

**MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.09/2025.27.12.T.01.02 RAQAMLI ILMIY KENGASHI**

**MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

TURSIMURATOV SAPARNIYAZ SALAUATOVICH

**TOLALI OPTIK ALOQA LINIYALARINING ISHONCHLILIGINI
BAHOLASH MODEL VA ALGORITMLARI (QORAQALPOG'ISTON
RESPUBLIKASI MISOLIDA)**

**05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va
qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Tursimuratov Saparniyaz Salauatovich

Tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash modeli va algoritmlari
(Qoraqalpog‘iston Respublikasi misolida) 3

Турсымуратов Сапарнияз Салауатович

Модель и алгоритмы оценки надежности волоконно-оптических линий связи
(на примере Республики Каракалпакстан)..... 21

Tursimuratov Saparniyaz Salauatovich

Model and algorithms for assessing the reliability of fiber-optic communication lines
(based on the case of the Republic of Karakalpakstan)39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works 43

**MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.09/2025.27.12.T.01.02 RAQAMLI ILMIY KENGASHI**

**MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

TURSIMURATOV SAPARNIYAZ SALAUATOVICH

**TOLALI OPTIK ALOQA LINIYALARINING ISHONCHLILIGINI
BAHOLASH MODEL VA ALGORITMLARI (QORAQALPOG‘ISTON
RESPUBLIKASI MISOLIDA)**

**05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va
qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.4.PhD/T6199 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tuit.uz) va "ZiyoNet" axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	Isayev Rixsi Isoxo'jayevich texnika fanlari nomzodi, professor
Rasmiy opponentlar:	Amirsaidov Ulugbek Baburovich texnika fanlari doktori, professor Abdullayev Mirjamol Mirkomilovich texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent
Yetakchi tashkilot:	Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti

Dissertatsiya himoyasi Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.09/2025.27.12.T.01.02 raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil "3" oktabr soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (447 - raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-15).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil "24" sentabrda tarqatildi.
(2026-yil "24" sentabr 18 - raqamli reestr bayonnomasi).

B.Sh. Maxkamov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

M.S. Saitkamolov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, iqtisodiyot fanlar doktori, dotsent

K.A. Tashev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda tolali optik aloqa liniyalarini loyihalashtirish, qurish va ekspluatatsiya qilish jarayonida ularning ishonchliligini ta'minlash dolzarb ilmiy masalalardan biri hisoblanadi. Sababi global telekommunikatsiya infratuzilmasi va mamlakatlarning aloqa tizimlari va tarmoqlarida asosiy katta hajmdagi va yuqori tezlikda axborotlarni almashish muhiti sifatida tolali optik aloqa liniyalari qo'llaniladi. Ma'lumki, yuqori tezlikdagi axborot almashuvchi tolali optik aloqa liniyalari uchun ishonchlilikni baholovchi ko'rsatkich tayyorgarlik koeffitsienti 0,999 dan kam bo'lmasligi talab etiladi. Ushbu ko'rsatkichning hatto kichik miqdorda pasayishi ham aloqa xizmatlari sifatining sezilarli darajada pasayishiga olib keladi. Tadqiqotlar tayyorgarlik koeffitsientining 0,01–0,025 ga kamayishi xizmat sifati ko'rsatkichlarining 8–20 % pasayishiga sabab bo'lishini ko'rsatmoqda¹. Hozirgi kunda ekspluatatsiyadagi ayrim tolali optik aloqa liniyalari elementlari normativ xizmat muddati chegarasiga yaqinlashib, texnik ishonchlilikning pasayishi hamda nosozliklar ehtimolining ortishiga olib kelmoqda. Bunday sharoitda tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsion holatini ilmiy-amaliy baholash, shikastlanishlarni tezkor aniqlash va ishonchlilik ko'rsatkichlarini kompleks tahlil qilish telekommunikatsiya tizimlarining barqarorligini ta'minlashda strategik ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini ekspluatatsiya davrida olingan statistik va monitoring tizimidan olingan dastlabki ma'lumotlarni qayta ishlash orqali ishonchlilikni baholashga qaratilgan qator ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsion ko'rsatkichlarini hududning iqlim sharoiti, geologik xususiyatlari va ekspluatatsion omillar bilan bog'liq holda baholashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ekspluatatsion holatni aniqlash va baholashda doimiy monitoring tizimlari, diagnostika va nazorat usullari keng tatbiq etilmoqda. Jumladan, impulsli optik reflektometriya qurilmalari asosida olinadigan reflektogrammlar tolali optik aloqa liniyalaridagi nuqsonlarni masofadan aniqlash imkonini beradi va amaliyotda keng qo'llaniladi. Mazkur holatlar tolali optik aloqa liniyalarida shikastlanishlarni tezkor aniqlash, ularni aniq lokalizatsiyalash va qayta tiklash vaqtini qisqartirishga qaratilgan model va algoritmlarni ishlab chiqishni telekommunikatsiya sohasidagi dolzarb ilmiy-amaliy vazifalardan biri ekanligini ko'rsatadi.

O'zbekiston Respublikasida zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlarini qurish, modernizatsiya qilish, hamda ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining o'tkazuvchanligini oshirishga ta'minlashga qaratilgan kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi sharoitida raqamli infratuzilmaning barqarorligi va ishonchliligini ta'minlash ustuvor vazifalardan biri bo'lib, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF–6079-son Farmoni bilan tasdiqlangan “Raqamli O'zbekiston — 2030” strategiyasining 2-bob 1-bandida tolali optik aloqa liniyalarining uzluksiz ishlashi uchun ularning ishonchliligini ta'minlash va oshirish ustuvor vazifa sifatida

¹ <https://www.fcc.gov/communications-security-reliability-and-interoperability-council-ix>

belgilangan hamda tolali optik aloqa liniyalarining umumiy uzunligini 250 ming kilometrdan oshirish vazifasi qo'yilgan². Tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash uchun model va algoritmlarni ishlab chiqish telekommunikatsiya xizmatlari sifatini oshirishda muhim ahamiyatga ega.

Mazkur dissertatsiya tadqiqoti ma'lum darajada O'zbekiston Respublikasining 2024-yil 27-dekabrda "Telekommunikatsiyalar to'g'risida"gi O'RQ-1015-son Qonuni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrda PF-6079-son "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida, 2022-yil 28-yanvarda "2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son Farmonlari, Vazirlar Mahkamasining 2021-yil 19-noyabrda "O'zbekiston Respublikasi telekommunikatsiya infratuzilmasini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi 699-son Qarori, Raqamli texnologiyalar vazirligining 2026-yil 26-yanvarda "Telekommunikatsiyalar xizmatlarini ko'rsatish qoidalarini tasdiqlash to'g'risida"gi 287-mh-son buyrug'i hamda ushbu sohada qabul qilingan boshqa normativ-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni muayyan darajada amalga oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Ushbu tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. "Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash muammolari jahon ilmiy hamjamiyatida turli yondashuvlar bilan tadqiq etilgan. Xususan, optik tolalarning mexanik ta'sirlarga shidamliligi va uzoq muddatli degradatsiya jarayonlarini tadqiq qilish bo'yicha M. Matthewson, W. Griffioen, M. Barnoski, X. Gu, M. Sablatashlar tomonidan fundamental tadqiqotlar olib borilgan bo'lib, ular asosan optik tolalarning eskirish mexanizmlari va mustahkamlik ko'rsatkichlarini aniqlashga qaratilgan. Optik kabellarni ishlab chiqarish texnologiyasi, ishonchlilik parametrlarini optimallashtirish va ekspluatatsion omillarning ta'sirini baholash masalalari G. Glaesemann, R. Castilone, T. Hanson, D. Walter hamda K. Dallas, B. Zimmermann, H. Hanafusa, M. Fukudalar tomonidan tadqiqotlar olib borilgan. Optik tolalarda signal so'nishi, reflektometrik diagnostika va shikastlanishlarni aniqlash algoritmlarini takomillashtirish yo'nalishida A. Nakamura, K. Okamoto, Y. Koshikiya, T. Manabe, K. Xu, Ch. Yuan va boshqa olimlar ilmiy izlanishlar olib borgan.

MDH davlatlari olimlari V.N. Gordienko, E. Alekseev, V. Kruxmalev, M. Boev, I. Grodnev, E. Protonov, Yu. Larin va boshqalar tomonidan esa optik aloqa tarmoqlarining ekspluatatsion ishonchliligini baholash, nosozliklarni aniqlash va matematik modellashtirish masalalari ishlab chiqilgan.

Respublikamiz olimlari R. I. Isayev, I.R. Berganov, T.N. Nishonboyev, U.B. Amirsaidov, D.A. Davronbekov, R.X. Djuraev, Sh.Yu. Djabbarov va boshqalar tomonidan telekommunikatsiya tarmoqlarining ishonchlilik ko'rsatkichlarini

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 5 oktabrdagi "“Raqamli O'zbekiston — 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PF-6079-son Farmoni

oshirish, monitoring tizimlarini takomillashtirish hamda diagnostika usullarini rivojlantirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilgan.

Olib borilgan tadqiqotlar tahlili natijalari shuni ko'rsatdiki, tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsiyasida ishonchlilikni monitoring tizimlaridan olingan dastlabki ma'lumotlar yordamida baholash, ayniqsa keskin kontinental iqlim sharoitida ekspluatatsiyadagi tolali optik aloqa liniyalari ishonchliligini baholash modeli, algoritmlari va ularni ishonchliligini baholashning analitik ifodalarini ishlab chiqish hamda amaliyotga tadbqiq qilish muammolari batafsil o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Ushbu dissertatsiya tadqiqoti FL-8824063289-R5 "Telekommunikatsion optik tola asosida kombinatsiyalangan datchiklarni yaratish tamoyillari" (2025-2027) mavzusidagi fundamental loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi tolali optik aloqa liniyalarining diagnostika va monitoring tizimlaridan olingan dastlabki ma'lumotlarni qayta ishlash orqali ekspluatatsion ishonchliligini baholash modeli va algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash va ekspluatatsion holatini nazorat qilish monitoring tizimlarini tashkil etish usullarini tahlil qilish;

optik reflektometr moduli yordamida monitoring qilinadigan tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsion ishonchliligini shikastlanishlarni aniqlash va ularni lokalizatsiyalash vaqtini qisqartirish orqali statistik modellarga asoslangan ishonchlilikni baholash usulini takomillashtirish;

tolali optik aloqa liniyalarining texnik ekspluatatsiyasi jarayonida olingan reflektogrammalarni qayta ishlash orqali liniyadagi hodisalarni aniqlash hamda shikastlanish joyini lokalizatsiyalash aniqligini oshiruvchi matematik modelni ishlab chiqish;

reflektogrammalarni qayta ishlash yordamida liniyadagi hodisalarni avtomatik aniqlash algoritmini takomillashtirish;

reflektogrammalarni qayta ishlash orqali shikastlanish joyini lokalizatsiyalash aniqligini oshiruvchi algoritmni takomillashtirish.

Tadqiqotning obyekti sifatida magistral optik transport tarmoqlarining to'g'ridan-to'g'ri yerga yotqizilgan tolali optik aloqa liniyalari olingan.

Tadqiqotning predmetini tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsiyasi davrida statistik hamda o'lchov-nazorat qurilmalari yordamida olingan dastlabki ma'lumotlar tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida optik aloqa nazariyasi, matematik tahlil va modellashtirish, raqamli signalni qayta ishlash, konvolyutsiya va korrelyatsiya usullari, diskret va uzluksiz Veyvlet tahlili, statistik tahlil va ehtimollik nazariyasi, shuningdek, reflektogrammalarini eksperimental tahlil qilish usullaridan foydalanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

tolali optik aloqa liniyalarini optik reflektometr moduli yordamida monitoring va diagnostika qilish jarayonida olingan reflektogrammalarni qayta ishlash asosida

ekspluatatsion holatni baholash va qayta tiklash vaqtini kamaytirish orqali ishonchlilikni oshirish imkonini beruvchi usul takomillashtirilgan;

reflektogrammalarni qayta ishlashda konvolyutsiya amaliga asoslangan hodisalarni aniqlash va shikastlanish joyini lokalizatsiyalash aniqligini oshirish imkonini beruvchi analitik model ishlab chiqilgan;

Veyvlet almashtirishlari yordamida reflektogrammalarni qayta ishlashda shovqinlarni filtrlash asosida hodisalarni avtomatik aniqlash orqali tolali optik aloqa liniyasining ekspluatatsion holatini baholash imkonini beruvchi algoritmi takomillashtirilgan;

Veyvlet almashtirishlari yordamida reflektogrammalarni qayta ishlashda shikastlanish joyini mashtablash asosida lokalizatsiyalash aniqligini oshirish orqali qayta tiklash vaqtini kamaytirish imkonini beruvchi algoritmi takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

tolali optik aloqa liniyalari monitoring tizimi yordamida olingan reflektogrammalardagi xarakterli o'zgarishlarni tahlil qilish, hodisalarni avtomatik ravishda ajratib olish hamda shikastlanish nuqtasining koordinatasini aniqlash imkonini beruvchi dasturiy vosita ishlab chiqilgan;

tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsiyasi jarayonida olingan shikastlanishlar bo'yicha statistik ma'lumotlar asosida ishonchlilik ko'rsatkichlarini baholash imkonini beruvchi dasturiy vosita ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi qo'yilgan muammoning matematik jihatdan aniq ifodalanishi, taklif etilgan model va algoritmlarning boshqa zamonaviy usullar bilan miqdoriy hamda sifat jihatidan taqqoslanishi orqali olingan aniq va samarali natijalar, dasturiy mahsulotning ishlab chiqilishi, shuningdek, amaliy natijalarni tasdiqlovchi joriy etilganlik to'g'risidagi dalolatnomalar bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati, keskin kontinental iqlim sharoitida tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash uchun reflektogramma signallarini konvolyutsiya asosida qayta ishlashga yo'naltirilgan matematik model, reflektogrammalardagi shovqin ta'sirini kamaytirish, hodisalarni aniqlash hamda shikastlanish joylarini lokalizatsiyalash aniqligini oshirishga mo'ljallangan algoritmlar va optik reflektometr moduli yordamida olingan monitoring tizimi ma'lumotlari asosida tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsion ishonchliligini baholashning takomillashtirilgan usuli ishlab chiqilganligi bilan baholanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati tolali optik aloqa liniyalarida shikastlanishlarni lokalizatsiyalash aniqligini oshirish hamda qayta tiklash jarayonlarining tezkorligini ta'minlash imkonini beruvchi model va algoritmlarning ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsion holati va ishonchliligini baholash modeli va algoritmlari bo'yicha olingan natijalar asosida:

tolali optik aloqa liniyalarini optik reflektometr moduli yordamida monitoring va diagnostika qilish jarayonida olingan reflektogrammalarni qayta ishlash asosida ekspluatatsion holatni baholash va qayta tiklash vaqtini kamaytirish orqali

ishonchlilikni oshirish imkonini beruvchi takomillashtirilgan usul “O‘zbektelekom” AK Shimoliy filialida joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2025-yil 4-dekabrda 33-8/9092-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, shikastlanishlarni aniqlash, lokalizatsiyalash va nosozliklarni qayta tiklash vaqtini qisqartirish hisobiga tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsion ishonchlilik ko‘rsatkichi, ya’ni tayyorgarlik koeffitsiyentini o‘rtacha 6 % ga oshirish imkonini bergan;

reflektogrammalarni qayta ishlash yordamida konvolyutsiya amaliga asoslangan hodisalarni aniqlash hamda shikastlanish joyini lokalizatsiyalash aniqligini oshirish imkonini beruvchi analitik model Fan-texnika va marketing tadqiqotlari markazi “UNCON.UZ” MChJda joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2025-yil 4-dekabrda 33-8/9092-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini hamda ularning ekspluatatsion samaradorligini oshirish bo‘yicha ishlab chiqilgan model amalda bo‘lgan me‘yoriy hujjatlarda foydalanish va takomillashtirish imkonini bergan;

