

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Кеңесбай Даниал Қуандықұлы

«Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау
үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 - Телекоммуникациялар

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

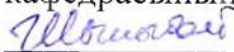
Тақырыбы «Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты
анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу»

6B06201 – Телекоммуникациялар

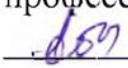
Орындаған:

Д.Қ. Кеңесбай

Рецензент:

Ғ. Дәукеев атындағы Алматы ЭЖБҰ
«Энергиямен қамтамасыз ету, электр
жетегі және электротехника»
кафедрасының меңгерушісі, PhD докторы
 Ж.Шыныбай

« 19 » 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші
техн. ғыл. кандидаты,
ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған
профессоры
 М.А. Абдуллаев

« 10 » 05 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B06201 – Телекоммуникациялар



Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы: Кеңесбай Даниял Куандықұлы

Тақырыбы: «Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу».

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 ж. № 26-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «29» мамыр 2025 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: 1) Диагностикалау ұзындығы: 0.5 км – 1 км; Дәлдік: ± 0.5 метр; 3) Оптикалық қуатты өлшеу диапазоны: -5 дБм – -70 дБм; 4) Қайта таралу коэффициенті: ≥ 35 дБ; 5) Сканирлеу уақыты: ≤ 30 сек.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) OTDR-дің жұмыс принциптерін және оның оптикалық талшықты желілердегі қолдану аймақтарын зерттеу; б) OTDR-ді қолдана отырып, талшықтық желінің негізгі параметрлерін өлшеу әдістерін талдау (құрылымының ұзындығы, әлсіреу, қосылу жоғалтулары, ақаулар); в) OTDR арқылы желідегі ақауларды диагностикалау әдістерін зерттеу; г) Диагностикалау сапасын жақсарту үшін OTDR параметрлерін бейімдеудің заманауи әдістерін ұсыну.

Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. Keiser, G. Optical Fiber Communications. – 5th Edition. – McGraw-Hill, 2021. – 616 бет.
2. Agrawal, G.P. Fiber-Optic Communication Systems. – 4th Edition. – Wiley, 2010. – 626 бет.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Оптикалық талшықты желілердегі OTDR-дің қолдану тиімділігі туралы	1.02.2025 ж. - 21.02.2025	<i>орындау</i>
OTDR арқылы диагностикалау сапасын жақсарту	21.02.2025 - 01.03.2025	<i>орындау</i>
Эксперименттік зерттеулер нәтижелері негізінде диагностикалау әдістерінің техникалық және экономикалық артықшылықтары	01.03.2025 - 14.05.2025	<i>орындау</i>

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Т.ғ.к., ЭТжҒТ каф. қауымдастырылған профессоры Абдуллаев М.А.	10.2.25	<i>М.А. Абдуллаев</i>
Теориялық ақпарат	Т.ғ.к., ЭТжҒТ каф. қауымдастырылған профессоры Абдуллаев М.А.	1.03.25	<i>М.А. Абдуллаев</i>
Норма бақылау	ЭТжҒТ каф. аға оқытушысы Досбаев Ж.М.	19.05.25	<i>Ж.М. Досбаев</i>

Ғылыми жетекшісі *М.А. Абдуллаев* М.А. Абдуллаев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы *Д.К. Кеңесбай* Д.К. Кеңесбай

Күні « 1 » 02 2025 ж.

АҢДАТПА

OTDR құрылғысы – оптикалық талшықты желілердің күйін тексеру және ақауларды диагностикалау үшін таптырмас құрал. Талшық ұзындығы, әлсіреу, қосылу жоғалтулары және ақаулардың түрлері мен орындары туралы алынған мәліметтер желінің жағдайын толық бағалауға мүмкіндік береді. Заманауи OTDR құрылғылары әртүрлі өлшеу параметрлерін автоматты түрде реттей алады, бұл желінің диагностикасын жылдам әрі дәл жүргізуге мүмкіндік береді. Мұндай әдістер арқылы байланыс желілерінің сенімділігін қамтамасыз етуге болады.

OTDR көмегімен талшықты-оптикалық желілерді диагностикалауда нақты ақауларды жылдам және дәл анықтаудың тиімді әдістемесі ұсынылды. Зерттеу барысында алынған өлшемдер мен интерпретациялау үлгілері нақты желілерде қолдану үшін адаптацияланды және жаңа талдау алгоритмі ұсынылды.

