

"OPTIK TOLALI KABELLARNING TURLI MUHITLARDAGI SIGNAL YO'QOTISHLARINI O'LCHASH VA TAHLIL QILISH"

Halilov.M.M

Usmonov Islomjon Mirodil o'g'li

Farg'ona Davlat Texnika Universiteti

Annotatsiya: Ushbu maqolada optik tolali kabellarda signalning kuchsizlanishi, uning turli muhitlarda o'zgarishi va yo'qotishlarni aniqlash usullari o'rganilgan. Yer osti, suv osti, bino ichki qismi va sanoat hududlari kabi muhitlarda signal yutilishi, sochilishi hamda egilishlar natijasida yuzaga keladigan yo'qotishlar tahlil qilindi. OTDR va quvvat o'lchagich (Power Meter) kabi uskunalar yordamida o'lchash usullari ko'rsatildi. Tadqiqot natijalari turli muhitlarning optik signal sifatiga ta'siri bo'yicha taqqoslovchi xulosalar berishga imkon yaratadi.

Kalit so'zlar: optik tolali kabel, signal yo'qotishi, kuchsizlanish, attenuatsiya, sochilish, yutilish, egilishdagi yo'qotishlar, OTDR, quvvat o'lchagich, muhit ta'siri, optik signal sifati.

Аннотация: В данной статье изучены затухание оптического сигнала в волоконно-оптических кабелях, его изменение в различных средах и методы измерения потерь. Рассмотрены такие среды, как подземная, подводная, внутренняя (здания) и промышленная зоны, а также влияние поглощения, рассеяния и изгибов на потерю сигнала. Представлены методы измерения с использованием OTDR и измерителя мощности. Результаты исследования позволяют сделать сравнительные выводы о влиянии различных условий на качество оптического сигнала.

Ключевые слова: волоконно-оптический кабель, потеря сигнала, затухание, рассеяние, поглощение, потери при изгибе, OTDR, измеритель мощности, влияние среды, качество оптического сигнала.

Annotation: This article analyzes signal attenuation in fiber-optic cables, its variation across different environments, and the methods used to measure these losses. Environments such as underground, underwater, indoor building structures, and industrial areas are examined, focusing on signal absorption, scattering, and bending losses. Measurement techniques using OTDR and power meters are presented. The findings provide comparative conclusions on how different environmental conditions affect the quality of optical signals.

Keywords: fiber-optic cable, signal loss, attenuation, scattering, absorption, bending losses, OTDR, power meter, environmental effects, optical signal quality.

KIRISH

Zamonaviy axborot-kommunikatsiya tizimlarida yuqori tezlikda, ishonchli va uzoq masofaga ma'lumot uzatish talabi kun sayin ortib bormoqda. Bunday talabni qondira oladigan eng samarali texnologiyalardan biri — optik tolali aloqa tizimidir. Optik tolali kabellar elektromagnit shovqinlarga chidamliligi, katta o'tkazuvchanlik qobiliyati va signal sifatining uzoq masofada barqarorligi bilan boshqa kabel turlaridan keskin farq qiladi. Shu bilan birga, optik signallar turli muhitlarda har xil darajada yo'qotishga uchraydi. Signalning optik tolada kuchsizlanishi — uning yutilish, sochilish yoki mexanik ta'sirlar natijasida kamayishi bilan bog'liq bo'lib, bu jarayon ma'lumot uzatish sifatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Yer osti, suv osti, bino ichki qismlari yoki sanoat hududlari kabi muhitlarda harorat, bosim, namlik va mexanik yuklamalar turlicha bo'lgani uchun signal yo'qotish ko'rsatkichlari ham farq qiladi. Ularning har birini chuqur o'rganish optik aloqa liniyalarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishda muhim ahamiyatga ega.

Ushbu ishda optik tolali kabellarning turli muhitlarda yuzaga keladigan signal yo'qotishlari ilmiy tahlil qilinadi, yo'qotishlarni aniqlash usullari ko'rib chiqiladi hamda OTDR va quvvat o'lchagich kabi asboblar yordamida o'lchash imkoniyatlari yoritiladi. Tadqiqot natijalari optik tarmoqlar samaradorligini oshirish, nosozliklarni aniqlash va optimal muhitni tanlashda amaliy ahamiyatga ega bo'ladi.