Veyvlet almashtirishlari yordamida reflektogrammalarni qayta ishlashda shovqinlarni filtrlash asosida hodisalarni avtomatik aniqlash orqali tolali optik aloqa liniyasining ekspluatatsion holatini baholash imkonini beruvchi takomillashtirilgan algoritm “O‘zbektelekom” AK Shimoliy filialida joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2025-yil 4-dekabrda 33-8/9092-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, tolali optik aloqa liniyalarida hodisalar, anomal nuqtalar va shikastlanishlarni aniqlash samaradorligini 14 % ga oshirish imkonini bergan;

Veyvlet almashtirishlari yordamida reflektogrammalarni qayta ishlashda shikastlanish joyini mashtablash asosida lokalizatsiyalash aniqligini oshirish orqali qayta tiklash vaqtini kamaytirish imkonini beruvchi takomillashtirilgan algoritm “O‘zbektelekom” AK Shimoliy filialida joriy etilgan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2025-yil 4-dekabrda 33-8/9092-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, shikastlanish joylarini lokalizatsiyalash aniqligini 10 % ga oshirishga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 4 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalar hamda ilmiy seminarlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo‘yicha 22 ta ilmiy ishlar, ulardan 9 ta ilmiy maqola O‘zbekiston Respublikasi OAK tavsiya etgan jurnallarda, shu jumladan 2 ta xorijiy, 7 ta respublika miqyosidagi jurnallarda chop etilgan, hamda 2 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd etish to‘g‘risidagi guvohnomalar olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati hamda ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 120 sahifani tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning

maqsadi va vazifalari belgilangan, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan hamda ularning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, shuningdek, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish holati, eʼlon qilingan ilmiy ishlar hamda dissertatsiyaning tuzilishi toʻgʻrisidagi maʼlumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash usullari tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida tolali optik aloqa liniyalarining (TOAL) tuzilishi, parametrlari va xarakteristikalar, xalqaro standartlar talablari, shuningdek keskin kontinental iqlim sharoitida ekspluatatsiya omillarining kabel elementlariga taʼsiri hamda optik reflektometr qurilmasi (OTDR) yordamida monitoringi va veyvlet tahlilga tayangan diagnostika yondashuvlari tahlil qilingan, masalaning qoʻyilishi bayon etilgan.

TOAL ishonchliligini oshirish masalasi, amaliy ekspluatatsiya jarayonida liniyaning ishchi holatda boʻlish ehtimolini maksimal darajaga yetkazish hamda nosozlik yuzaga kelganda uni tiklashga ketadigan umumiy vaqtni minimal qiymatga keltirish zarurati bilan belgilanadi. Shu nuqtayi nazardan optimallashtirish masalasi quyidagicha qoʻyiladi

$$K_t \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$t_{q.t.} = \sum_{j=1}^M t_j \rightarrow \min, \quad (2)$$

bu yerda K_t – TOALning tayyorgarlik koeffitsienti (yaʼni tasodifiy vaqt momentida tizimning ishchi holatda boʻlish ehtimolini ifodalovchi integral koʻrsatkich), t_j – j -nosozlikni bartaraf etish (qayta tiklash) uchun sarflangan vaqt, M – kuzatuv davrida qayd etilgan nosozliklar soni.

TOAL ishonchliligini baholashda monitoringdan olinadigan maʼlumotlar hamda reflektogramma signallarining raqamli tahlili asosiy axborot manbai boʻlib xizmat qiladi. Shu sababli liniyaning ishonchlilik koʻrsatkichi monitoring va signal tahlili natijalariga bogʻliq holda funksional koʻrinishda ifodalanadi

$$R = f(W(a, b), y(t)), \quad (3)$$

bu yerda R – TOAL ishonchlilik koʻrsatkichi, $W(a, b)$ – reflektogramma signallarining veyvlet tahlili natijasida hosil boʻladigan koeffitsientlar (masshtab a va siljitish b parametrlari bilan), $y(t)$ – monitoring jarayonida oʻlchanadigan optik signal quvvati, yoʻqotish va soʻnish parametrlari ketma-ketligi. Vevelet almashtirishlari yordamida koʻp masshtabli tahlil signal tarkibidagi lokal oʻzgarishlarni aniqlashga imkon beragani uchun linyadagi signal quvvatining kichik oʻzgarishi va degradatsiya jarayonlarini erta bosqichda aniqlash imkonini beradi.

TOALning tayyorlik koeffitsienti tizimning ishlash va tiklash intervallari nisbatiga asoslanadi hamda kuzatuv davri boʻyicha quyidagicha aniqlanadi

$$K_t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{j=1}^M t_j}, \quad (4)$$

bu yerda t_i – i -ishlash intervalining davomiyligi (liniya ishlash holatida boʻlgan vaqt), t_j – nosozlikdan keyingi qayta tiklash vaqti, Mazkur nisbat shuni anglatadiki,

tiklashga ketadigan vaqtlar yig'indisi qancha kichik bo'lsa, K_t niqng qiymati shuncha yuqori bo'ladi.

Tiklash jarayonining davomiyligi bir nechta tarkibiy vaqtlar yig'indisi sifatida qaraladi, chunki amaliy sharoitda tiklash faqat ta'mirlashdan iborat emas, balki aniqlash, bartaraf etish, tekshirish hamda tashkiliy kechikishlarni ham o'z ichiga oladi. Shuning uchun tiklash vaqti quyidagicha dekompozitsiya qilinadi

$$t_j = t_q + t_{b.e.} + t_{tek.} + t_{tex.k.}, \quad (5)$$

bu yerda t_q – nosozlikni aniqlash (qidirish) vaqti, $t_{b.e.}$ – nosozlikni bartaraf etish vaqti, $t_{tek.}$ – liniya funksionalligini tekshirish vaqti, $t_{tex.k.}$ – texnik va tashkiliy kechikishlar (brigada yetib kelishi, ruxsatnomalar, logistika, ehtiyot qismlar va boshqalar).

Monitoring va intellektual tahlil tizimi joriy etilganda tiklash davomiyligi sezilarli darajada qisqarishi mumkin, chunki nosozlikni aniqlash jarayoni avtomatlashtiriladi, joylashuv aniqligi oshadi va harakatlar ketma-ketligi optimallashtiriladi. Buni matematik jihatdan hisobga olish uchun optimallashtirilgan kutilayotgan tiklash vaqti ehtimollik modeli asosida quyidagicha beriladi

$$t'_j = (1 - P)t_j + P(t_a + t_t), \quad (6)$$

bu yerda t'_j - monitoring tizmi mavjud sharoitda kutilayotgan (optimallashtirilgan) qayta tiklash vaqti, P – nosozlikni avtomatik aniqlash ehtimolligi, t_a – shikastlanishni avtomatik aniqlash vaqti, t_t – shikastlanishni avtomatik toppish vaqti. Shu holatda tayyorlik koeffitsienti ham monitoring ta'sirini bevosita aks ettiradi va quyidagicha yoziladi

$$K_t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{j=1}^M t'_j}, \quad (7)$$

Demak, TOAL ishonchliligini oshirishning formal maqsadi qayta tiklash vaqtini minimallashtirish orqali kompleks ishonchlilik ko'rsatkichi bo'lgan tayorgarlik koeffitsientini maksimal darajaga yetkazishdan iborat bo'lib, bunga monitoring tizimidan olingan dastlabki ma'lumotlari reflektogrammalarni veyvlet almashtirishlari yordamida tezkor qayta tahlil qilish hamda intellektual qarorlar qabul qilish algoritmlarini joriy qilish orqali erishiladi.

Dissertatsiyaning **“Tolali optik aloqa tarmoqlarini monitoring qilish tizimlari va usullari”** deb nomlangan ikkinchi bobida tolali optik aloqa tarmoqlarini monitoring qilish tizimlarini tashkil etish tamoyillari, ularning arxitekturasini va asosiy funksional elementlari tahlil qilingan. Zamonaviy yuqori tezlikli DWDM optik tarmoqlarda uzatish sifati ko'rsatkichlariga qo'yiladigan talablarning ortishi tarmoq holatini real vaqtga yaqin rejimda uzluksiz nazorat qilish zarurligini keltirib chiqarishi asoslangan. Monitoring tizimlarining tarmoq nosozliklarini erta aniqlash, avariya holatlarining oldini olish va ekspluatatsiya samaradorligini oshirishdagi ahamiyati yoritilgan.

Shuningdek, optik ko'rsatkichlarni monitoring qilish (OPM) texnologiyasi hamda OTDR asosidagi nazorat usullarining ishlash prinsiplari ko'rib chiqilgan. Optik signal quvvati, OSNR, kanal to'liq uzunligi va Q-koeffitsient kabi

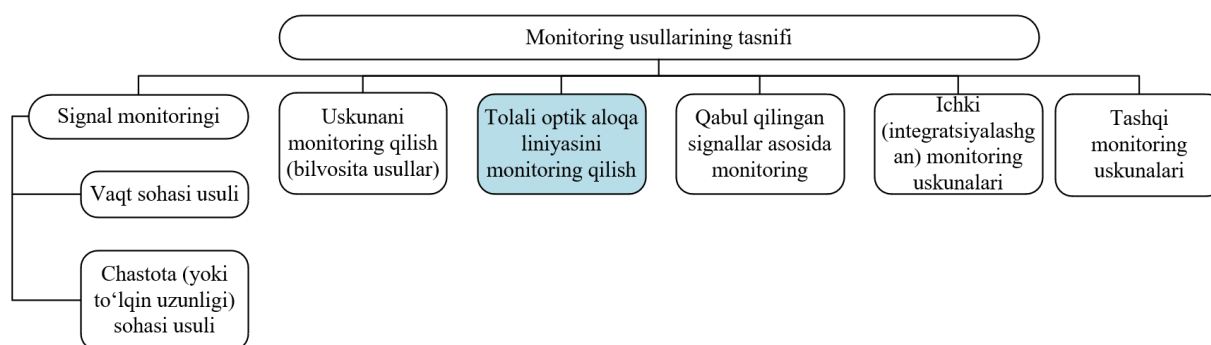
parametrlarni monitoring qilish orqali tolali optik aloqa liniyalarida yuzaga keladigan soʻnishlar, shikastlanishlar va degradatsiya jarayonlarini dastlabki bosqichlarda aniqlash imkoniyatlari tahlil qilingan.

1-jadval

Optik aloqa tarmoqlarida monitoring qilinadigan asosiy parametrlar va ularning son qiymatlari (ITU-T G.697)

Optik parametr	Oʻlchov birligi	Qiymatlar diapazoni
Kanal quvvati	dBm	-25 ... +5 dBm
Umumiy quvvat	dBm	-10 ... +20 dBm
OSNR	dB	15 ... 30 dB
Kanal toʻlqin uzunligi	nm	1528,77 ... 1565,50 nm
Q-koeffitsient	dB	6 ... 20 dB

Optik transport tarmoqlarida monitoring usullari signal sifati va uskunaning ishlash holatini baholashda muhim oʻrin tutadi. ITU tavsiyalariga koʻra, monitoring yondashuvlari bir nechta guruhlarga ajratiladi (1-rasm) va har bir guruhning oʻziga xos afzallik hamda cheklavlari mavjud.



1-rasm. Optik transport tarmoqlarida monitoring usullari

2-jadvalda tolali optik transport tarmoqlarida qoʻllaniladigan monitoringi usullari, ularning nazorat qilinadigan parametrlar va son qiymatlari berilgan.

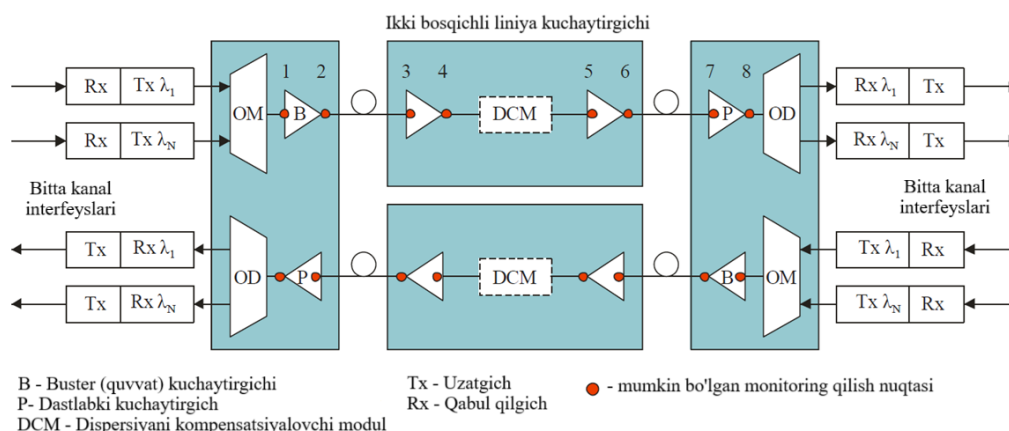
2-jadval

Tolali optik transport tarmoqlarida monitoringi usullari tahlili

Monitoring usuli	Asosiy parametr	Tezlik diapazoni	Son qiymati
Vaqt sohasi	BER	≤ 10 Gbit/s	$BER \approx 10^{-9}$
Chastota sohasi	Kanal quvvati	10–400 Gbit/s	-25 ... +5 dBm
Uskuna monitoringi	Lazer harorati	Barcha	20–70 °C
OTDR asosida	Soʻnish/masofa	Barcha	± 1 –5 m
DSP	OSNR	$\geq 40/100$ Gbit/s	≥ 20 –25 dB
Ichki monitoring	Quvvat ogʻishi	Barcha	± 1 dB
Tashqi monitoring	OSNR aniqligi	Barcha	± 0.5 dB

2-rasmda WDM texnologiyasi asosida ishlovchi uzatish tizimining tipik segmenti va undagi tashqi monitoring uskunalarining joylashuvi koʻrsatilgan. Tizim ikki yoʻnalishli optik uzatish kanalidan iborat boʻlib, har bir yoʻnalishda uzatish (Tx) va qabul qilish (Rx) interfeyslari mavjud. Kanallar OM (Optik Multipleksor) orqali birlashtirilib, uzatish liniyasiga yuboriladi. Har bir tarmoq boʻgʻinida ikki bosqichli

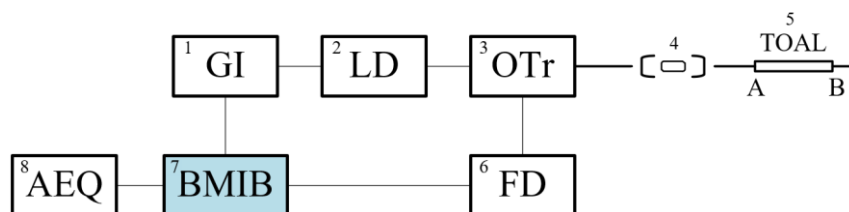
liniya kuchaytirgichi o'rnatilgan bo'lib, u quvvat (B) va dastlabki kuchaytirgich (P) modullaridan tashkil topgan. Ushbu kuchaytirgichlar orasida DCM (dispersion kompensatsiya moduli) joylashgan bo'lib, u impulslarning cho'zilishini kamaytiradi va signal shaklini saqlab qoladi.