АННОТАЦИЯ

Устройство OTDR-незаменимый инструмент для проверки состояния оптоволоконных сетей и диагностики неисправностей. Полученные данные о длине волокна, затухании, потерях соединения и типах и местах неисправностей позволяют в полной мере оценить состояние сети. Современные OTDR-устройства могут автоматически регулировать различные параметры измерения, что позволяет быстро и точно проводить диагностику сети. С помощью таких методов можно обеспечить надежность линий связи.

Предложена эффективная методика быстрого и точного выявления реальных дефектов при диагностике волоконно-оптических сетей с помощью OTDR. Измерения и модели интерпретации, полученные в ходе исследования, были адаптированы для использования в реальных сетях и предложен новый алгоритм анализа

ANNOTATION

The OTDR device is an indispensable tool for checking the status of optical fiber networks and diagnosing malfunctions. The data obtained on fiber length, attenuation, connection losses and types and locations of failures allow a full assessment of the state of the network. Modern OTDR devices can automatically adjust various measurement parameters, which allows you to quickly and accurately diagnose the network. Through such methods, it is possible to ensure the reliability of communication lines. An effective methodology for fast and accurate detection of specific defects in the diagnosis of fiber optic networks using OTDR has been proposed. The measurements and interpretation patterns obtained during the study were adapted for use in real networks and a new analysis algorithm was proposed

МАЗМҰНЫ

Кіріспе

1	OTDR-дің жұмыс принциптерін және оның оптикалық талшықты желілердегі қолдану аймақтарын зерттеу	9
1.1	Yokogawa AQ1000 OTDR	9
1.2	Оптикалық талшықты кабельдер	11
1.3	Өлшеу әдістері. Өшу дәрежесін өлшеу (талшықтың әлсіреу коэффициенті)	12
1.4	Қосылу шығынын өлшеу (splice loss)	13
1.5	Сандық апертураны анықтау әдісі	14
1.6	Әдебиеттерге шолу	21
2	OTDR арқылы желідегі ақауларды диагностикалау әдістерін зерттеу	23
2.1	Диагностика жүргізу әдісі	23
2.2	OTDR-ді қолдана отырып, талшықтық желінің негізгі параметрлерін өлшеу әдістерін талдау	27
2.3	Ұзындықты өлшеу (Length Measurement)	27
2.4	Әлсіреуді (Attenuation) өлшеу	27
2.5	Қосылу жоғалтулары (Splice Loss) өлшеу	28
2.6	Ақауларды анықтау (Fault Detection)	29
3	Диагностикалау сапасын жақсарту үшін OTDR параметрлерін бейімдеудің заманауи әдістері	33
3.1	Импульс ұзақтығын бейімдеу	33
3.2	Қашықтық диапазонын дұрыс таңдау	33
3.3	Орташа алу (Averaging) параметрлерін бейімдеу	33
3.4	Сыну көрсеткішін нақты енгізу	34
3.5	Event Table және интеллектуалды диагностика	34
3.6	Бірнеше толқын ұзындығын қолдану	34
3.7	Launch және Receive талшықтарын қолдану	35
3.8	OTDR арқылы диагностикалау сапасын жақсарту	37
3.9	Қосылу шығындарын және шағылысуларды оңтайлы өлшеу	38
3.10	Микрожарықтар мен майысуларды дұрыс анықтау	38
3.11	Эксперименттік зерттеулер нәтижелері негізінде диагностикалау әдістерінің техникалық және экономикалық артықшылықтары	41
	Қорытынды	46
	Пайдаланылға әдебиеттер тізімі	47

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы телекоммуникациялық инфрақұрылымда оптикалық талшықты байланыс желілері негізгі ақпарат тарату арнасы ретінде кеңінен қолданылады. Жоғары өткізу қабілеті, электромагниттік әсерлерге төзімділік және ұзақ қашықтықтарға сапалы сигнал жеткізу мүмкіндігі бұл технологияны басқа баламалардан айрықша етеді. Алайда, мұндай желілерде туындайтын түрлі ақаулар мен үзілістер байланыс сапасын төмендетіп, қызмет көрсетуде іркілістерге әкелуі мүмкін. Сондықтан да, желілердің техникалық күйін уақытылы бақылау және диагностикалау – олардың сенімді әрі үздіксіз жұмысын қамтамасыз етудің маңызды шарты болып табылады.

Оптикалық рефлектометр (OTDR – Optical Time Domain Reflectometer) – талшықты желілерді тексерудің тиімді құралы. Бұл құрылғы талшық бойымен жіберілген жарық импульстерінің кері шағылу сипаттамаларын тіркей отырып, желінің физикалық құрылымы мен ақаулар жайлы толық ақпарат береді. OTDR көмегімен жарықтың өшу дәрежесі, байланыс үзілген орын, қосылыстардағы жоғалтулар және басқа да маңызды параметрлер анықталады. Мұндай талдаулар желіні жөндеу және оңтайландыру кезінде шешуші рөл атқарады.