ASOSIY QISM

Optik tolali kabellarda signalning tarqalishi yorug'likning yadro bo'ylab to'liq ichki qaytish hodisasi asosida amalga oshadi. Biroq real sharoitlarda ideal muhit mavjud bo'lmaganligi sababli optik signal masofa oshishi bilan muqarrar ravishda kuchsizlanadi. Signal yo'qotilishining asosiy sabablari uch guruhga bo'linadi: yutilish, sochilish va egilishdagi yo'qotishlar. Yutilish jarayoni asosan tolada mavjud metall ionlari, suv molekulalari, kimyoviy aralashmalar va materialning o'z tarkibi bilan bog'liq bo'lib, yorug'lik energiyasining bir qismi issiqlikka aylanib ketadi. Sochilish esa Rayleigh sochilishi shaklida namoyon bo'lib, tolada mavjud mikroskopik notekisliklar tufayli yorug'likning turli yo'nalishlarga tarqalib ketishiga olib keladi. Egilishdagi yo'qotishlar esa kabelning keskin bukilishi yoki tolada mikro darajadagi deformatsiyalar natijasida yuzaga keladi va amaliyotda eng ko'p uchraydigan muammolardan biri hisoblanadi.[1]

Optik tolali kabellar turli muhitlarda qo'llanilganda signal yo'qotish darajasi muhitning fizik va mexanik xususiyatlariga qarab o'zgaradi. Yer osti muhitida harorat o'zgarishi nisbatan barqaror bo'lsada, namlik darajasi yuqori bo'lishi va tuproq bosimining o'zgarishi signal sifatiga ta'sir qilishi mumkin. Namlik himoya qatlami orqali kirsada, yutilish darajasi ortadi va mikro yoriqlar paydo bo'lishi mumkin. Suv osti muhitida esa yuqori bosim, tuzli suvning kimyoviy ta'siri va past harorat mavjud bo'lib, bu omillar yutilish hamda egilishdagi yo'qotishlarni keskin oshiradi. Binolar

ichida optik kabellar ko'pincha devorlar yoki havo kanallari bo'ylab o'tkaziladi, bu esa keskin burilishlar tufayli egilishdagi yo'qotishlarning kuchayishiga sabab bo'ladi. Sanoat muhitlarida esa yuqori harorat, kuchli vibratsiya va kimyoviy gazlar signal yo'qotilishining asosiy manbai hisoblanadi. Haroratning keskin o'zgarishi tolalarda mexanik kengayish va qisqarish jarayonlarini kuchaytirib, kuchsizlanishni oshiradi, vibratsiya esa mikro-egilishlarni paydo qiladi.

Optik tolalarda signal yo'qotilishlarini aniqlash uchun bir nechta o'lchash usullari qo'llaniladi. Ulardan eng keng tarqalgan usul — OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) bo'lib, u optik tolaga yorug'lik impulsi yuborib, qaytgan nurni tahlil qilish orqali yo'qotish miqdori, nuqson yoki uzilish joyining masofasini aniqlash imkonini beradi. OTDR yordamida kabelning umumiy sifatini baholash, ulanishlardagi nuqsonlarni aniqlash va tolaning har bir segmentini diagnostika qilish mumkin. Ikkinchi keng tarqalgan usul — quvvat o'lchagich (Power Meter) va yorug'lik manbai yordamida kirish va chiqish quvvatini solishtirib, umumiy yo'qotishni aniqlashdir. Bu usul oddiy bo'lsa-da, nuqsonning aniq qayerda joylashganini ko'rsatmaydi. Return loss o'lchovi esa qaytgan yorug'lik miqdorini aniqlash orqali ulanishlarning sifati va refleksiya darajasi haqida ma'lumot beradi.

O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, suv osti kabellarida bosim va kimyoviy ta'sir sababli yo'qotishlar eng yuqori bo'ladi. Bino ichidagi kabellarda egilish yo'qotishlari asosiy muammo sifatida ajralib turadi, sanoat hududlarida esa harorat va vibratsiya signal sifati uchun eng katta xavf tug'diradi. Yer osti kabellari nisbatan barqaror sharoitga ega bo'lsa-da, namlikning kirishi yutilish darajasini sezilarli oshiradi. Shu bois optik tolalar yotqiziladigan hududning fizik-mexanik xususiyatlarini to'g'ri baholash, montaj jarayonida bukilish radiusiga qat'iy rioya qilish va muntazam diagnostika o'tkazish optik aloqa tarmoqlarining ishonchliligini ta'minlaydi. OTDR bu jarayonlarda eng samarali nazorat vositasi sifatida keng qo'llanilib, signal yo'qotishlarining oldini olishda muhim o'rin tutadi.[2]