2-rasm. DWDM tarmoq segmentlarida tashqi monitoring uskunalarining joylashuvi

Diagrammadagi qizil nuqtalar tarmoqda tashqi monitoringni amalga oshirish mumkin bo'lgan joylarni bildiradi. Bu nuqtalarda OTDR yoki boshqa tashqi optik monitoring uskunalari ulanib, signalning orqaga qaytgan komponentasi (Reley yoki Frenel refleksi) orqali optik liniyaning holati nazorat qilinadi. Monitoring nuqtalari odatda quyidagi segmentlarda joylashadi: OM va quvvat kuchaytirgich orasida — uzatish chiqish quvvatini nazorat qilish uchun; har bir liniya kuchaytirgichi chiqishida — signalning yo'qotishlari va kuchaytirish darajasini o'lchash uchun; DCM moduli oldi va ortida — dispersiya kompensatsiyasi samaradorligini aniqlash uchun; Qabul qilish blokidan oldin (OD) — yakuniy optik quvvat, OSNR va Q-koeffitsientni tahlil qilish uchun.

Amaliyotda TOALni monitoring qilishda vaqt sohasida ishlaydigan optik reflektometrlar (OTDR) keng qo'llaniladi. Bunday reflektometrning soddalashtirilgan tuzilish sxemasi 3-rasmda keltirilgan.

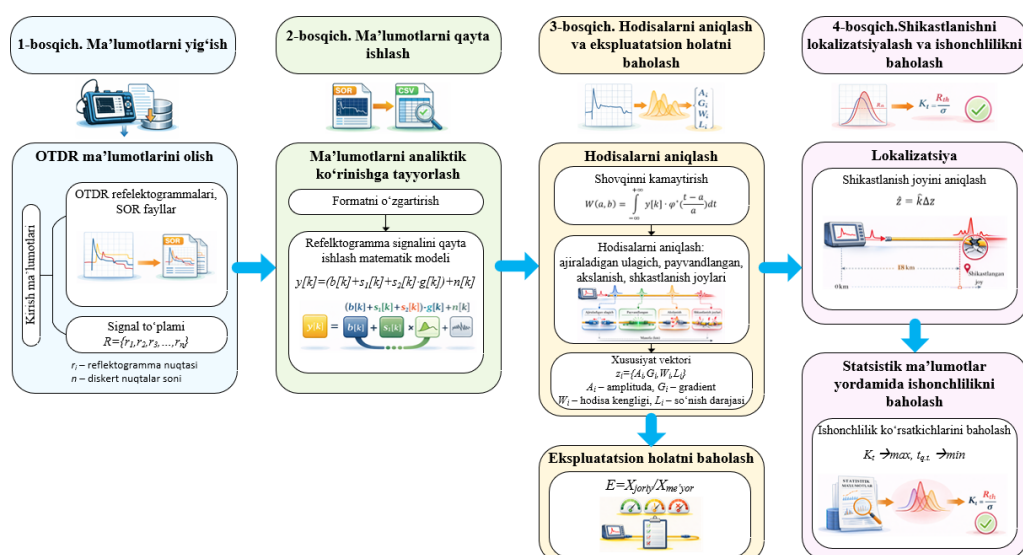


3-rasm. Vaqt sohasida ishlaydigan optik reflektometrning strukturaviy sxemasi

Bu yerda: 1- zondlovchi impuls generatori (GI); 2- optik nurlanish manbai (lazer diod – LD); 3- optik tarmoqlagich – OTr; 4-optik ulagich – OU; 5-sinovdagi TOAL; 6-fotoqabulqilgich qurilmasi (FD); 7- boshqarish va matematik ishlov berish bloki – BMIB; 7- aks ettirish qurilmasi AEQ.

TOALning ishonchliligini baholash uchun taklif etilgan takomillashtirilgan usul OTDR reflektogrammalarini matematik qayta ishlash, hodisalarni avtomatik

aniqlash va statistik tahlil natijalarini birlashtirishga asoslangan (4-rasm). Usulning asosiy maqsadi optik liniyada yuzaga kelayotgan degradatsiya va shikastlanishlarni erta aniqlash hamda ularning ishonchlilik ko'rsatkichlariga ta'sirini baholashdan iborat.



4-rasm. TOAL ekspluatatsion holati va ishonchliligini baholash uchun ishlab chiqilgan takomillashtirilgan usuli

Taklif etilgan usulning yangiligi shundaki, unda reflektogramma signalini oddiy vizual tahlil qilish o'rniga matematik modellashtirish, veyvlet tahlili va statistik baholash usullari kompleks qo'llaniladi.

Dissertatsiyaning **“Tolali optik aloqa liniyalarida hodisalarni aniqlash va lokalizatsiyalash modeli va algoritmlari”** deb nomlangan uchinchi bobida TOAL holatini baholash hamda yuzaga keladigan shikastlanishlarni aniqlash va ularning joylashuvini aniqlashtirishga mo'ljallangan monitoringga asoslangan model va algoritmlar ishlab chiqilgan. Tadqiqotda OTDR yordamida olingan reflektogrammalar matematik qayta ishlanib, shovqindan tozalash uchun veyvlet almashtirishlar, hodisalarni aniqlash va lokalizatsiya aniqligini oshirish uchun esa konvolyutsion filtratsiya va diskret interpolatsiya qo'llanilgan.

Optik signalni qayta ishlash jarayoni BMIB blokida amalga oshiriladi. Optik signalni zondlash va reflektogrammani hosil qilish matematik modeli, optik tolaning yaqin uchida o'lchanadigan teskari oqim quvvatini teskari sochilgan oqim quvvatlari (Reley va Frenel akslanishlari) $s_1(t)$ va $s_2(t)$, qaytgan oqim $f(t)$ va xalaqit quvvati yig'indisi $v(t)$ ko'rinishida ifodalash mumkin.

$$y(t) = f(t) + s_1(t) + s_2(t) + v(t). \quad (8)$$

OTDR o'lchov natijalari odatda SOR formatda saqlanadi. SOR fayl reflektogramma amplituda profili bilan birga o'lchov parametrlari va metama'lumotlarni o'z ichiga oladi. Tadqiqotda reflektogramma qiymatlari SOR formatdan ajratilib, matematik tahlil uchun qulay bo'lgan CSV ko'rinishiga o'tkazildi. Konvertatsiyadan so'ng reflektogramma diskret signal sifatida qaraldi

$$y[k], k = 0, 1, \dots, N - 1. \quad (9)$$

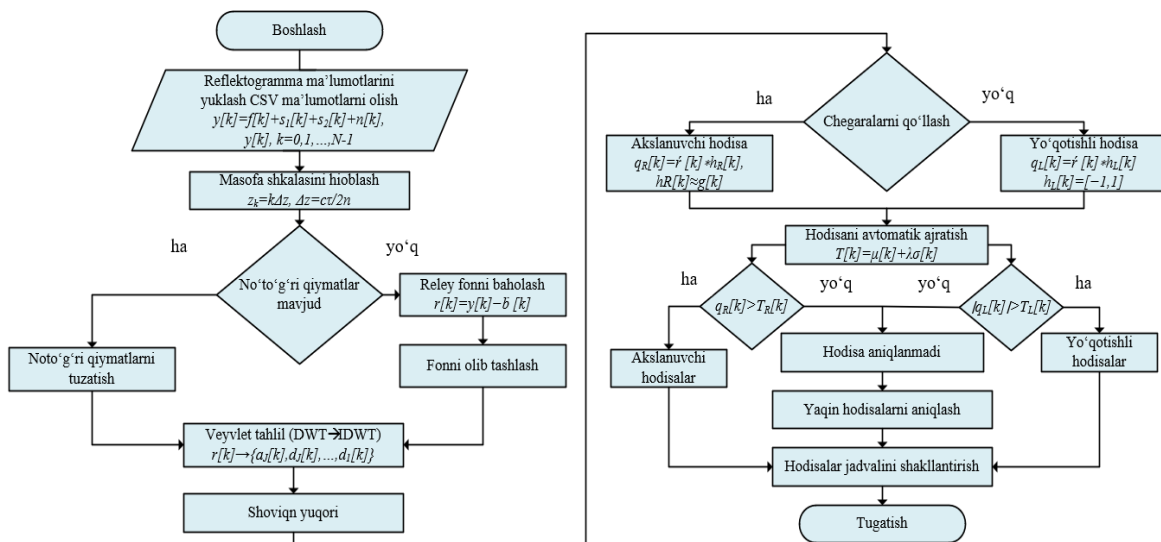
TOAL reflektogrammlarida shikastlanishlarni aniqlash va lokalizatsiyalash uchun konvolyutsiya va veyvlet asosidagi diskret qayta ishlash modeli taklif etildi. OTDR signali konvolyutsion kuzatuv modeli bilan ifodalanadi

$$y[k] = (b[k] + s_1[k] + s_2[k]) * g[k] + n[k], \quad (10)$$

bu yerda $b[k]$ — Reley sochilish fon komponenti, $s_1[k]$ — yo‘qotishli hodisalar, $s_2[k]$ — akslanish hodisalar, $g[k]$ — OTDR impuls javobi, $n[k]$ — additiv shovqin $*$ — konvolyutsiya amalini bildiradi.

Mazkur model reflektogrammaning fizik shakllanish jarayonini to‘liq ifodalaydi: foydali signal fon komponenti va hodisalar yig‘indisidan iborat bo‘lib, u o‘lchov tizimining impuls javobi bilan konvolyutsiyalanadi hamda shovqin bilan buziladi. Taklif etilgan yondashuvda avval reflektogrammadan fon komponenti ajratib olinadi, so‘ng konvolyutsion filtratsiya yordamida akslanish va yo‘qotishli hodisalar aniqlanadi. Shovqin ta‘sirini kamaytirish uchun diskret veyvlet almashtirish asosida ko‘p masshtabli filtrlash qo‘llanildi. Hodisalar koordinatasi esa maksimum atrofida interpolatsiya orqali aniqlashtirildi. Natijada konvolyutsion filtratsiya va veyvlet asosidagi shovqindan tozalashni birgalikda qo‘llash reflektogrammlarda shikastlanishlarni ishonchli aniqlash hamda ularning joylashuvini yuqori aniqlikda baholash imkonini berdi. Taklif etilgan matematik model TOAL monitoring tizimlarida amaliy qo‘llash uchun samarali hisoblanadi.

Reflektogrammlarda hodisalarni avtomatik aniqlash algoritmi (5-rasm) OTDR reflektogrammlarida yuzaga keladigan akslanish va yo‘qotishli hodisalarni inson ishtirokisiz aniqlashga mo‘ljallangan.

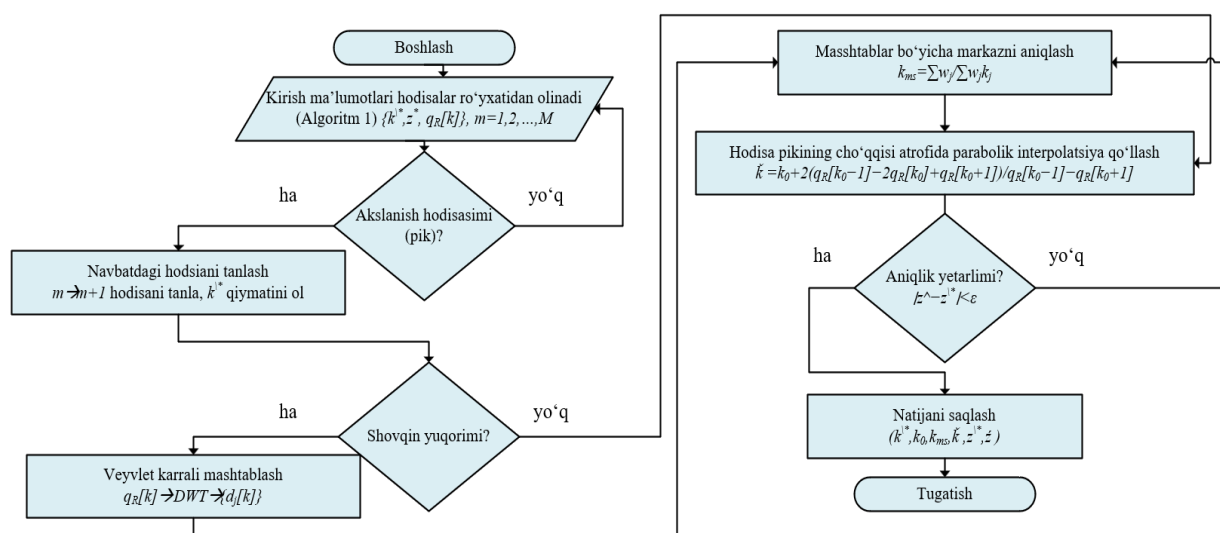


5-rasm. Reflektogrammlarda hodisalarni avtomatik aniqlash algoritmi blok-sxemasi

Algoritm reflektogrammaning konvolyutsion modeli asosida fon trendini kompensatsiya qiladi, shovqinni veyvlet denoising orqali kamaytiradi hamda

konvolyutsion filtrlar va adaptiv thresholdlar yordamida hodisalarni ishonchli tarzda aniqlaydi.

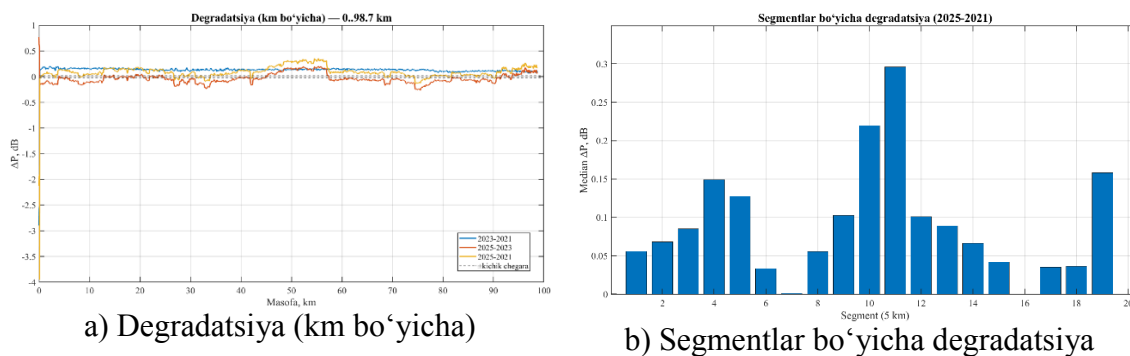
Shikastlangan joylarni yuqori aniqlikda lokalizatsiyalash algoritmi (6-rasm) avtomatik aniqlangan hodisalar asosida shikastlanish joyining masofa bo'yicha koordinatasini diskretlash qadamidan yuqori aniqlikda baholashni ta'minlaydi. Algoritm deteksiya signalining maksimumi atrofida sub-diskret interpolatsiya qo'llab, shikastlanish koordinatasini aniqlashtiradi va lokalizatsiya xatosini sezilarli darajada kamaytiradi.