Зерттеудің өзектілігі желі құрылымдарының күрделенуімен және деректер ағынының артуымен тікелей байланысты. Қазіргі кезде байланыс операторлары мен телекоммуникация мамандары жоғары дәлдіктегі өлшеу әдістерін қажет етеді. OTDR – осындай талаптарға жауап беретін құралдардың бірі болғанымен, оның деректерін дұрыс түсініп, тиімді пайдалану әдістемесін жетілдіру әлі де өзекті мәселе күйінде қалып отыр.

Осыған байланысты бұл зерттеудің мақсаты – оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін теориялық және тәжірибелік тұрғыда зерттеу. Зерттеу барысында OTDR-дың жұмыс принципі, әртүрлі желі конфигурацияларындағы қолданылу ерекшеліктері және ақауларды нақты анықтау алгоритмдері қарастырылады.

Сонымен қатар, отандық телекоммуникациялық жүйелерді диагностикалау саласында OTDR технологиясын тиімді қолдану жолдарын ұсыну – бұл жұмыстың практикалық маңызын арттыра түседі.

Оптикалық талшықты байланыс жүйелерінің маңыздылығы мен қазіргі таңдағы қолданылу ауқымы;

Желідегі ақауларды анықтаудың қажеттілігі;

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) құрылғысының жұмыс істеу принципі мен артықшылықтары;

Диагностиканың өзекті мәселелері: ақау орны мен түрін нақты анықтау;

Зерттеу тақырыбының өзектілігі мен практикалық мәні;

Зерттеу мақсаты:

Оптикалық талшықты желілердегі ақауларды диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін теориялық және практикалық тұрғыдан зерттеу.

Зерттеу міндеттері:

1. OTDR құрылғысының жұмыс принципін сипаттау;
2. OTDR көмегімен талшықты желі ақауларын анықтау әдістерін талдау;
3. Түрлі типтегі ақаулар мен рефлексиялар бойынша деректерді интерпретациялау жолдарын қарастыру;
4. Диагностиканың дәлдігін арттыру жолдарын ұсыну;
5. Зерттеу нәтижелерін тәжірибе арқылы тексеру.

2. Материалдар мен әдістер

Қолданылған жабдықтар: OTDR түрлері (Yokogawa AQ1000);

Зерттеу объектісі: нақты талшықты байланыс желісі үлгісі;

Өлшеу әдістері: рефлексия, өшулік, қашықтық, оқшаулау коэффициенті;

Эксперименттік орнатылым сипаттамасы;

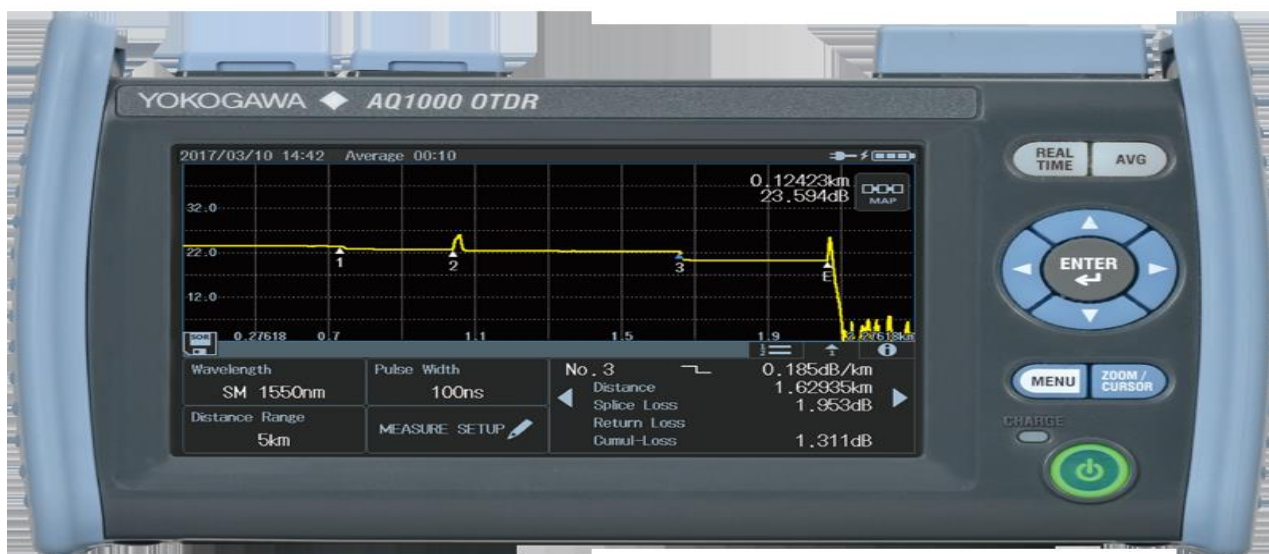
Анализ әдістері (графиктік, математикалық өңдеу, салыстыру).