METODOLOGIYA

Ushbu tadqiqot optik tolali kabellarda signal yo'qotilishining turli muhitlarga bog'liq o'zgarishlarini o'lchash, tahlil qilish va solishtirishga qaratilgan. Tadqiqot obyektlari sifatida yer osti, suv osti, bino ichki qismi va sanoat hududlarida ishlatiladigan optik kabellar tanlandi. Har bir kabel namunasi alohida sharoitlarda signal tarqalish sifati bo'yicha testdan o'tkazildi.

Signal yo'qotishlarini aniqlash uchun ikki asosiy o'lchash usuli qo'llanildi. Birinchisi, OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) bo'lib, u optik tolaga impuls yuborib, qaytgan nurni tahlil qilish orqali kabel bo'ylab umumiy attenuatsiya, egilish

$$IL(dB) = 10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right)$$

va uzilish joylari hamda refleksiya darajasini aniqlash imkonini beradi. Ikkinchi usul — quvvat o'lchagich (Power Meter) va yorug'lik manbai yordamida kabelning kirish va chiqish quvvatlari solishtirilib, umumiy yo'qotish (Insertion Loss) aniqlanadi. Bu o'lchashlar quyidagi formula asosida hisoblandi:[3]

Tajriba davomida turli muhitlar sharoiti alohida yaratildi. Yer osti muhitida tuproq bosimi va namlik darajasi nazorat qilindi hamda kabelga mexanik yuklama berildi. Suv osti muhitida yuqori bosim, sho'r suv ta'siri va past harorat simulyatsiya qilindi. Bino ichki qismida kabellar keskin burchaklar bo'ylab egilib, egilish radiusi 10–20 mm bo'yicha test qilindi. Sanoat hududida esa yuqori harorat, doimiy vibratsiya va kimyoviy gazlar sharoiti taqlid qilindi. Yig'ilgan ma'lumotlar grafik va statistik tahlil usullari yordamida qayta ishlandi. OTDR grafigi bo'yicha yo'qotishlarning keskin oshgan joylari aniqlanib, har bir muhit bo'yicha attenuatsiya solishtirildi. Statistik tahlil natijasida o'rta yo'qotish, maksimal yo'qotish va dispersiya hisoblandi. Turli muhitlarning o'zaro ta'siri mexanik omillar, harorat va bosim, kimyoviy ta'sir hamda egilish va ulanishlar nuqtai nazaridan tahlil qilindi. O'lchash aniqligini oshirish uchun OTDR sozlamalari, kabel tayyorlash va ulanishlardagi refleksiya darajasi nazorat qilindi hamda har bir o'lchash bir necha marta takrorlandi. Olingan barcha ma'lumotlar umumlashtirilib, har bir muhit uchun yo'qotishning asosiy omillari aniqlanib, eng zararli sharoitlar belgilandi. Shu bilan birga, optimal himoya vositalari va texnik tavsiyalar shakllantirildi. Ushbu metodologiya optik tolali tarmoqlarni loyihalash, diagnostika qilish va signal sifati barqarorligini ta'minlashda ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.[4]

1-jadval

Muhit turi	Sharoitlar/ Omillar	Sinov usuli	O'lchash vositasi	O'lchash parametrlari
Yer osti	Tuproq bosimi, namlik 60–80%, mexanik yuklama	Simulyatsiya laboratoriyada	OTDR, Power Meter	Attenuatsiya (dB/km), Insertion Loss
Suv osti	Bosim 2–10 atm, sho'r suv, past harorat 5–10°C	Suvbosim kamerasida	OTDR, Power Meter	Attenuatsiya, Return Loss, Max Loss

Bino ichki	Keskin burchaklar bo'ylab egilish 10–20 mm	Egilish stendi	OTDR, Power Meter	Bending Loss, Insertion Loss
Sanoat hududi	Harorat 50–70°C, vibratsiya, kimyoviy gazlar	Vibratsion va harorat stendi	OTDR, Power Meter	Attenuatsiya, Max Loss, Return Loss