6-rasm. Shikastlanish joyi lokalizatsiyasi aniqligini oshirish algoritmi blok-sxemasi

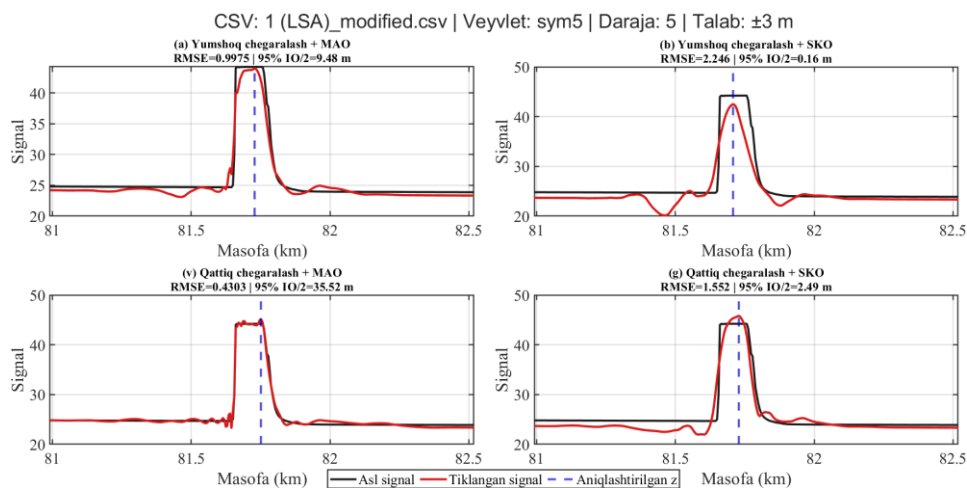
Taklif etilgan algoritmlar reflektogrammalarda hodisalarni avtomatik aniqlash va shikastlangan joylarni yuqori aniqlikda lokalizatsiyalash imkonini berib, TOAL ekspluatatsion ishonchliligini oshiradi.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqotning amaliy natijalari va ular asosida tolali optik aloqa liynasi ishonchliligini baholash”** deb nomlangan to'rtinchi bobida Qoraqalpog'iston Respublikasidagi Qo'ng'iroq–Mo'ynoq yo'nalishida joylashgan 98,7 km magistral TOAL misolida OTDR reflektogrammalarini amaliy qayta ishlash natijalari asosida liniya ishonchliligini baholash yondashuvi ishlab chiqildi. Reflektogrammalar MATLAB muhitida veyvlet asosida qayta ishlanib, liniya segmentlar bo'yicha tahlil qilindi, hodisalar va degradatsiya jarayonlari aniqlandi hamda shikastlanish joylari ± 5 m aniqlikda lokalizatsiya qilinishi ko'rsatildi. Natijada taklif etilgan yondashuv uzilishlarni aniqlash va tiklash vaqtini qisqartirish orqali TOALning umumiy ishonchlilik ko'rsatkichlarini oshirishini amaliy jihatdan tasdiqladi. Reflektogrammalarni qayta ishlash orqali TOALda veyvlet o'zgartirishlari tahlili yordamida hodisalarni aniqlash tadqiqot ishlarida tanlangan linyaning ekspluatatsiyasidagi 2011-2025 yillarda oralig'da olingan reflektogrammalar asosida amalga oshiriladi. Tadqiqotda dastlab ushbu reflektogrammalar MATLAB dasturida qayta ishlab dastlabki ma'lumotlarni shakllantirib olinadi. Filtrlangan reflektogrammalar 0–98,7 km masofa bo'yicha bir xil oynaga keltirilib, yillar bo'yicha ΔP farqlar chiziqli grafikda taqqoslandi va $\pm 0,02$ dB chegarasi bilan baholandi (7-rasm).



7-rasm. TOAL degradatsiyasi baholanishi

8-rasmda shikastlanish oynasida signalni qayta tiklash jarayoni natijalari batafsil ko'rsatilgan. Ushbu rasmda boshlang'ich reflektogramma signali hamda qayta ishlov berilgan signalning o'zaro taqqoslanishi keltiriladi. Boshlang'ich signal tarkibida turli xil tashqi va ichki omillar ta'sirida yuzaga kelgan shovqin komponentlari mavjud bo'lib, ular foydali signalni tahlil qilishni murakkablashtiradi. Ayniqsa, reflektogrammadagi hodisa cho'qqilarining aniq ajralib ko'rinishi shikastlanish joyini aniqlash aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli signalni qayta ishlash bosqichi reflektometrik tahlilda muhim ahamiyatga ega hisoblanadi. Rasmda keltirilgan natijalarga ko'ra, veyvlet asosidagi filtrlash usuli qo'llanilgandan so'ng signal tarkibidagi shovqin darajasi sezilarli ravishda kamayganligi kuzatiladi. Filtrlash jarayonida signalning foydali qismlari saqlab qolinganda keraksiz yuqori chastotali shovqin komponentlari susaytirilgan.

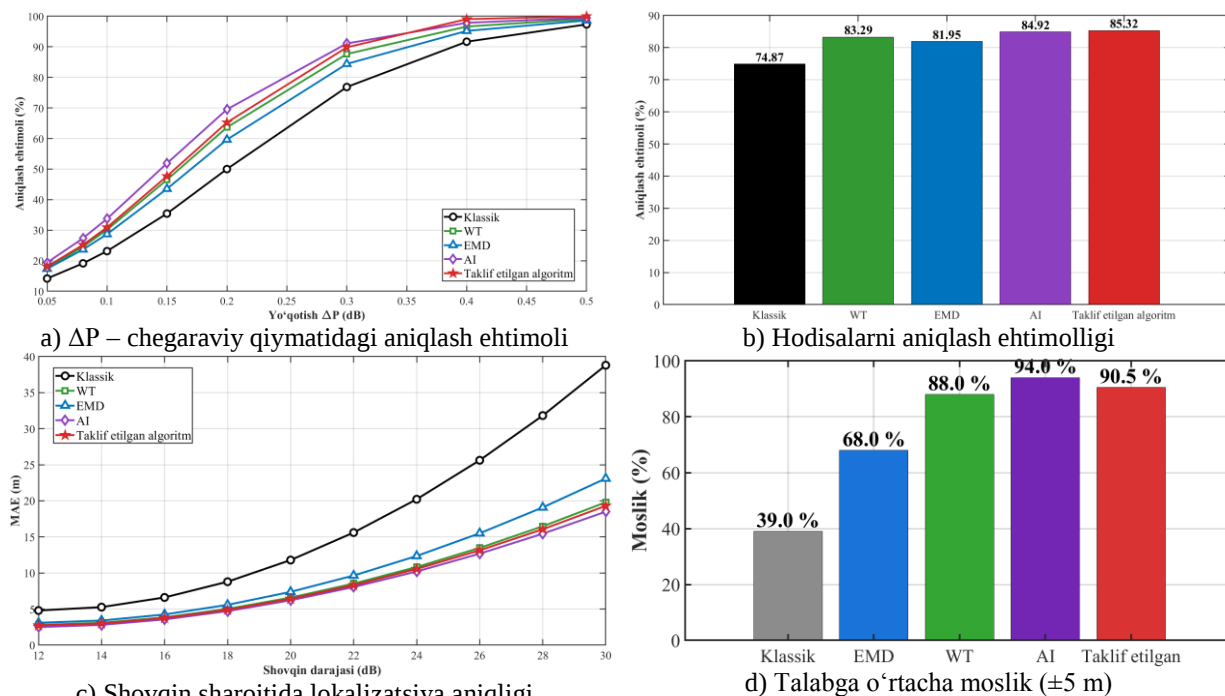


8-rasm. Shikastlanish oynasida signalni tiklash natijalari

Keyingi bosqicha Monte-Karlo modellash asosida algoritmnining barqarorligi statistik jihatdan baholandi. Turli shovqin darajalarida lokalizatsiya aniqligi taqsimoti hamda 95 % ishonch oralig'i natijalari keltirilgan. Tahlil natijalariga ko'ra, SKO asosidagi variantlarda lokalizatsiya xatosi ± 5 m talabidan oshmaydi. Bu taklif etilgan algoritmnining barqarorligi va amaliy qo'llashga yaroqliligini tasdiqlaydi.

TOALning ishonchligini baholashga mo'ljallangan ishlab chiqilgan model va algoritmlarning samaradorligi tajribaviy tadqiqotlar asosida tahlil qilindi. Turli

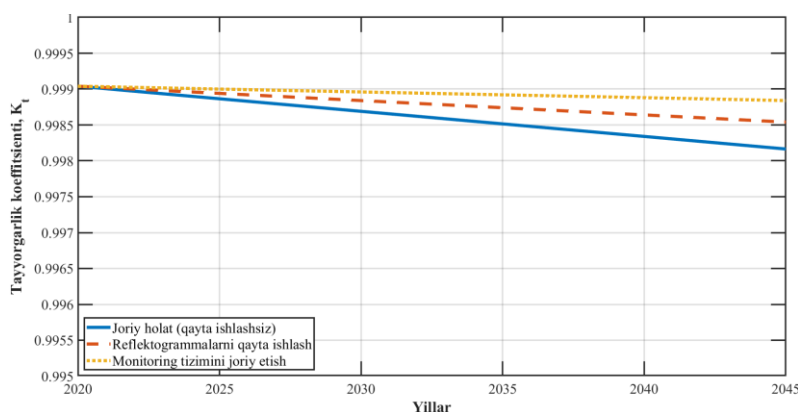
sharoitlarda klassik, veyvlet, rejim-dekompozitsiyasi hamda sun'iy intellektga asoslangan algoritmlar qiyosiy baholandi. Olingan natijalar sun'iy intellekt va taklif etilgan integrallashgan algoritmlarning shovqinli va uzoq masofali sharoitlarda barqarorligi yuqori ekanini ko'rsatdi hamda ularning real ekspluatatsiya sharoitlari uchun maqbulligini tasdiqladi.



9-rasm. Ishlab chiqilgan algoritmlarni mavjud algoritmlar bilan taqqoslash

Tadqiqotda ishlab chiqilgan matematik model va algoritmlar asosida Qoraqalpog'iston Respublikasi hududidagi TOALning ishonchlilik ko'rsatkichlari uchta ekspluatatsiya ssenariysi joriy holat, reflektogrammalarni qayta ishlash asosida va monitoring tizimini joriy etish sharoitida tadqiq qilindi.

10-rasmda tadqiq qilinayotgan TOALning turli ekspluatatsiya ssenariylari bo'yicha tayyorgarlik koeffitsientining o'zgarishi keltirilgan.

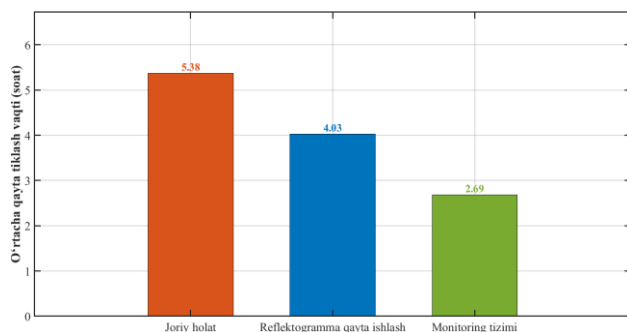


10-rasm Tadqiq qilinayotgan TOALning turli ekspluatatsiya ssenariylari bo'yicha tayyorgarlik koeffitsientining (K_t) o'zgarishi

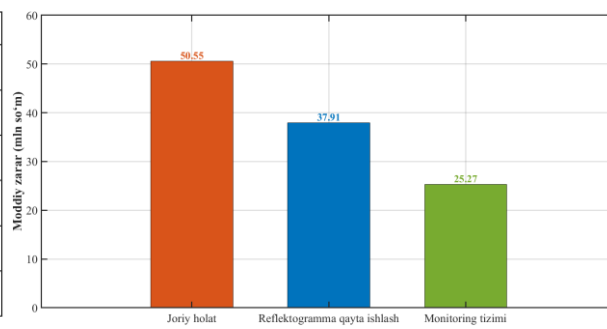
Natijalarga ko'ra, joriy holatda K_t qiymati vaqt o'tishi bilan pasayish tendensiyasiga ega bo'lsa, reflektogrammalarni qayta ishlash asosida bu pasayish

sekinlashadi. Monitoring tizimini joriy etish sharoitida esa tayyorlik koeffitsienti eng yuqori va barqaror qiymatlarni namoyon etadi. Bu ishlab chiqilgan usul liniyaning ishchi holatda bo'lish ehtimolini oshirishini tasdiqlaydi.

O'rtacha qayta tiklash vaqtining kamayishi 11-rasmda, moddiy zarar miqdorining kamayishi esa 12-rasmda ko'rsatilgan. Joriy holatda tiklash vaqti 5,38 soatni tashkil etgan bo'lsa, reflektogrammalarni qayta ishlash natijasida 4,03 soatgacha kamaygan. Monitoring tizimini joriy etish orqali esa bu ko'rsatkich 2,69 soatgacha qisqargan. Bu tiklash vaqtining qariyb ikki baravar kamayishini bildiradi va ishlab chiqilgan algoritmnining amaliy samaradorligini ko'rsatadi.



11-rasm. Qayta tiklash vaqtining kamayishi



12-rasm. Moddiy zarar miqdorining kamayishi

Joriy sharoitda zarar miqdori 50,55 mln so'mni tashkil etgan bo'lsa, reflektogrammalarni qayta ishlash asosida 37,91 mln so'mgacha, monitoring tizimi joriy etilganda esa 25,27 mln so'mgacha kamaygan (12-rasm). Bu iqtisodiy samaradorlikning sezilarli darajada oshganini anglatadi.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan matematik model va taklif etilgan algoritmlar TOALning tayyorlik koeffitsientini oshirish, qayta tiklash vaqtini qisqartirish hamda moddiy zarar miqdorini kamaytirish imkonini berishini ko'rsatdi. Olingan natijalar taklif etilgan usulning amaliy qo'llash uchun samarali ekanligini tasdiqlaydi.

XULOSA

“Tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash modeli va algoritmlari (Qoraqalpog‘iston Respublikasi misolida)” mavzusidagi texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. TOALning tuzilishi, asosiy parametr va xarakteristikalarini, ularga ta'sir etuvchi ekspluatatsion va iqlim omillari hamda mavjud ishonchlilikni baholash usullari tahlil qilindi. Qoraqalpog‘iston Respublikasi sharoitida haroratning keskin o'zgarishi, shamol, tuproq deformatsiyasi va boshqada omillar TOALsi elementlari degradatsiyasining asosiy sabablari ekanligi aniqlangan.

2. Tolali optik aloqa tarmoqlarini monitoring qilishning mavjud usullari, OTDR reflektometriya texnologiyasi hamda reflektogrammalarni qayta ishlash yondashuvlari tadqiq qilinib, reflektogrammalarni matematik qayta ishlashda veyvlet o'zgartirishlaridan foydalanish hodisalar va anomal nuqtalarni aniqlash

aniqligini oshirish imkonini berishi ko'rsatildi. TOALda hodisalar, anomal nuqtalar va shikastlanishlarni aniqlash uchun reflektogrammalarni qayta ishlashga asoslangan model ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan model asosida TOALning ekspluatatsion holatini reflektogrammalarni qayta ishlash yordamida baholash imkoniyati yaratildi hamda texnik holatni diagnostika qilish imkoniyati yaratildi.

3. Reflektogrammalarni qayta ishlashda hodisalar va shikastlanishlarni avtomatik aniqlash algoritmi ishlab chiqildi. Taklif etilgan algoritmnı klassik usullar bilan qiyosiy tahlil qilish natijasida hodisalar, anomal nuqtalar va shikastlanishlarni aniqlash samaradorligini 14 % ga oshirishga erishilgan.

4. Shikastlanishlarni lokalizatsiyalash aniqligini oshirish uchun veyvlet o'zgartirishlari va ko'p bosqichli aniqlashtirish usullariga asoslangan algoritmi ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari shikastlanish joylarini lokalizatsiyalash aniqligini 10 % ga oshirilgan.