1 OTDR-дің жұмыс принциптерін және оның оптикалық талшықты желілердегі қолдану аймақтарын зерттеу

Зерттеу жұмысының міндеті – әртүрлі ұзындықтағы бірмодалы және көпмодалы оптикалық талшықтардағы ақауларды талдап, олардың негізгі оптикалық параметрлерін анықтау. Ол үшін Yokogawa AQ1000 маркалы оптикалық уақыттық рефлектометр (OTDR) құрылғысы және 3 м, 371 м, 1050 м ұзындықтағы талшықты-оптикалық кабель үлгілері қолданылды. Төменде қолданылған құрылғының сипаттамалары, талшық түрлері, өлшеу әдістері және эксперименттік жүргізілу тәртібі баяндалады.

1.1 Yokogawa AQ1000 OTDR

Yokogawa AQ1000 – оптикалық талшық желілерін сынауға арналған портативті оптикалық уақыттық рефлектометр. Бұл құрылғы талшық бойымен оптикалық импульс жіберіп, кері шашыраған және шағылған сигналды тіркеу арқылы талшықтағы жоғалтулар профилін және ақау орындарын анықтайды. AQ1000 моделі бір уақытта екі негізгі толқын ұзындығында – 1310 нм және 1550 нм – жұмыс істей алады. Құрылғының динамикалық диапазоны 1310 нм-де 32 дБ, 1550 нм-де 30 дБ-ға жетеді, бұл ~100 км-ге дейінгі талшық ұзындықтарын өлшеуге жеткілікті сезімталдықты қамтамасыз етеді. AQ1000 өлшеу нәтижелерін 5.0 дюймдік сенсорлы дисплейінде дәстүрлі трассалық көрініс (Trace view) түрінде көрсетеді, мұнда рефлектограмма қисығы және талданған оқиғалар (оқыс өзгерістер, қосылулар) белгіленеді. Сондай-ақ, карталық көрініс (Map view) режимі бар – онда талшық желісі схема түрінде жеңілдетіліп бейнеленеді.



1.1-сурет – Yokogawa AQ1000 OTDR

Құрылғының өлшеу мүмкіндіктеріне талшық ұзындығын есептеу, өшу дәрежесін (шығын коэффициентін) анықтау, шағылысу (кері қайту) шығынын өлшеу, оқиғаларды автоматты іздеп-табуды және PASS/FAIL (рұқсат/тыйым) шегіне сәйкес бағалауды қоса қамтиды. AQ1000 рефлектометрінде өлшеуді толық автоматты режимде бастауға болады – бір батырманы басу арқылы құрылғы талшықтағы оқиғаларды тауып, олардың әлсіреу мәндерін есептеп, пайдаланушы белгіленген шектері бойынша PASS/FAIL қорытындысын шығарады.

Автоматты режимде алынған деректер ішкі жадқа сақталуы немесе PDF форматында есеп ретінде шығарылуы мүмкін. Дегенмен, біздің зертханада дәл өлшеулер жүргізу үшін құрылғыны қолмен баптау режимінде пайдаландық: әр түрлі ұзындықтағы талшықтар үшін қашықтық диапазоны мен импульс ұзақтығын өзіміз таңдадық. AQ1000 ең кіші қашықтық диапазоны 0.2 км (200 м) болғандықтан, өте қысқа талшықты өлшеуде (3 м) құрылғыны осы ең қысқа диапазонға қойдық.

Сәйкесінше, шағын талшық бөліктерін сынағанда импульс ұзақтығының ең қысқа мәндері (мысалы, 3 нс) пайдаланылды, ал ұзын талшықтар үшін сигнал/шу қатынасын жақсарту мақсатында сәл ұзағырақ импульстар (50–100 нс) таңдалды. Өлшеу толқын ұзындығы талшық типіне қарай белгіленді: бірмодалы талшықтар үшін 1310 нм және 1550 нм-де тәжірибелер жүргізілсе, көпмодалы талшықты өлшеу 1310 нм диапазонында іске асырылды (AQ1000 құрылғысы 850 нм толқынында жұмыс істемейтіндіктен). Барлық өлшеулерде талшықтың сыну көрсеткіші құрылғы мәзірінде тиісті мәнге орнатылды (бірмодалы G.652 талшық үшін $n \approx 1.467$, көпмодалы талшық үшін $n \approx 1.496$), бұл рефлектометрдің қашықтықты дұрыс есептеуі үшін қажет.