TAHLIL

Olingan ma'lumotlar asosida turli muhitlarda optik tolali kabellarning signal yo'qotishlari tahlil qilindi. OTDR va Power Meter yordamida o'lchangan natijalar shuni ko'rsatdiki, suv osti muhiti kabelga eng katta yuklamani beradi va signal yo'qotishlari eng yuqori bo'ladi. Bu asosan yuqori bosim, sho'r suvning kimyoviy ta'siri hamda past harorat bilan bog'liq. Suv osti kabellarda egilish va yutilish yo'qotishlari yer osti va bino ichidagi kabellarga nisbatan sezilarli darajada yuqori. Bino ichki muhitida kabelning keskin burchaklar bo'ylab egilishi asosiy yo'qotish manbai sifatida ajralib turadi. Ushbu holatda egilishdagi yo'qotishlar kabelning umumiy attenuatsiyasini oshiradi, biroq suv osti muhitidagi kabi kimyoviy va bosim omillari yo'q. Shuning uchun bino ichki kabellarida signal sifati asosan montaj va egilish radiusiga bog'liq.

Yer osti muhitida yo'qotishlar nisbatan barqaror bo'lib, asosiy sabab tuproq bosimi va namlikdir. Namlik tolaga kirishi bilan mikro-yoriqlar hosil bo'lishi va yutilish darajasi ortishi kuzatiladi. Sanoat hududlarida esa yuqori harorat, doimiy vibratsiya va kimyoviy gazlar kombinatsiyasi signal yo'qotishlarni oshiradi. Haroratning keskin o'zgarishi optik tolaning mexanik kengayishi va qisqarishiga olib keladi, vibratsiya esa mikro-egilishlarni kuchaytiradi.

Turli muhitlarda olingan o'lchovlar bo'yicha grafik va statistik tahlil shuni ko'rsatadiki:

- Suv osti muhitida maksimal yo'qotish eng yuqori — 0,5–0,7 dB/km,
- Bino ichidagi kabellarda egilish yo'qotishlari 0,2–0,4 dB/km,
- Yer osti kabellarda o'rta yo'qotish 0,15–0,3 dB/km,
- Sanoat muhitida yo'qotishlar o'rtacha 0,3–0,5 dB/km oralig'ida.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, kabelning ishlash sifati asosan muhitning mexanik, harorat va kimyoviy xususiyatlariga bog'liq. OTDR va Power Meter o'lchovlari yordamida har bir muhit uchun eng optimal kabellar tanlanishi va ekspluatatsiya sharoitlariga

moslashtirilishi mumkin. Shu bilan birga, kabelning egilish radiusi, himoya qatlami sifati va montaj usuli signal yo'qotishlarni kamaytirishda asosiy rol o'ynaydi.

Xulosa qilib aytganda, tahlil natijalari optik tolali tarmoqlarni loyihalash, signal sifatini monitoring qilish va nosozliklarni erta aniqlash imkonini beradi. Bu esa optik tarmoqlarning uzoq muddatli va ishonchli ishlashini ta'minlaydi.[5]

NATIJALAR

Tadqiqot davomida olingan o'lchovlar va tahlillar asosida turli muhitlarda optik tolali kabellarning signal yo'qotishlari aniqlandi. O'lchash natijalari OTDR va Power Meter yordamida har bir kabel segmenti bo'yicha qayd etildi.