5. OTDR moduliga asoslangan monitoring tizimidan foydalanish natijasida shikastlanishlarni aniqlash va ularning joylashuvini topish vaqtini qisqartirish orqali tolali optik aloqa liniyalarining ekspluatatsion ishonchliligini oshirish usuli ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, taklif etilgan yondashuv yordamida ishonchlilik ko'rsatkichini 6 % ga oshirilgan.

6. Taklif etilgan model va algoritmlarni amaliyotga joriy etish natijalari ularni O'zMSSt 851:2026 "Telekommunikatsiyalar tarmoqlari. Magistral optik-tolali kabel. Yotqizish bo'yicha umumiy talablar", RH 45-254:2014 "Magistral va zonaichi telekommunikatsiya transport tarmoqlarida liniya-kabel inshootlarini texnik ekspluatatsiya qilish qoidalari" hamda RH 45-091:2008 "O'zbekiston Respublikasi telekommunikatsiya tarmoqlarida avariya-tiklash ishlarini tashkil etish tartibi" me'yoriy hujjatlari doirasida qo'llash va takomillashtirish mumkinligini ko'rsatdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.09/2025.27.12.T.01.02
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРАЗМИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРАЗМИЙ**

ТУРСЫМУРАТОВ САПАРНИЯЗ САЛАУАТОВИЧ

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ
КАРАКАЛПАКСТАН)**

**05.04.01 – Телекоммуникационные и компьютерные системы, сети и устройства
телекоммуникаций. Распределение информации**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Академии наук Республики Узбекистан под номером B2025.4.PhD/T6199.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tuit.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:	Исаев Рихси Исаходжаевич кандидат технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Амирсаидов Улугбек Бабурович доктор технических наук, профессор Абдуллаев Миржамол Миркамилович доктор философий по техническим наукам, доцент
Ведущая организация:	Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта

Защита диссертации состоится «3» октября 2026 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.09/2025.27.12.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108.) Тел.: (+99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер № 447). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (+99871) 238-64-15).

Автореферат диссертации разослан «24» сентября 2026 года.
(протокол рассылки № 18 от «24» сентября 2026 г.).

Б.Ш. Махкамов

Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней,
доктор экономических наук,
профессор

М.С. Саиткамоллов

Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней,
доктор экономических наук, доцент

К.А. Ташев

Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению
ученых степеней, доктор технических
наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире обеспечение надежности волоконно-оптических линий связи в процессе их проектирования, строительства и эксплуатации является одной из актуальных научных задач. Это обусловлено тем, что волоконно-оптические линии связи используются в глобальной телекоммуникационной инфраструктуре, а также в системах и сетях связи различных стран в качестве основной среды для высокоскоростной передачи больших объемов информации. Известно, что для волоконно-оптических линий связи, обеспечивающих высокоскоростной обмен информацией, коэффициент готовности, являющийся одним из основных показателей оценки надежности, должен быть не менее 0,999. Даже незначительное снижение данного показателя приводит к существенному ухудшению качества услуг связи. Исследования показывают, что снижение коэффициента готовности на 0,01–0,025 приводит к ухудшению показателей качества обслуживания на 8–20 %¹. В настоящее время отдельные элементы эксплуатируемых волоконно-оптических линий связи приближаются к предельным значениям нормативного срока службы, что приводит к снижению технической надежности и повышению вероятности возникновения отказов. В таких условиях научно-практическая оценка эксплуатационного состояния волоконно-оптических линий связи, оперативное выявление повреждений и комплексный анализ показателей надежности имеют стратегическое значение для обеспечения устойчивого функционирования телекоммуникационных систем.

В мире проводится ряд научных исследований, направленных на оценку надежности волоконно-оптических линий связи путем обработки статистических данных, накопленных в процессе эксплуатации, а также исходных данных, получаемых от систем мониторинга. Проводятся исследования, направленные на оценку эксплуатационных показателей волоконно-оптических линий связи с учетом климатических условий территории, ее геологических особенностей и эксплуатационных факторов. Для определения и оценки эксплуатационного состояния широко внедряются системы непрерывного мониторинга, методы диагностики и контроля. В частности, рефлектограммы, получаемые с помощью устройств импульсной оптической рефлектометрии, позволяют дистанционно выявлять дефекты волоконно-оптических линий связи и широко применяются на практике. Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что разработка моделей и алгоритмов, направленных на оперативное обнаружение повреждений в волоконно-оптических линиях связи, их точную локализацию и сокращение времени восстановления, является одной из актуальных научно-практических задач в области телекоммуникаций.

В Республике Узбекистан реализуется комплекс мер, направленных на строительство и модернизацию современных телекоммуникационных сетей, а также повышение пропускной способности сетей передачи данных. В условиях интенсивного развития цифровых технологий обеспечение устойчивости и надежности цифровой инфраструктуры является одной из

¹ <https://www.fcc.gov/communications-security-reliability-and-interoperability-council-ix>

приоритетных задач. В пункте 1 главы 2 Стратегии «Цифровой Узбекистан — 2030», утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан № УП–6079 от 5 октября 2020 года, в качестве приоритетной задачи определено обеспечение и повышение надежности волоконно-оптических линий связи для их непрерывного функционирования, а также поставлена задача доведения общей протяженности волоконно-оптических линий связи до более чем 250 тыс. километров². Разработка моделей и алгоритмов оценки надежности волоконно-оптических линий связи имеет важное значение для повышения качества телекоммуникационных услуг.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени способствует реализации задач, предусмотренных Законом Республики Узбекистан № ЗРУ–1015 «О телекоммуникациях» от 27 декабря 2024 года, Указами Президента Республики Узбекистан № УП–6079 от 5 октября 2020 года «Об утверждении Стратегии “Цифровой Узбекистан – 2030” и мерах по ее эффективной реализации», № УП–60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан № 699 от 19 ноября 2021 года «О мерах по дальнейшему развитию телекоммуникационной инфраструктуры Республики Узбекистан», приказом Министерства цифровых технологий № 287-мх от 26 января 2026 года «Об утверждении Правил оказания телекоммуникационных услуг», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологии: IV. “Информатизация и развитие инфокоммуникационных технологий”.

Степень изученности проблемы. Проблемы оценки надежности волоконно-оптических линий связи исследовались мировым научным сообществом с использованием различных подходов. В частности, фундаментальные исследования по изучению устойчивости оптических волокон к механическим воздействиям и процессов долговременной деградации проведены М. Мэттьюсоном, У. Гриффионом, М. Барноски, С. Гу, М. Саблаташем, которые были главным образом направлены на изучение механизмов старения оптических волокон и определение показателей их прочности. Вопросы технологии производства оптических кабелей, оптимизации параметров надежности и оценки влияния эксплуатационных факторов исследованы Г. Глеземанном, Р. Кастилоне, Т. Хэнсоном, Д. Уолтером, а также К. Далласом, Б. Циммерманном, Х. Ханафусой, М. Фукудой. Научные исследования, посвященные совершенствованию алгоритмов определения затухания сигнала в оптических волокнах, рефлектометрической диагностики и обнаружения повреждений, проводились А. Накамурой, К. Окамото, Ю. Кошикией, Т. Манабэ, К. Сюем, Ч. Юанем и другими учеными.

Учеными стран СНГ В.Н. Гордиенко, Е. Алексеевым, В. Крухмалевым, М. Боевым, И. Гродневым, Е. Протоновым, Ю. Лариным и другими

² Указ Президента Республики Узбекистан, № УП–6079 от 05 октября 2020 года «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации».

разработаны вопросы оценки эксплуатационной надежности оптических сетей связи, обнаружения неисправностей и математического моделирования.

Учеными Республики Узбекистан Р.И. Исаевым, И.Р. Бергановым, Т.Н. Нишонбоевым, У.Б. Амирсаидовым, Д.А. Давронбековым, Р.Х. Джураевым, Ш.Ю. Джаббаровым и другими выполнены научные исследования, направленные на повышение показателей надежности телекоммуникационных сетей, совершенствование систем мониторинга и развитие методов диагностики.

Результаты анализа проведенных исследований показали, что вопросы оценки надежности волоконно-оптических линий связи в процессе эксплуатации на основе исходных данных, полученных из систем мониторинга, в особенности разработки модели, алгоритмов и аналитических выражений оценки надежности эксплуатируемых волоконно-оптических линий связи в условиях резко континентального климата, а также их практического внедрения, изучены недостаточно полно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертационная работа. Данная диссертационная работа выполнена в рамках проекта FL-8824063289-R5 «Принципы создания комбинированных датчиков на основе телекоммуникационного оптического волокна» (2025-2027) научно-исследовательского плана Университета общественной безопасности Республики Узбекистан.

Целью исследования является разработка модели и алгоритмов оценки надежности волоконно-оптических линий связи в процессе их эксплуатации.

Задачи исследования:

провести анализ методов оценки надежности волоконно-оптических линий связи и организации систем мониторинга контроля их эксплуатационного состояния;

усовершенствовать метод оценки надежности, основанный на статистических моделях, обеспечивающий оценку эксплуатационной надежности волоконно-оптических линий связи, мониторинг которых осуществляется с использованием модуля оптического рефлектометра, за счет обнаружения повреждений и сокращения времени их локализации;

разработать математическую модель, обеспечивающую повышение точности обнаружения событий на линии и локализации места повреждения путем обработки рефлектограмм, полученных в процессе технической эксплуатации волоконно-оптических линий связи;

усовершенствовать алгоритм автоматического обнаружения событий на линии на основе обработки рефлектограмм;

усовершенствовать алгоритм, обеспечивающий повышение точности локализации места повреждения путем обработки рефлектограмм.

Объектом исследования являются волоконно-оптические линии связи магистральных оптических транспортных сетей, проложенные непосредственно в грунте.

Предметом исследования являются исходные данные, полученные с использованием статистических и контрольно-измерительных средств в процессе эксплуатации волоконно-оптических линий связи.

Методы исследования. В процессе исследования использовались теория оптической связи, методы математического анализа и моделирования, цифровой обработки сигналов, методы свертки и корреляции, дискретный и непрерывный вейвлет-анализ, методы статистического анализа и теории вероятностей, а также методы экспериментального анализа рефлектограмм.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствован метод, обеспечивающий повышение надежности за счет оценки эксплуатационного состояния и сокращения времени восстановления на основе обработки рефлектограмм, полученных в процессе мониторинга и диагностики волоконно-оптических линий связи с использованием модуля оптического рефлектометра;

разработана аналитическая модель, обеспечивающая возможность обнаружения событий на основе операции свертки при обработке рефлектограмм и повышения точности локализации места повреждения;

усовершенствован алгоритм, обеспечивающий возможность оценки эксплуатационного состояния волоконно-оптической линии связи путем автоматического обнаружения событий на основе фильтрации шумов при обработке рефлектограмм с использованием вейвлет-преобразований;

усовершенствован алгоритм, обеспечивающий возможность сокращения времени восстановления за счет повышения точности локализации места повреждения на основе масштабирования при обработке рефлектограмм с использованием вейвлет-преобразований.

Практические результаты исследования заключаются в следующие:

разработано программное средство, обеспечивающее возможность анализа характерных изменений на рефлектограммах, полученных с помощью системы мониторинга волоконно-оптических линий связи, автоматического выделения событий, а также определения координаты точки повреждения;

разработано программное средство, обеспечивающее возможность оценки показателей надежности на основе статистических данных о повреждениях, полученных в процессе эксплуатации волоконно-оптических линий связи.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов исследования основана на математически точной формулировке проблемы, точных и эффективных результатах, полученных путем количественного и качественного сравнения предложенных моделей и алгоритмов с другими современными методами, разработке программного продукта, а также сертификатах реализации, подтверждающих практические результаты.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в разработке математической модели, ориентированной на обработку сигналов рефлектограмм на основе свертки для оценки надежности волоконно-оптических линий связи в условиях резко континентального климата, алгоритмов, предназначенных для уменьшения влияния шумов на рефлектограммах, обнаружения событий и повышения точности локализации мест повреждений, а также усовершенствованного метода оценки эксплуатационной надежности волоконно-оптических линий связи на основе данных системы мониторинга, полученных с использованием модуля оптического рефлектометра.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке модели и алгоритмов, обеспечивающих повышение точности локализации повреждений на волоконно-оптических линиях связи, а также оперативность выполнения процессов восстановления.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных результатов по модели и алгоритмам оценки эксплуатационного состояния и надежности волоконно-оптических линий связи:

усовершенствованный метод, обеспечивающий повышение надежности за счет оценки эксплуатационного состояния и сокращения времени восстановления на основе обработки рефлектограмм, полученных в процессе мониторинга и диагностики волоконно-оптических линий связи с использованием модуля оптического рефлектометра, внедрен в Северном филиале АК «Узбектелеком» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/9092 от 4 декабря 2025 года). В результате обеспечено повышение показателя эксплуатационной надежности волоконно-оптических линий связи, то есть коэффициента готовности, в среднем на 6 % за счет сокращения времени обнаружения, локализации повреждений и устранения неисправностей;

аналитическая модель, обеспечивающая возможность обнаружения событий на основе операции свертки при обработке рефлектограмм и повышения точности локализации места повреждения, внедрена в ООО «UNCON.UZ» — Центр научно-технических и маркетинговых исследований (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/9092 от 4 декабря 2025 года). В результате разработанная модель позволила использовать и совершенствовать действующие нормативные документы по повышению надежности волоконно-оптических линий связи и эффективности их эксплуатации;

усовершенствованный алгоритм, обеспечивающий возможность оценки эксплуатационного состояния волоконно-оптической линии связи путем автоматического обнаружения событий на основе фильтрации шумов при обработке рефлектограмм с использованием вейвлет-преобразований, внедрен в Северном филиале АК «Узбектелеком» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/9092 от 4 декабря 2025 года). В результате обеспечено повышение эффективности обнаружения событий, аномальных точек и повреждений на волоконно-оптических линиях связи на 14 %;

усовершенствованный алгоритм, обеспечивающий возможность сокращения времени восстановления за счет повышения точности локализации места повреждения на основе масштабирования при обработке рефлектограмм с использованием вейвлет-преобразований, внедрен в Северном филиале АК «Узбектелеком» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33-8/9092 от 4 декабря 2025 года). В результате достигнуто повышение точности локализации мест повреждений на 10 %.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были обсуждены на 4 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях, а также на научных семинарах.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования

опубликовано 22 научные работы, из них 9 научных статей — в журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан, в том числе 2 статьи — в зарубежных журналах и 7 статей — в республиканских научных журналах, а также получены 2 свидетельства о государственной регистрации программных средств для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В **Введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, определены цель и задачи исследования, его объект и предмет, обоснована достоверность полученных результатов и раскрыта их теоретическая и практическая значимость. Кроме того, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных научных работах, а также о структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Анализ методов оценки надежности волоконно-оптических линий связи**», анализируются структура, параметры и характеристики ВОЛС, требования международных стандартов, а также влияние эксплуатационных факторов на элементы кабеля в резко континентальных климатических условиях, диагностические подходы, основанные на мониторинге с помощью OTDR и вейвлет-анализе, и описывается постановка проблемы.