Yokogawa AQ1000 OTDR құрылғысының сыртқы көрінісі және экрандағы өлшеу нәтижелері. Суретте 1550 нм толқын ұзындығында 5 км диапазонға қойылған өлшеу мысалы көрсетілген: сары қисық – талшық бойындағы кері шашыранды сигнал (рефлектограмма); 1, 2, 3 сандарымен белгілер – анықталған оқиғалар (мысалы, №2 – қосылу орын алған жер); экранның төменгі бөлігінде сол оқиғаға қатысты Splice Loss (қосылу шығыны), Distance (оқиға арақашықтығы), Return Loss (шағылысу шығыны) және Cumul. Loss (кумулятивті шығын) сияқты параметрлер көрсетілген.

Құрылғыны баптау барысында реал-тайм (Real-Time) режимі де пайдаланылды: бұл режим талшықты жылдам тексеріп, ақауды іздеуде ыңғайлы, себебі құрылғы тоқтаусыз жиі кадрлық өлшеу жүргізіп отырады. Реал-тайм режимі, мысалы, талшық ұшын қозғағанда немесе қосқышты ажыратқанда, оның рефлектограммадағы әсерін дереу бақылауға мүмкіндік береді. Нақты өлшемдер жасау үшін құрылғының орташа алу (averaging) функциясын қолдандық – әр талшық үшін бірнеше секунд бойы қайталанған ізбе-із импульстердің орташа мәні алынып, шу әсері азайтылды.

Нәтижесінде экранда тұнық рефлектограмма және оқиғалар кестесі алынды. AQ1000 рефлектометрі әр анықталған оқиғаны нөмірлеп, олардың сипаттарын автоматты түрде есептейді (мысалы, қосылу шығынын дБ түрінде,

оқиғаға дейінгі және кейінгі сигнал деңгейлерінің айырмасымен анықтайды). Өлшеу деректері ішкі жадта сақталып, қажет болғанда компьютерге USB арқылы экспортталды [1].

1.2 Оптикалық талшықты кабельдер

Зерттеуде талшықты-оптикалық байланыс желілерінде кең қолданылатын екі түрлі талшық типі қарастырылды: бірмодалы және көпмодалы. Олардың сипаттамалары мен осы жұмыстағы рөлі төменде келтірілген:

Бірмодалы оптикалық талшық (Single-Mode) – core диаметрі ~ 9 мкм, cladding диаметрі 125 мкм, халықаралық ITU-T G.652 стандартына сай келетін талшық. Бірмодалы талшық тек бір жарық модасын жүргізетіндіктен, алыс қашықтықты желілерде қолданылады. Экспериментте ұзындығы 1050 м болатын бірмодалы талшық катушкасы пайдаланылды. Ұзын бірмодалы талшықты зерттеу арқылы талшықтың орташа әлсіреу дәрежесін дәл анықтауға болады, себебі 1 км шамасындағы ұзындықта өшу көрсеткіші айқынырақ байқалады. Әдетте, бірмодалы талшықтың 1310 нм толқын ұзындығындағы өшуі шамамен 0.5 дБ/км, ал 1550 нм-де ~ 0.4 дБ/км құрайды, яғни инфрақызыл ұзын толқында шығын аздау болады. Біздің 1050 м талшықты сынау барысында осы теориялық мәндермен салыстыру үшін екі толқын ұзындығында да (1310 және 1550 нм) өлшеулер жүргізілді. Бірмодалы талшықтағы ақауларды (мысалы, қосылу муфтасын немесе үзіктігін) диагностикалау арқылы құрылғының жоғары ажыратымдылығы мен сезімталдығы тексерілді.

