayniqsa, ilgari surilgan quantum internetga kirish imkoniyatlarini yaratadi.

Global aloqa tarmoqlari va 5G, 6G texnologiyalarining rivojlanishi optik tolalarning yanada kengroq qo'llanilishiga olib keladi. Yangi avlod mobil aloqa tizimlari, ya'ni 5G va kelajakdagi 6G tarmoqlari optik tolalarni yuqori tezlikda va keng miqyosda ishlatishni talab qiladi. Bu orqali ma'lumotlarning o'sha darajada yuqori tezlikda uzatilishi va minimal kechikishlarga erishish mumkin bo'ladi. Shu bilan birga, optik tolalar yordamida internet buyumlari tizimlarini ulashda ham inqilobiy o'zgarishlar yuz beradi. Kichik va oson

integratsiyalanadigan optik tolalar internet buyumlari qurilmalarini bir-biriga ulashda muhim rol o'ynaydi, bu esa global miqyosda raqamli tizimlarning birlashishini ta'minlaydi. Kelajakda optik tolalar nafaqat telekommunikatsiya sohasida, balki tibbiyot, sanoat va ilmiy tadqiqotlarda ham keng qo'llaniladi. Masalan, optik tolalar yordamida biotibbiy ma'lumotlarni uzatish, tibbiy monitoring tizimlarini rivojlantirish va yanada samarali sensorlar ishlab chiqish mumkin bo'ladi. Barcha bu yutuqlarni amalga oshirish uchun yanada samarali va innovatsion yondoshuvlar, yangi materiallar, fotonika va kvant texnologiyalari bo'yicha tadqiqotlarni kuchaytirish, shuningdek, yuqori tezlikda va yuqori xavfsizlikda ma'lumot uzatishni ta'minlaydigan yangi arxitekturalarni yaratish zarur bo'ladi. Bu orqali optik tolalar kelajakda global miqyosdagi raqamli infrastrukturani shakllantiradi.

XULOSA

Optik tolalar zamonaviy telekommunikatsiya tizimlarining asosi bo'lib, ular yuqori tezlikda va past yo'qotish bilan ma'lumot uzatishni ta'minlaydi. Bugungi kunda optik tolalar, internet, mobil aloqa, va videokonferensiyalar kabi xizmatlarni samarali taqdim etishda muhim rol o'ynaydi. Ularning kelajakdagi rivojlanishi, yangi ilmiy yutuqlar va texnologiyalar yordamida yanada samaraliroq bo'lishi kutilmoqda. Fotonika, nanoelektronika va metamateriallar sohalaridagi yangiliklar optik tolalarni kuchaytirish va yangi imkoniyatlar yaratishga yordam beradi.

Optik tolalar nafaqat telekommunikatsiya, balki internet buyumlari, kvant kriptografiyasi, va 5G internet tarmoqlarida ham qo'llanilib, yangi texnologiyalarni rivojlantirishga turtki beradi. Ularning rivojlanishi global aloqalar tizimlarining samaradorligini oshirish, xavfsizlikni ta'minlash va raqamli iqtisodiyotning yangi bosqichiga o'tishga imkon yaratadi. Kelajakda optik tolalar va ularning innovatsion imkoniyatlari global miqyosda aloqalarni yanada tezkor, samarali va xavfsiz qilishga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2025-yil 29-avgustdagi 550-sonli qarori, <https://lex.uz/docs/-7707795?query=internet%20tarmog%E2%80%98i#sr-1>
2. Keiser, G. (2011). *Optical fiber communications*. The McGraw-Hill Companies.
3. Hui, R. (2019). *Introduction to fiber-optic communications*. Academic Press.
4. Gerasimov, V. A., Nuriev, M. G., & Gashigullin, D. A. (2022, September). The fiber-optic communication system in the enterprise. In 2022 international Russian automation conference (RusAutoCon) (pp. 75-79). IEEE.
5. Konyshov, V. A., Leonov, A. V., Nani, O. E., Starykh, D. D., Treshchikov, V. N., & Ubaidullaev, R. R. (2023). Trends of and prospects for the development of fiber-optic communication systems. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*, 50(Suppl 4), S435-S450.
6. Keiser, G. (2021). *Fiber optic communication networks*. In *Fiber Optic Communications* (pp. 507-575). Singapore: Springer Singapore.

7. Alsharari, M., Aliqab, K., Ali, F., & Armghan, A. (2023). Integrated free-space optics and fiber optic network performance enhancement for sustaining 5G high capacity communications. *International Journal of Optics*, 2023(1), 8685686.
8. Liu, X. (2022). Enabling optical network technologies for 5G and beyond. *Journal of Lightwave Technology*, 40(2), 358-367.
9. Yao, C. K., Lin, H. P., Cheng, C. L., Chung, M. A., Lin, Y. S., Wu, W. B., ... & Peng, P. C. (2025). Fiber/Free-space optics with open radio access networks supplements the coverage of millimeter-wave beamforming for future 5G and 6G communication. *Fibers*, 13(4), 39.
10. Amiri, I. S., Rashed, A. N. Z., Jahan, S., Paul, B. K., Ahmed, K., & Yupapin, P. (2025). Technical specifications of the submarine fiber optic channel bandwidth/capacity in optical fiber transmission systems. *Journal of Optical Communications*, 45(s1), s85-s90.
11. Zhou, Q. (2022). Influence of parameters of optical fibers on optical soliton interactions. *Chinese Physics Letters*, 39(1), 010501.
12. Wang, D., Jiang, X., Song, Y., Fu, M., Zhang, Z., Chen, X., & Zhang, M. (2022). Applications of physics-informed neural network for optical fiber communications. *IEEE Communications Magazine*, 60(9), 32-37.