Задача повышения надежности ВОЛС определяется необходимостью максимизировать вероятность нахождения линии в рабочем состоянии во время практической эксплуатации и минимизировать общее время, необходимое для ее восстановления в случае отказа. С этой точки зрения задача оптимизации формулируется следующим образом

$$K_t \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$t_{q.t.} = \sum_{j=1}^M t_j \rightarrow \min, \quad (2)$$

где K_t — коэффициент готовности ВОЛС (т.е. интегральный показатель, выражающий вероятность того, что система находится в рабочем состоянии в случайный момент времени), t_j — время, затраченное на устранение (восстановление) j -й неисправности, а M — количество неисправностей, зарегистрированных за период наблюдения.

При оценке надежности ВОЛС основным источником информации служат данные мониторинга и цифровой анализ сигналов рефлектограммы. Поэтому показатель надежности линии выражается в функциональном виде в зависимости от результатов мониторинга и анализа сигнала.

$$R = f(W(a, b), y(t)), \quad (3)$$

где R — индекс надежности ВОЛС, $W(a, b)$ — коэффициенты, полученные в результате вейвлет-анализа сигналов рефлектограммы (с параметрами масштаба a и сдвига b), $y(t)$ — последовательность параметров мощности,

потерь и затухания оптического сигнала, измеренных в процессе мониторинга. Многомасштабный анализ с использованием вейвлет-преобразований позволяет обнаруживать небольшие изменения мощности сигнала и процессы деградации в линии на ранней стадии, поскольку он позволяет выявлять локальные изменения в структуре сигнала.

Коэффициент доступности ВОЛС основан на соотношении интервалов работы и восстановления системы и определяется за период наблюдения следующим образом:

$$K_t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{j=1}^M t_j}, \quad (4)$$

где t_i — длительность i -го рабочего интервала (время работы линии), t_j — время восстановления после неисправности. Это соотношение означает, что чем меньше сумма времен восстановления, тем выше значение K_t .

Продолжительность процесса восстановления рассматривается как сумма нескольких составляющих времени, поскольку в практических условиях восстановление состоит не только из ремонта, но и включает в себя обнаружение, устранение, проверку и организационные задержки. Поэтому время восстановления декомпозируется следующим образом:

$$t_j = t_q + t_{b.e.} + t_{tek.} + t_{tex.k.}, \quad (5)$$

где t_q — время обнаружения (поиска) неисправности, $t_{b.e.}$ — время устранения неисправности, $t_{tek.}$ — время проверки работоспособности линии, $t_{tex.k.}$ — технические и организационные задержки (прибытие бригады, разрешения, логистика, запасные части и т. д.).

Внедрение системы мониторинга и интеллектуального анализа позволяет значительно сократить время восстановления, поскольку процесс обнаружения неисправностей автоматизируется, повышается точность определения местоположения и оптимизируется последовательность действий. Для математического учета этого оптимизированное ожидаемое время восстановления определяется с помощью вероятностной модели следующего вида:

$$t'_j = (1 - P)t_j + P(t_a + t_t), \quad (6)$$

где t'_j — ожидаемое (оптимизированное) время восстановления при текущих условиях системы мониторинга, P — вероятность автоматического обнаружения неисправности, t_a — время автоматического выявления повреждения, t_t — время автоматического обнаружения повреждения.

В данном случае коэффициент готовности также напрямую отражает влияние мониторинга и записывается следующим образом:

$$K_t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{j=1}^M t'_j}, \quad (7)$$

Таким образом, формальная цель повышения надежности ВОЛС заключается в максимизации коэффициента доступности, являющегося комплексным показателем надежности, за счет минимизации времени восстановления. Это достигается путем быстрого повторного анализа

исходных данных из системы мониторинга с использованием вейлет-преобразований рефлектограмм и внедрения алгоритмов интеллектуального принятия решений.

Вторая глава диссертации под названием «Системы и методы мониторинга волоконно-оптических сетей связи», анализирует принципы организации систем мониторинга волоконно-оптических сетей связи, их архитектуру и основные функциональные элементы. Она основана на том факте, что возросшие требования к показателям качества передачи в современных высокоскоростных оптических сетях DWDM создают необходимость непрерывного мониторинга состояния сети в режиме, близком к реальному времени. Подчеркивается важность систем мониторинга в раннем обнаружении сбоев в сети, предотвращении аварий и повышении эффективности эксплуатации.

Таблица 1

Основные параметры, контролируемые в оптических сетях связи, и их числовые значения (ITU-T G.697)

Оптический параметр	Единица измерения	Диапазон значений
Мощность канала	дБм	-25 ... +5 дБм
Суммарная мощность	дБм	-10 ... +20 дБм
OSNR	дБ	15 ... 30 дБ
Длина волны канала	нм	1528,77 ... 1565,50 нм
Q-фактор	дБ	6 ... 20 дБ

Также были рассмотрены принципы технологии мониторинга оптических характеристик (OPM) и методы управления на основе рефлектометра OTDR. Проанализированы возможности обнаружения замираний, повреждений и процессов деградации в волоконно-оптических линиях связи на ранних стадиях путем мониторинга таких параметров, как мощность оптического сигнала, OSNR, длина волны канала и Q-фактор. Результаты показали, что использование систем мониторинга может повысить надежность сети и снизить затраты на техническое обслуживание.

В оптических транспортных сетях методы мониторинга играют важную роль в оценке качества сигнала и производительности оборудования. Согласно рекомендациям МСЭ, подходы к мониторингу делятся на несколько групп (рис. 1), и каждая группа имеет свои преимущества и ограничения.

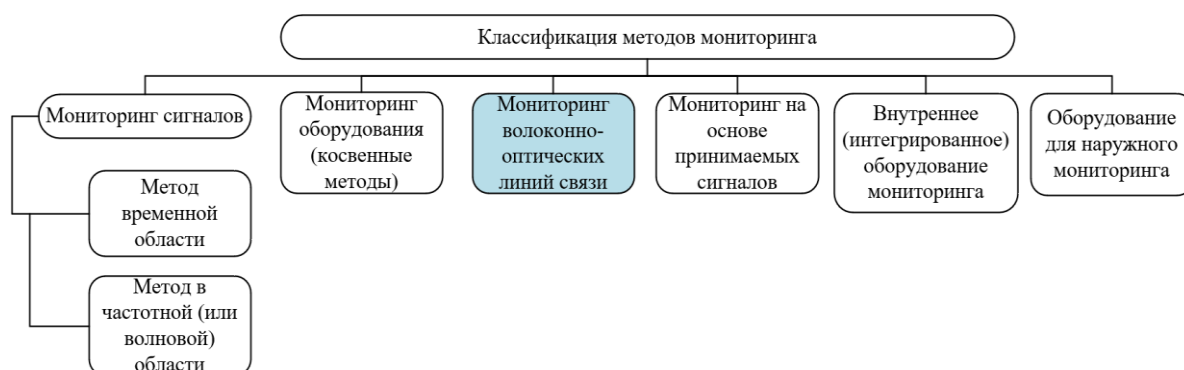


Рис. 1. Методы мониторинга в оптических транспортных сетях

В таблице 2 перечислены методы мониторинга, используемые в волоконно-оптических транспортных сетях, контролируемые параметры и числовые значения.

Таблица 2

Анализ методов мониторинга в волоконно-оптических транспортных сетях

Метод мониторинга	Основной параметр	Диапазон скоростей	Числовое значение
Временная область	BER	≤ 10 Гбит/с	$BER \approx 10^{-9}$
Частотная область	Мощность канала	10–400 Гбит/с	$-25 \dots +5$ дБм
Мониторинг оборудования	Температура лазера	Все	20–70 °С
На основе OTDR	Затухание/расстояние	Все	$\pm 1-5$ м
DSP	OSNR	$\geq 40/100$ Гбит/с	$\geq 20-25$ дБ
Внутренний мониторинг	Отклонение мощности	Все	± 1 дБ
Внешний мониторинг	точность OSNR	Все	± 0.5 дБ

На рисунке 2 показан типичный сегмент системы передачи на основе технологии WDM и расположение в ней внешнего контрольного оборудования. На каждом звене сети установлен двухкаскадный линейный усилитель, состоящий из модуля мощности (В) и модуля предусилителя (Р).

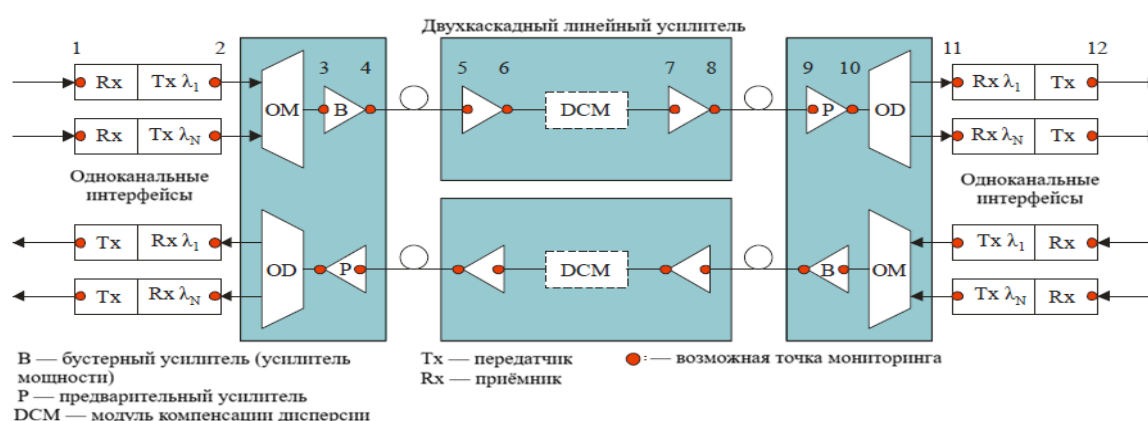


Рис. 2. Расположение внешнего оборудования мониторинга на сегментах сети DWDM

Между этими усилителями расположен модуль компенсации дисперсии (DCM), который уменьшает удлинение импульса и сохраняет форму сигнала. Красные точки на диаграмме указывают места в сети, где возможен внешний мониторинг. В этих точках подключается рефлектометр (OTDR) или другое внешнее оптическое контрольное оборудование для мониторинга состояния оптической линии с использованием отраженной составляющей сигнала (рэлееское или френелевское отражение).

Точки мониторинга обычно располагаются в следующих сегментах: между оптической системой и усилителем мощности — для контроля выходной мощности передачи; на выходе каждого линейного усилителя — для измерения потерь сигнала и уровней усиления; до и после модуля DCM — для

определения эффективности компенсации дисперсии; перед приемным устройством (ОД) — для анализа конечной оптической мощности, OSNR и Q-фактора.

На практике для мониторинга ВОЛС широко используются оптические рефлектометры временной области (OTDR). Упрощенная структурная схема такого рефлектометра показана на рисунке 3, где: 1 – генератор зондирующих импульсов (ГИ); 2 – источник оптического излучения (лазерный диод – ЛД); 3 – оптический разветвитель – ОР; 4 – оптический коннектор; 5 – тестируемое ВОЛС; 6 – фотодетектор (ФД); 7 – блок управления и математической обработки – БУМО; 8 – монитор.

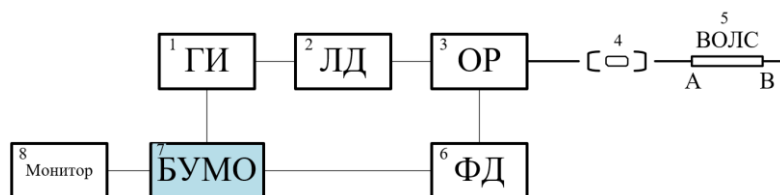


Рис. 3. Структурная схема оптического рефлектометра, работающего во временной области

Предложенный усовершенствованный метод оценки надежности ВОЛС основан на сочетании математической обработки рефлектограмм OTDR, автоматического обнаружения событий и статистического анализа (рис. 4). Главная цель метода — раннее обнаружение деградации и повреждений оптической линии и оценка их влияния на показатели надежности.

Новизна предлагаемого метода заключается в том, что вместо традиционного визуального анализа сигнала рефлектограммы в нем комплексно применяются методы математического моделирования, вейвлет-анализа и статистической оценки.

Это позволяет выявлять малые признаки деградации оптического волокна, повышать точность локализации событий и оценивать техническое состояние линии ещё до возникновения отказа.

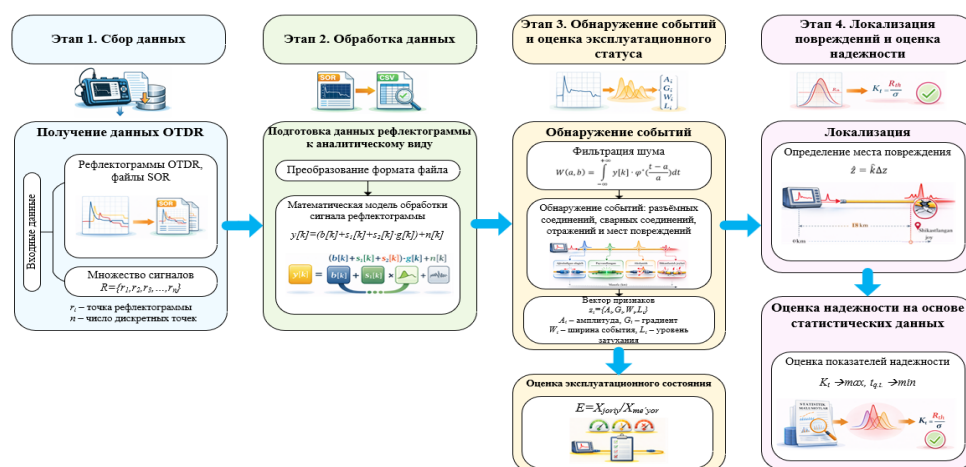


Рис. 4. Усовершенствованный метод, разработанный для оценки рабочего состояния и надежности ВОЛС

В третьей главе диссертации под названием «**Модели и алгоритмы для обнаружения и локализации событий в волоконно-оптических линиях**»

связи», были разработаны модели и алгоритмы на основе мониторинга для оценки состояния ВОЛС, обнаружения возникающих неисправностей и уточнения их местоположения. В исследовании рефлектограммы, полученные с помощью OTDR, были подвергнуты математической обработке, для удаления шума использовались вейвлет-преобразования, а для повышения точности обнаружения и локализации событий применялись сверточная фильтрация и дискретная интерполяция.

Процесс обработки оптического сигнала выполняется в блоке БУМО. Математическая модель измерения оптического сигнала и генерации рефлектограммы, мощность обратного рассеянного тока, измеренная на ближнем конце оптического волокна, может быть выражена через мощности обратного рассеянного тока (рэлеевское и френелевское отражения) $s_1(t)$ и $s_2(t)$, обратный ток $f(t)$ и сумму мощностей помех $v(t)$.

$$y(t) = f(t) + s_1(t) + s_2(t) + v(t). \quad (8)$$

Результаты измерений OTDR обычно хранятся в формате SOR. Файл SOR содержит профиль амплитуды рефлектограммы, параметры измерения и метаданные. В данном исследовании значения рефлектограммы были извлечены из формата SOR и преобразованы в формат CSV, удобный для математического анализа. После преобразования рефлектограмма рассматривалась как дискретный сигнал.

$$y[k], k = 0, 1, \dots, N - 1. \quad (9)$$

Для обнаружения и локализации повреждений на рефлектограммах ВОЛС предложена дискретная модель обработки, основанная на свертке и вейвлет-преобразовании. Сигнал OTDR представлен моделью сверточного отслеживания.

$$y[k] = (b[k] + s_1[k] + s_2[k]) * g[k] + n[k], \quad (10)$$

где $b[k]$ — компонент фона рэлеевского рассеяния, $s_1[k]$ — события с потерями, $s_2[k]$ — события отражения, $g[k]$ — импульсная характеристика OTDR, $n[k]$ — аддитивный шум, $*$ обозначает операцию свертки.