Көпмодалы оптикалық талшық (Multi-Mode) – core диаметрі 50 мкм (немесе 62.5 мкм), cladding 125 мкм болатын талшық; көптеген модалардың таралуына мүмкіндік береді. Көпмодалы талшықтар әдетте қысқа қашықтықтағы (САМ, кампус ішіндегі немесе ғимарат ішілік) байланыстарда 850 нм және 1300 нм жарық көздерімен қолданылады. Зерттеуде ұзындығы 371 м болатын көпмодалы талшық үлгісі пайдаланылды. Бұл талшық бойымен бірден бірнеше мода таралатындықтан, оның сандық апертурасы бірмодалыға қарағанда жоғары және өшуі де көбірек болады (мысалы, 1300 нм толқын үшін ~ 1 дБ/км шамасында). 371 м ұзындықтағы көпмодалы талшықты OTDR арқылы 1310 нм-де өлшеп, оның әлсіреу деңгейін анықтадық.

Сонымен бірге, осы талшықтың сандық апертурасы мен модалар санын тәжірибелік әдіспен бағалау мақсат етілді (төменде әдістер бөлімінде сипатталған). Көпмодалы талшықтағы ақау диагностикасы бірмодалыға қарағанда күрделірек болуы мүмкін, себебі әр түрлі модалардың өшуі әркелкі әрі шағылу деңгейі жоғарырақ. Дегенмен, AQ1000 рефлектометрінің сезімталдығы көпмодалы талшықтағы қосылыстарды да анықтауға жеткілікті [2].

Қысқа талшық сегменттері (патч-кордтар) – ұзындығы 3 м шамасындағы бірмодалы және көпмодалы талшық үзінділері қосымша материал ретінде қолданылды. 3 метрлік талшық – өте қысқа үлгі, оны зерттеу бірнеше мақсатқа қызмет етті. Біріншіден, OTDR құрылғысының «өлі аймағы» әсерін бақылап, өте

жақын орналасқан оқиғаны (талшықтың еркін ұшын немесе ақауды) табу мүмкіндігін сынадық. Екіншіден, қысқа талшықты үлкенірек сегменттермен біріктіре отырып, қосылу орындарындағы жоғалтуды өлшеуге қолдандық. Атап айтқанда, 3 м патч-кордты 371 м немесе 1050 м талшықтың басына қосып, OTDR-дің алғашқы коннектордағы шығынды (муфтадағы қосылу жоғалтулары) анықтау дәлдігін тексердік. Мұндай қысқа launch-талшық OTDR импульсының бастапқы бөлігі мен негізгі талшық арасындағы интерфейсті көруге мүмкіндік береді – егер патч қолданылмаса, OTDR-дің бастапқы импульсінен кейінгі соқыр аймағында алғашқы қосылу байқалмай қалуы мүмкін. Сонымен қатар, 3 м көпмодалы талшық үзіндісін сандық апертураны тікелей өлшеу экспериментінде пайдаландық (оның бір шеті арқылы жарық енгізіліп, екінші шетінен шыққан конустың бұрышы өлшенді).

1.3 Өлшеу әдістері. Өшу дәрежесін өлшеу (талшықтың әлсіреу коэффициенті)

Оптикалық талшықтың орташа өшу дәрежесі (α , дБ/км) OTDR рефлектограммасындағы артқы шашыранды сигналдың құлау еңісіне қарап анықталды. Құрылғы экранында көрінетін трассадағы түзу учаскеге екі маркер қойылып, сол аралықтағы сигнал деңгейінің айырмасы есептелді де, арақашықтыққа бөліп өшу коэффициенті табылды. Мысалы, бірмодалы 1050 м талшық үшін 0 және 1000 м нүктелерінің сигнал деңгейлеріндегі айырманы алу арқылы шамамен дБ/км мән алынды. AQ1000 құрылғысы бұл есептеуді автоматты түрде жүргізеді – маркерлер арасындағы өшуді дБ түрінде және эквивалентті түрде дБ/км түрінде көрсетеді. Дәлірек нәтижеге қол жеткізу үшін рефлектометрдің кіріктірілген Least Squares Analysis (LSA) алгоритмі қолданылды: құрылғы таңдалған талшық бөлігіндегі шуыл басым қисыққа сызықты аппроксимация жүргізіп, ең кіші квадраттар әдісімен оңтайлы түзу сызық сызады. Сол сызықтың еңісі талшықтың өшу коэффициентін береді. Бұл әдіс әсіресе ұзын талшық соңында сигналдың шашырап, шуыл деңгейі артқанда пайдалы – орташа алу және LSA арқылы α мәні нақтырақ анықталады.