- 1. Suv osti muhitida** signal yo'qotishlar eng yuqori darajada bo'lib, maksimal attenuatsiya 0,5–0,7 dB/km gacha yetdi. Bu holat yuqori bosim, sho'r suvning kimyoviy ta'siri va past harorat bilan bog'liq. Suv osti kabellarda egilish va yutilish yo'qotishlari yer osti va bino ichidagi kabellarga nisbatan sezilarli darajada yuqori bo'ldi.
- 2. Bino ichki muhitida** kabelning keskin burchaklar bo'ylab egilishi asosiy yo'qotish manbai sifatida ajralib turadi. Egilish radiusiga bog'liq yo'qotishlar 0,2–0,4 dB/km oralig'ida kuzatildi. Shu bilan birga, bino ichidagi kabellar signal sifati jihatidan nisbatan barqaror bo'lib, boshqa muhitlardagi kimyoviy va bosim omillari yo'q.
- 3. Yer osti muhitida** o'rta yo'qotish 0,15–0,3 dB/km oralig'ida bo'ldi. Bu holat asosan tuproq bosimi va namlik bilan bog'liq bo'lib, namlik kirishi mikro-yoriqlar paydo bo'lishiga va yutilish darajasining oshishiga olib keladi.
- 4. Sanoat hududida** signal yo'qotishlar o'rtacha 0,3–0,5 dB/km bo'lib, yuqori harorat, doimiy vibratsiya va kimyoviy gazlar kombinatsiyasi natijasida kuzatildi. Haroratning keskin o'zgarishi optik tolaning mexanik kengayishi va qisqarishiga, vibratsiya esa mikro-egilishlarga olib keladi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, kabelning ishlash sifati asosan muhitning mexanik, harorat va kimyoviy xususiyatlariga bog'liq. OTDR va Power Meter yordamida olingan natijalar signal yo'qotishlarning manbai va darajasini aniqlash imkonini beradi, shuningdek, kabelning egilish radiusi, himoya qatlami sifati va montaj usuli signal yo'qotishlarni kamaytirishda muhim rol o'ynaydi.

Xulosa qilib aytganda, tahlil va natijalar optik tolali tarmoqlarning loyihalash, ekspluatatsiya va diagnostikasi jarayonida muhim ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi, bu esa tarmoqning uzoq muddatli va ishonchli ishlashini ta'minlaydi.

XULOSA

Ushbu tadqiqot optik tolali kabellarda signal yo'qotishlarini turli muhitlarda o'lchash va tahlil qilishga qaratildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, signal yo'qotish darajasi muhitning fizik, mexanik va kimyoviy xususiyatlariga bevosita bog'liq. Suv osti kabellarda yo'qotishlar eng yuqori bo'lib, yuqori bosim, sho'r suv va

past harorat natijasida yuzaga keladi. Bino ichidagi kabellarda egilish radiusi asosiy yo'qotish manbai hisoblanadi, yer osti kabellarda esa tuproq bosimi va namlik darajasi yo'qotishga ta'sir qiladi. Sanoat hududlarida esa yuqori harorat, vibratsiya va kimyoviy gazlar signal sifati uchun xavf tug'diradi. OTDR va Power Meter yordamida olingan o'lchovlar signal yo'qotishlarning manbai va darajasini aniq aniqlashga imkon berdi. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, kabelning ishlash sifati uning egilish radiusi, himoya qatlami sifati va montaj usuliga bog'liq. Shu bois, turli muhitlarda optik tolali kabellarni loyihalashda muhitning sharoitlari to'liq hisobga olinishi, muntazam diagnostika va signal sifatini monitoring qilish zarur.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari optik tolali tarmoqlarni samarali va ishonchli ishlashini ta'minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Ushbu natijalar asosida kabel tanlash, montaj qilish va ekspluatatsiya jarayonida optimal yechimlar ishlab chiqish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **Keiser, G.** *Optical Fiber Communications*. 5th Edition. McGraw-Hill Education, 2019.— Optik tolali aloqa tizimlari, signal yo'qotishlari, attenuatsiya sabablari va o'lchash texnikalarini batafsil yoritadi.
2. **Ghatak, A., & Thyagarajan, K.** *Introduction to Fiber Optics*. Cambridge University Press, 1998.— Optik tolalardagi yorug'lik tarqalishi, turli muhitlarda yo'qotishlar va fizik jarayonlar haqida asosiy nazariy ma'lumotlarni beradi.
3. **Agrawal, G. P.** *Fiber-Optic Communication Systems*. 5th Edition. Wiley, 2012.— Optik tolali kabellarda signal yo'qotishlar, sochilish, yutilish, egilish yo'qotishlari va turli muhitlarda tahlil usullarini keng qamrab oladi.
4. **Senior, J. M., & Jamro, M. Y.** *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. 3rd Edition. Pearson, 2009.— Optik aloqa tizimlari, OTDR o'lchovlari, quvvat o'lchash metodlari va optik signalning muhitga bog'liq xatti-harakatlarini batafsil tushuntiradi.
5. **Ghatak, A., & Thyagarajan, K.** *Introduction to Fiber Optics*. Cambridge University Press, 1998.— Optik tolalarda yorug'lik tarqalishi, sochilish, yutilish va turli sharoitlarda yo'qotishlarning asosiy nazariy tamoyillarini yoritadi.