Данная модель полностью описывает физический процесс формирования рефлектограммы: полезный сигнал состоит из фоновой составляющей и суммы событий, которая свертывается с импульсной характеристикой измерительной системы и искажается шумом.

В предлагаемом подходе сначала из рефлектограммы извлекается трендовая (фоновая) составляющая, затем с помощью сверточной фильтрации обнаруживаются события отражения и потери. Для уменьшения влияния шума используется многомасштабная фильтрация на основе дискретного вейвлет-преобразования. Координаты события определяются путем интерполяции вокруг максимума.

В результате, комбинированное использование сверточной фильтрации и шумоподавления на основе вейвлетов позволило надежно обнаруживать повреждения на рефлектограммах и с высокой точностью определять их

местоположение. Предложенная математическая модель эффективна для практического применения в системах мониторинга ВОЛС.

Алгоритм автоматического обнаружения событий на рефлектограммах (рис. 5) предназначен для обнаружения событий отражения и потери сигнала, происходящих на рефлектограммах OTDR, без вмешательства человека.

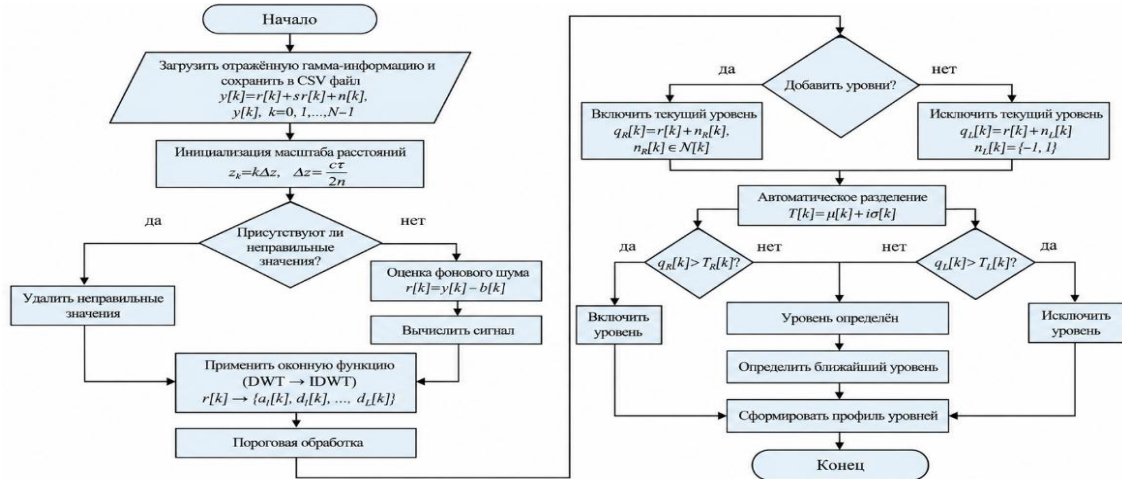


Рис. 5. Блок-схема алгоритма автоматического обнаружения событий в рефлектограммах

Алгоритм компенсирует фоновый тренд на основе сверточной модели рефлектограммы, снижает шум с помощью вейвлет-шумоподавления и надежно обнаруживает события с использованием сверточных фильтров и адаптивных пороговых значений.

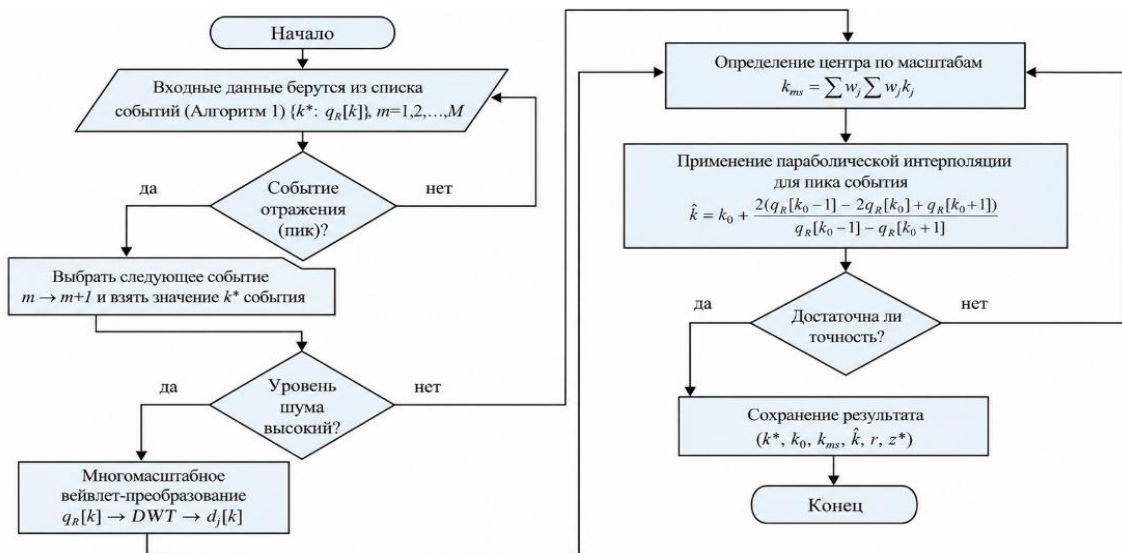


Рис. 6. Блок-схема алгоритма повышения точности локализации поражения

Высокоточный алгоритм локализации повреждений (рис. 6) обеспечивает оценку координат расстояния до места повреждения на основе автоматически обнаруженных событий с более высокой точностью, чем на этапе дискретизации. Алгоритм использует субдискретную интерполяцию вокруг максимума сигнала обнаружения для определения координат повреждения и значительно снижает ошибку локализации.

Предложенные алгоритмы позволяют автоматически обнаруживать события на рефлектограммах и высокоточно локализовать поврежденные участки, тем самым повышая эксплуатационную надежность ВОЛС.

В четвертой главе диссертации под названием **«Практические результаты исследования и оценка надежности волоконно-оптических линий связи на их основе»**, разработан подход к оценке надежности линии, основанный на результатах практической обработки рефлектограмм OTDR на примере 98,7-километровой основной линии связи ВОЛС, расположенной в направлении Кунграт-Муйнак в Республике Каракалпакстан. Рефлектограммы обрабатывались в среде MATLAB на основе вейвлет-анализа, анализировались сегменты линии, выявлялись события и процессы деградации, а также локализовались места повреждений с точностью ± 5 м. В результате предложенный подход практически подтвердил, что он повышает общие показатели надежности линии связи ВОЛС за счет сокращения времени обнаружения и восстановления повреждений.

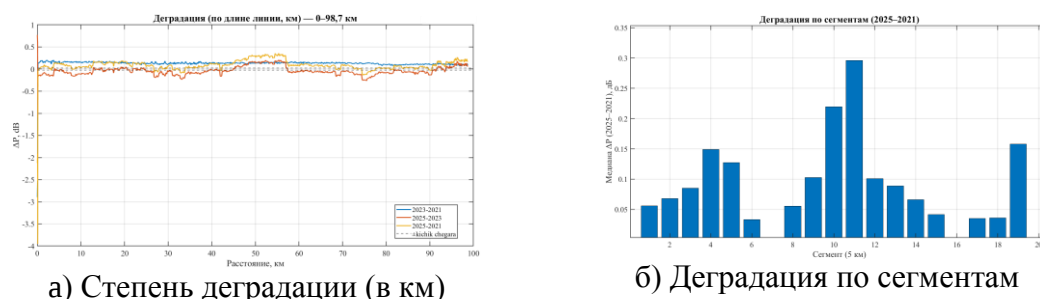


Рис. 7. Оценка степени деградации ВОЛС

Обнаружение событий с помощью анализа вейлет-преобразования в системе ВОЛС путем обработки рефлектограмм осуществляется на основе рефлектограмм, полученных в ходе эксплуатации линии, выбранной в рамках исследовательской работы, в период с 2011 по 2025 год. В исследовании эти рефлектограммы были первоначально обработаны в программе MATLAB для формирования исходных данных. Отфильтрованные рефлектограммы были сведены в одно и то же окно на расстоянии 0–98,7 км, а различия ΔP за годы были сопоставлены на линейном графике и оценены с погрешностью $\pm 0,02$ дБ (рис. 7).

На рис. 8 подробно показаны результаты процесса восстановления сигнала в окне повреждения. На этом рисунке представлено сравнение исходного сигнала рефлектограммы и обработанного сигнала. Исходный сигнал содержит шумовые компоненты, вызванные различными внешними и внутренними факторами, что усложняет анализ полезного сигнала. В частности, отсутствие четкого разграничения пиков на рефлектограмме негативно влияет на точность определения местоположения повреждения. Поэтому этап обработки сигнала имеет большое значение в рефлектометрическом анализе. Согласно результатам, представленным на рисунке, после применения метода фильтрации на основе вейвлетов уровень шума в сигнале значительно снижается. В процессе фильтрации ослабляются ненужные высокочастотные шумовые компоненты, при этом сохраняются полезные части сигнала.

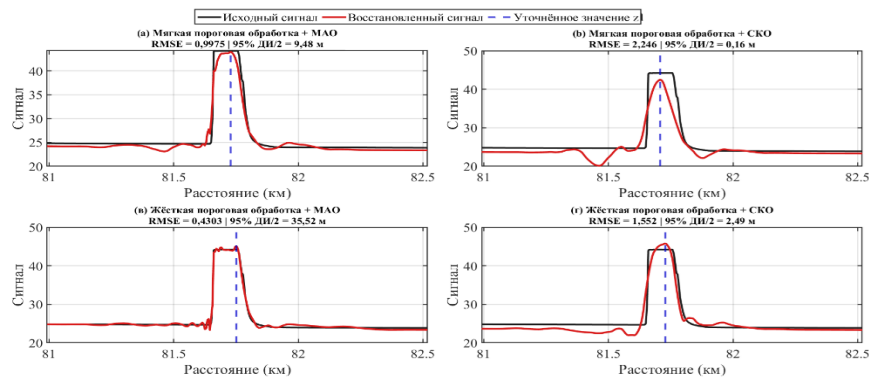


Рис. 8. Результаты восстановления сигнала в окне повреждения

Следующим шагом стала статистическая оценка стабильности алгоритма на основе моделирования методом Монте-Карло. Представлены результаты распределения точности локализации при различных уровнях шума и 95% доверительные интервалы. Согласно результатам анализа, ошибка локализации в вариантах на основе СКО не превышает требуемого значения ± 5 м. Это подтверждает стабильность и практическую применимость предложенного алгоритма.

Эффективность разработанных моделей и алгоритмов для оценки надежности ВОЛС была проанализирована на основе экспериментальных исследований. Классические, вейвлетные, алгоритмы на основе декомпозиции по режимам и алгоритмы на основе искусственного интеллекта сравнивались в различных условиях. Результаты показали, что алгоритмы на основе искусственного интеллекта и предложенные интегрированные алгоритмы обладают высокой стабильностью в условиях шума и больших расстояний, а также подтвердили их пригодность для реальных условий эксплуатации.

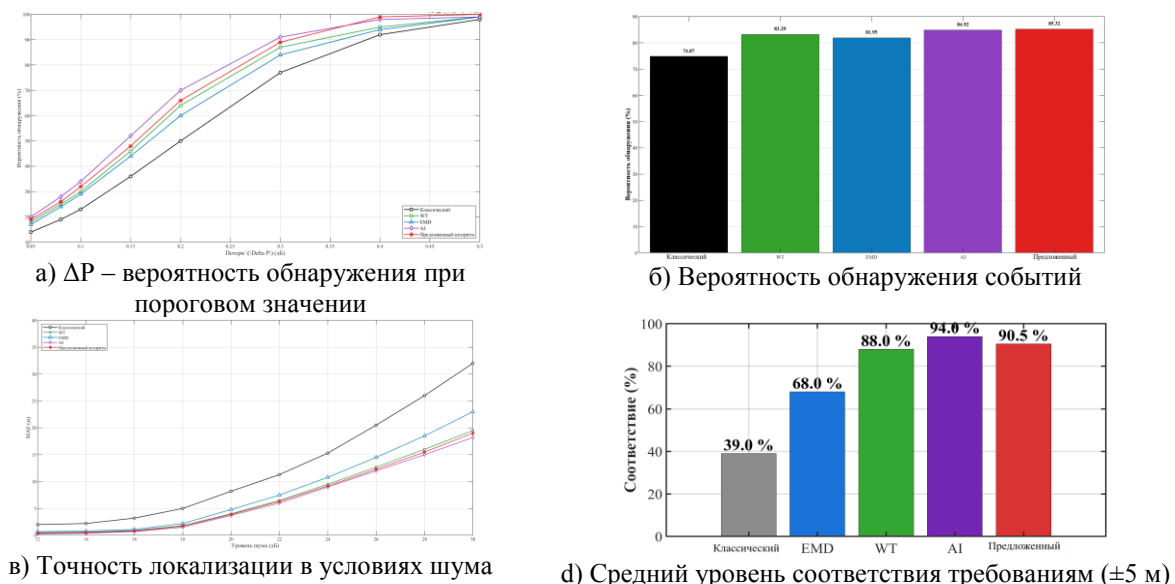


Рис. 9. Сравнение разработанных алгоритмов с существующими алгоритмами

На основе разработанных в исследовании математических моделей и алгоритмов была проведена оценка показателей надежности ВОЛС в Республике Каракалпакстан в трех эксплуатационных сценариях: в текущем состоянии (без обработки), на основе обработки рефлектограмм и в условиях

внедрения системы мониторинга. На рис. 10 показано изменение коэффициента доступности для различных сценариев эксплуатации исследуемой линии ВОЛС.

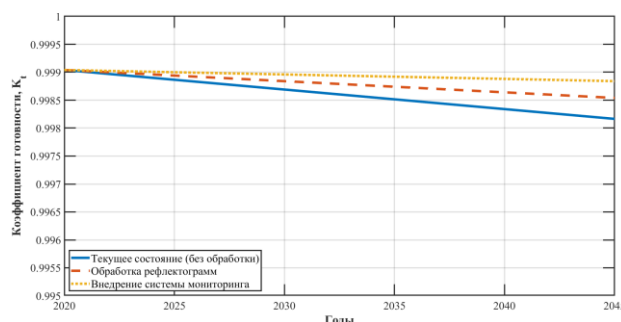


Рис. 10. Изменение коэффициента обучения (K_t) для различных сценариев эксплуатации исследуемой системы ВОЛС

Согласно результатам, в данном случае значение K_t имеет тенденцию к снижению со временем, но это снижение замедляется по мере обработки рефлектограмм. В случае внедрения системы мониторинга коэффициент доступности показывает самые высокие и стабильные значения. Это подтверждает, что разработанный метод повышает вероятность того, что линия находится в рабочем состоянии.

Сокращение среднего времени восстановления показано на рис. 11 и сокращение времени восстановления показано на рис. 12. В текущем случае время восстановления составляло 5,38 часа, но в результате обработки рефлектограмм оно сократилось до 4,03 часа. Благодаря внедрению системы мониторинга этот показатель снизился до 2,69 часа. Это означает, что время восстановления сократилось почти вдвое, что демонстрирует практическую эффективность разработанного алгоритма.