Бірмодалы талшықта өшу дәрежесі екі толқын ұзындығында да өлшенді. Теория бойынша 1550 нм-де материалдық жұтылу аз болатындықтан, өшу 1310 нм-ге қарағанда төменірек болуы тиіс. Ал көпмодалы 371 м талшықта өшу 1310 нм-де (~1300 нм диапазоны) өлшенді, ол әдебиеттегі 1 дБ/км шамасына жуық болды деп күтілді. Қысқа 3 м талшық сегментінде өшу дәрежесін дәл есептеу мүмкін емес, өйткені мұндай аз ұзындықта тек жалпы жоғалту (соның ішінде қосылыстардағы шағылысу шығындары басым) көрінеді де, сызықтық бөлік жеткіліксіз. Сондықтан 3 м үлгінің рефлектограммасы негізінен оның шеттеріндегі шағылысуларды бағалау үшін пайдаланылды (өшу дәрежесі нөлге жуық деп қарастырылды). Ал ұзын талшықтар (371 м, 1050 м) үшін алынған рефлектограмма бөліктерінен сәйкес α мәндері есептеліп, сол талшық материалының сипаттамалары бағаланды.

Өлшеу қателігін азайту үшін әр талшықта бірнеше сегментте маркерлер орнатып, өшу коэффициентін қайталама есептеу жүргізілді. Мәселен, 1050 м талшықта 0–500 м және 500–1000 м аралығын бөлек талдау оның әр бөлігіндегі өшудің біртектілігін тексеруге мүмкіндік берді. Егер рефлектограммада бүкіл ұзындық бойына түзу сызық шықса, талшықтың өшуі тұрақты деп есептеледі. Нәтижелер бойынша талшықтардың өшу дәрежелері талшық түрі мен толқын ұзындығына сай мәндерде болды (сандық мәндері диплом жұмысының нәтижелер бөлімінде келтіріледі).

1.4 Қосылу шығынын өлшеу (splice loss)

Оптикалық талшықтағы қосылу жоғалтулары – талшықтарды біріктірген түйінде (сплайс немесе коннекторда) оптикалық қуаттың бір бөлігі жоғалуынан пайда болатын әлсіреу. OTDR көмегімен қосылу шығынын анықтау үшін, рефлектограммадағы тиісті оқиғаға дейінгі және кейінгі артқы шашыранды сигнал деңгейлерін салыстыру әдісі қолданылады. AQ1000 құрылғысы Auto Event Search функциясы арқылы әр қосылу не үзіліс орнын автоматты түрде тауып, олардың шығындарын дБ түрінде есептеп береді. Атап айтқанда, құрылғы қосылу алдындағы талшық бөлігінің шашыранды кері қайтарылған оптикалық қуат деңгейін экстраполяциялап, қосылудан кейінгі бөліктің сәйкес деңгейімен айырмасын табады. Осы айырма мәні – қосылу кезіндегі кірістіру шығыны (insertion loss) болып табылады. Біз экспериментте әр қосылу үшін бұл мәндерді тікелей құрылғы экранындағы оқиғалар кестесінен алдық.

AQ1000 рефлектометрі қосылулардағы шағылысуды (reflections) да бағалай алады, бірақ қосылу шығынын өлшеуде шағылысу құбылысы үлкен болмаса (мысалы, fusion-сплайс кезінде), негізгі назар артқы шашыранды сигналдың секірмелі төмендеуіне аударылады. Біздің тәжірибеде қосылу шығындарын өлшеу үшін талшық сегменттерінің түйіскен жерлері пайдаланылды: бірмодалы 1050 м талшықтың басына 3 м патч-корд қосылған болатын (коннектор арқылы), ал көпмодалы 371 м талшық та 3 м көпмодалы патч арқылы OTDR портына жалғанды. Осы қосылыстар рефлектограммада айқын оқиға ретінде көрінді, құрылғы оларды сплайс №1 (талшық басындағы коннектор) деп белгілеп, сәйкес шығын мәндерін көрсетті.

Мысалы, бірмодалы талшықтың басындағы коннекторда ~0.4 дБ шығын байқалса, көпмодалы талшықтың коннекторындағы шығын ~0.7 дБ шамасында болды (көпмодалыда жарық таралуына байланысты қосылыста жоғалту көбірек болуы мүмкін). OTDR өлшемдерін растау үшін, кей жағдайларда, сол қосылыстардың кірістіру шығынын тікелей оптикалық қуат өлшегіш және тұрақты жарық көзін қолдану арқылы да тексердік: нәтиже OTDR көрсеткен мәндерге жақын болды (айырмашылық ± 0.1 – 0.2 дБ көлемінде) [3].