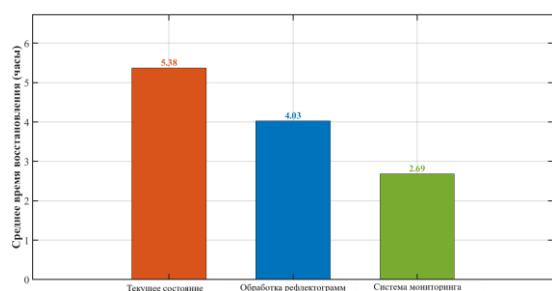


Рис. 11. Сокращение времени восстановления

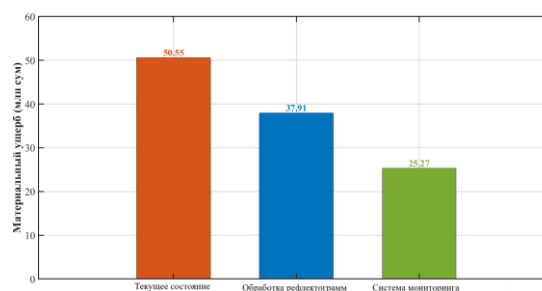


Рис. 12. Снижение объема материальных повреждений

В текущих условиях сумма ущерба составляла 50,55 млн сумов, но после обработки рефлектограмм она снизилась до 37,91 млн сумов, а после внедрения системы мониторинга — до 25,27 млн сумов (Рис. 12). Это свидетельствует о значительном повышении экономической эффективности. В целом, разработанная математическая модель и предложенные алгоритмы показали, что возможно повысить коэффициент доступности ВОЛС, сократить время восстановления и уменьшить объем материальных повреждений. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного метода для практического применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования, проведенного в рамках диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) в области технических наук по теме «Модель и алгоритмы оценки надежности волоконно-оптических линий связи (на примере Республики Каракалпакстан)», представлены следующие выводы:

1. Проанализированы структура, основные параметры и характеристики ВОЛС, влияющие на них эксплуатационные и климатические факторы, а также существующие методы оценки надежности. Установлено, что в условиях Республики Каракалпакстан основными причинами деградации элементов ВОЛС являются резкие перепады температуры, ветер, деформация грунта и другие факторы.

2. Были изучены существующие методы мониторинга волоконно-оптических сетей связи, технология рефлектометрии OTDR и подходы к обработке рефлектограмм, и показано, что использование вейвлет-преобразований в математической обработке рефлектограмм позволяет повысить точность обнаружения событий и аномальных точек. Разработана модель для выявления инцидентов, аномальных точек и повреждений в системе ВОЛС на основе обработки рефлектограмм. Разработанная модель позволила оценить эксплуатационное состояние системы ВОЛС с помощью обработки рефлектограмм и диагностировать ее техническое состояние.

3. Разработан алгоритм автоматического обнаружения событий и повреждений при обработке рефлектограмм. В результате сравнительного анализа предложенного алгоритма с классическими методами удалось повысить эффективность обнаружения событий, аномальных точек и повреждений на 14%.

4. Разработан алгоритм, основанный на вейвлет-преобразованиях и многоступенчатых методах уточнения для повышения точности локализации очагов поражения. Результаты исследования показали, что точность локализации очагов поражения увеличилась на 10%.

5. Разработан метод повышения эксплуатационной надежности волоконно-оптических линий связи за счет сокращения времени обнаружения и локализации повреждений с использованием системы мониторинга на основе модуля OTDR. Согласно результатам исследования, показатель надежности, полученный с помощью предложенного подхода, увеличился на 6%.

6. Результаты практической реализации предложенных моделей и алгоритмов показали, что их можно использовать и совершенствовать в рамках нормативных документов O'zMsT 851:2026 «Сети телекоммуникаций. Магистральный волоконно-оптический кабель. Общие требования по прокладке», RH 45-254:2014 «Правила технической эксплуатации линейно-кабельных сооружений магистральной и внутризоновых телекоммуникационных транспортных сетей» и RH 45-091:2008 «Порядок организации аварийно-восстановительных работ на сетях телекоммуникаций Республики Узбекистан».

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.09/2025.27.12. T.01.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES NAMED AFTER
MUHAMMAD AL-KHWARIZMI**

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES
NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHWARIZMI**

TURSIMURATOV SAPARNIYAZ SALAUATOVICH

**MODEL AND ALGORITHMS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF
FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES (BASED ON THE CASE OF
THE REPUBLIC OF KARAKALPAKSTAN)**

**05.04.01 – Telecommunications and computer systems, telecommunications networks and
devices. Information distribution**

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY DEGREE (PhD)
OF TECHNICAL SCIENCES**

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) of technical sciences was registered at the Supreme attestation commission at the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan under number B2025.4.PhD/T6199.

The dissertation has been prepared at the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific Council website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser:	Isaev Rikhsi Isakhodjaevich candidate of technical sciences, professor
Official opponents:	Amirsaidov Ulugbek Baburovich doctor of technical sciences, professor Abdullaev Mirjamol Mirkamolovich PhD, associate professor
Leading organization:	Research institute for the development of digital technologies and artificial intelligence

The defence will take place on “3” of october, 2026 at 10⁰⁰ a.m. at the meeting of Scientific Council DSc.09/2025.27.12.T.01.02 at the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur Street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

The dissertation could be reviewed in the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi (Registration number № 447). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur Street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-15).

The abstract of dissertation is distributed on “24” september, 2026.
(Protocol at the register № 18 on “24” september, 2026).

B.Sh. Makhkamov

Chairman of the Scientific Council
awarding scientific degrees, doctor of
economical sciences, professor

M.S. Saitkamolov

Scientific secretary of the Scientific
Council awarding scientific degrees,
doctor of economical sciences, associate
professor

K.A. Tashev

Chairman of the Academic Seminar
under the Scientific Council awarding
scientific degrees, doctor of technical
sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to develop a model and algorithms for assessing the reliability of fiber-optic communication lines during their operation.

The object of the research is the fiber-optic communication lines of backbone optical transport networks that are directly buried in the ground.

The scientific novelty of the research work:

an improved method has been developed that enables enhancing the reliability of fiber-optic communication lines by assessing their operational condition and reducing the restoration time based on the processing of reflectograms obtained during monitoring and diagnostics using an optical reflectometer module;

an analytical model has been developed that enables event detection based on the convolution operation during reflectogram processing and improves the accuracy of damage localization;

an algorithm has been improved that enables the assessment of the operational condition of a fiber-optic communication line through the automatic detection of events based on noise filtering during reflectogram processing using wavelet transforms;

an algorithm has been improved that enables reducing the restoration time by increasing the accuracy of damage localization based on scaling during reflectogram processing using wavelet transforms.

Implementation of research results. Based on the results obtained on the model and algorithms for assessing the operational condition and reliability of fiber-optic communication lines:

an improved method that enables enhancing the reliability of fiber-optic communication lines by assessing their operational condition and reducing the restoration time through processing reflectograms obtained during monitoring and diagnostics using an optical reflectometer module has been implemented at the Northern Branch of JSC “Uzbektelecom” (Certificate of the Ministry of Digital Technologies dated December 4, 2025, No. 33-8/9092). As a result, the operational reliability indicator of fiber-optic communication lines, namely the availability coefficient, was increased by an average of 6% through reducing the time required for damage detection, localization, and fault restoration;

an analytical model that enables event detection based on the convolution operation during reflectogram processing and improves the accuracy of damage localization has been implemented at UNCON.UZ LLC – Center for Scientific, Technical and Marketing Research (Certificate of the Ministry of Digital Technologies dated December 4, 2025, No. 33-8/9092). As a result, the developed model made it possible to apply and further improve the existing regulatory documents aimed at enhancing the reliability and operational efficiency of fiber-optic communication lines;

an improved algorithm that enables assessing the operational condition of a fiber-optic communication line through the automatic detection of events based on noise filtering during reflectogram processing using wavelet transforms has been implemented at the Northern Branch of JSC “Uzbektelecom” (Certificate of the

Ministry of Digital Technologies dated December 4, 2025, No. 33-8/9092). As a result, the efficiency of detecting events, anomalous points, and damages in fiber-optic communication lines was increased by 14%;

an improved algorithm that enables reducing the restoration time by increasing the accuracy of damage localization based on scaling during reflectogram processing using wavelet transforms has been implemented at the Northern Branch of JSC “Uzbektelecom” (Certificate of the Ministry of Digital Technologies dated December 4, 2025, No. 33-8/9092). As a result, the accuracy of damage localization was improved by 10%.

Structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography, and appendices. It is 120 pages long.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (Часть I; Part I)

1. Tursimuratov S.S. Analyzing Reliability in Optical Transport Networks through Simulation Models. "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. № S1(48). Toshkent – 2024. – 6 p. (05.00.00; № 10)
2. Tursimuratov S.S. Simulation of OSNR monitoring for point-to-point optical communication links in WDM systems. Journal "Science and Education in Karakalpakstan" №4/2 (45). Nukus – 2025. – P. 277-284. (05.00.00; № 27)
3. Исаев Р.И., Турсимуратов С.С. Об одном методе оценки показателей надежности волоконно-оптических линии связи. "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" Ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. № 1(23). Toshkent-2023. - С. 56-61. (05.00.00; № 10)
4. Исаев Р.И., Турсимуратов С.С. Особенности эксплуатации волоконно-оптических линий связи в условиях резко континентального климата. International scientific journal "Science and innovation". 2023. (International scientific and technical conference "Digital technologies: problems and solutions of practical implementation in the spheres"). – P. 505-508. (OAK (12)) <https://doi.org/10.5281/zenodo.7856923>
5. Isaev R.I., Tursimuratov S.S. Statistical analysis of reliability indicators of fiber optical transport communication network. Journal "Science and Education in Karakalpakstan". №2/2 (41). Nukus-2024. – P. 137-141. (05.00.00; № 27)
6. Isaev R.I., Tursimuratov S.S. Simulation-numerical modeling of reliability indicators of a section of an optical transport communication network. "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" Ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. № 2(28). Toshkent-2024. – P. 89-94. (05.00.00; № 10)
7. Isaev R.I., Tursimuratov S.S., Shaudenbaev N.M. Assessing of reliability indicators of fiber-optic communication lines using statistical data. Journal "Science and Education in Karakalpakstan". №2/2 (33). Nukus-2023. - P.131-136. (05.00.00; № 27)
8. Исаев Р.И., Турсимуратов С.С., Журабеков А.Р. Оптическая транспортная сеть пятого поколения мобильной связи. Журнал «Инфокоммуникации: сети-технологии-решения». АК:ТТЕ № 3 (75), 2025. – С. 52-60. (05.00.00; № 2)
9. Saymanov I., Rikhsi I., Tursimuratov S., Jurabekov A., Davletova K. AI-Based OTDR Event Detection, Classification and Localization in Optical Communication Networks. Journal "Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning". Vol. 5, Issue 4, 2025. – P. 4631-4644. <https://www.oajaiml.com/uploads/archivepdf/779254257.pdf> (OAK (1), (3))

II bo‘lim (Часть II; Part II)

10. Турсумуратов С.С. Основные требования к волоконно-оптическим кабелям, используемые в условиях резкоконтинентального климата. “Иқтисодиёт тармоқларининг инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий – техник анжуманининг маърузалар тўплами, 1-қисм. Тошкент – 2021. - С. 422-424.

11. Турсумуратов С.С. Важность сбора информации и регистрации об отказах и восстановлениях при обеспечении надежности элементов волоконно-оптических сетей связи. “Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati” Respublika ilmiy-texnik anjumani, ma’ruzalar to‘plami. Toshkent – 2022. – С. 55-58.

12. Isaev R., Tursimurатов S.S. Estimation of the reliability of fiber-optical communication lines taking into account the influence of external factors using the semi-Markov model. International Conference on “Information Science and Communications Technologies -ICISCT 2021”. Tashkent, Uzbekistan – 2021. - 4 p. (OAK (3), OAK Rayosatining 2021-yil 30-oktyabrdagi 525-son qarori) <https://doi.org/10.1109/ICISCT52966.2021.9670413>

13. Исаев Р.И., Турсумуратов С.С. Разработка метода и мониторинг системы защиты от проникновений влаги подземных волоконно- оптических кабелей связи. “Иқтисодиёт тармоқларининг инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий – техник анжуманининг маърузалар тўплами, 1-қисм. Тошкент – 2021. – С. 425-427.

14. Исаев Р.И., Турсумуратов С.С. Особенности влияния внешних факторов на волоконно-оптические линии связи. “Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati” Respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami. Toshkent – 2022. – С. 38-40.

15. Исаев Р.И., Турсумуратов С.С. Классификация моделей надежности волоконно-оптических систем связи. Тезисы международной научно-практической конференции «Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий». Нукус – 2023. – С. 257-259. https://nukusstu.uz/images/2026/%D0%9C%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%94%D0%9C-2023_Volume_III.pdf

16. Isayev R.I., Tursimurатов S.S., Jo‘rabekov A.R. MATLAB paket dasturi yordamida OTDR reflektogrammalarni veyvlet-o‘zgartirishlar asosida tadqiq etish. “Raqamli transformatsiyalash jarayonida muhandislik sohalari va iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlantirish: muammo va yechimlar” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. II-qism. Toshkent – 2025. – В. 358-362.

17. Исаев Р.И., Турсимуратов С.С., Журабеков А.Р. Развитие оптических сетей доступа на основе фотонной технологии. “Материалы XXXII Российской научно-технической конференции «Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи». Самара – 2025. – С. 142-143. (Xorijiy) <https://conf.psuti.ru/uploads/ntk-2025.pdf>

18. Исаев Р.И., Турсимуратов С.С., Журабеков А.Р. Развитие оптических транспортных сетей на основе фотонной технологии. Материалы XXXII Российской научно-технической конференции «Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи». Самара – 2025. – С. 144-145. (Хорий) <https://conf.psuti.ru/uploads/ntk-2025.pdf>

19. Tursimuratov S.S., Jo‘rabekov A.R. Optik tolali sensor tizimlari asosida hudud perimetri xavfsizligini ta‘minlash masalalari. “Qurolli kuchlar tizimida raqamli texnologiyalarni qo‘llash muammolari va yechimlari” Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallar to‘plami. Toshkent – 2025. – B. 14-18.

20. Isaev R., Tursimuratov S., Jurabekov A., Davletova K. Analysis of OTDR Trace Curves of Fiber-Optic Communication Lines in the Harsh Climatic Conditions. International Conference on “Optical Communication, Photonics, Telecommunications & Intelligent Machine - OPTIMA-2025”. Tashkent, Uzbekistan – 2025. – P. 6-11. (OAK (3), OAK Rayosatining 2025-yil 28-noyabrdagi 377/3-son qarori)

<https://doi.org/10.1109/OPTIMA67660.2025.11380355>

21. Isaev R.I., Tursimuratov S.S., Jo‘rabekov A.R. Tolali optik aloqa liniyalarining ishonchliligini baholash dastur (PRIFOCL). O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 39634. 07.06.2024.

22. Xaytbaev A.F., Ismanov K.A., Abdumo‘minov A.A., Razikov A.A. Tursimuratov S.S. ComNet Analyzer. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 52836. 20.06.2025.

Avtoreferat “Moliya” jurnalida tahrirdan o‘tkazildi

Bosishga ruxsat etildi: 04.09.2026
Bichimi: 60x84 1/8 «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 4,2. Adadi: 100. Buyurtma: № 84.

«DAVR MATBUOT SAVDO» MChJ
bosmaxonasida chop etildi.
100198, Toshkent, Qo‘yliq, 4-mavze, 46.