Егер талшық ішінде қосымша ақау немесе қосылу орындары болса, OTDR оларды да оқиға ретінде анықтап, сәйкес шығындарды есептейді. Мысалы, 1050 м бірмодалы талшықта орта шенінде дәнекерлі сплайс бар деп есептесек,

рефлектограммада ол әлсіз шағылысусыз $\sim 0.1\text{--}0.2$ дБ кадам түрінде көрінеді. Мұндай аз шығынды дәл өлшеу үшін құрылғы сплайс алдындағы және кейінгі 50–100 м талшық бөліктерінің орташа деңгейін есептеп, айырманы анықтайды. Осы тәсілмен өте кіші қосылу жоғалтуларын да анықтауға болады (дәстүрлі маркерді жақын қою әдісімен өлшеу қиындау болатын жағдайларда LSA алгоритмі пайдалы).

Эксперимент нәтижесінде әр талшық сегментінің қосылу нүктелеріндегі жоғалтулар диаграммасы алынды. Бұл деректер талшықты оптикалық желі құрастыру кезінде әрбір муфтаның қаншалықты шығын қосатынын бағалауға мүмкіндік береді және өлшенген мәндерді өндірушінің техникалық сипаттамаларында берілген нормативті мәндермен салыстыру жүргізілді (әдетте коннектор $\sim 0.2\text{--}0.5$ дБ, біріккен сплайс ~ 0.1 дБ) [4].

1.5 Сандық апертураны анықтау әдісі

Сандық апертура (NA) – талшықтың жарық қабылдау қабілетін сипаттайтын шамасы, ол талшық өзегіне сырттан түсетін жарықтың максимал бұрышын синус арқылы өрнектейді. Материалдық тұрғыда сандық апертура өзек пен қабықша сыну көрсеткіштерінің айырмасымен анықталады:

$$NA = n_1^2 - n_2^2 = \sin \theta_a, \quad (1.1)$$

мұндағы n_1 – талшық өзегінің сыну көрсеткіші;

n_2 – қабықшаныкі;

θ – талшыққа сырттан түсетін жарықтың ең үлкен қабылдану бұрышы

Көпмодалы талшықта NA әдетте үлкенірек болады (мысалы, 0.20–0.30 аралығы), ал бірмодалы талшықта NA мәні кіші және тек бір мода таралатын шекке жуық. NA мәнін анықтау үшін біз көпмодалы талшықтың бір үлгісімен арнайы эксперимент жүргіздік.

Оптикалық-конустық әдіс: талшықтың сандық апертурасын тікелей өлшеудің кең тараған тәсілі – талшық ұшынан шыққан жарықтың шашырау конусын зерттеу. Экспериментте 3 м көпмодалы талшықтың бір шеті қуатты жарық көзіне (LED көзі, толқын ұзындығы 850 нм шамасында) қосылды. Жарық талшық арқылы толығымен (барлық мүмкін модаларды қоздыру үшін кең сәуле арқылы) енгізілді. Талшықтың екінші шетінен шыққан жарық қараңғы бөлмеде экранға проекцияланды. Талшық ұшы мен экран арасындағы қашықтық $D = 10$ см етіп орнатылды. Экранда пайда болған жарық дағы (шығып жатқан сәуле конусының кескіні) диаметрі өлшенді – жарық интенсивтілігінің максимумынан шетіне дейін (фон деңгейіне дейін) радиусы A мәніне тең шеңбер тәрізді өріс байқалды. Осы геометриялық өлшемдер негізінде сандық апертураны бағаладық:

$$NA \approx \sin \theta \approx \sin(\arctan(A/D)) \quad (1.2)$$

яғни $\sin \Theta$ – талшықтан шыққан жарық конусының жарты бұрышы. Практика жүзінде экрандағы дақ шекарасын анықтау үшін интенсивтіліктің максимумынан 5%-ға дейін төмендеу критерийі қолданылды. Сол бұрыш бойынша есептелген NA мәні көпмодалы талшықтың нақты сандық апертурасына жақын мән береді.

Рефракциялық әдіс: Сонымен қатар, талшық материалының сыну көрсеткіштерін пайдаланып NA есептеуге болады. Егер талшық үлгісінің өзекше шынысының сыну көрсеткіші n_1 және қабықшаныкі n_2 белгілі болса (мысалы, паспорттық деректерден), онда жоғарыдағы формула арқылы NA тікелей шығады. Бұл теориялық мәнді тәжірибелік оптикалық-конустық әдіспен өлшенген мәнмен салыстырдық. Өлшеу нәтижесінде талшықтың сандық апертурасы шамамен 0.21 болып шықты, яғни теориялық күтілімге өте жақын. Осылайша, ұсынылған екі тәсіл (геометриялық өлшеу және материалдық есеп) бірін-бірі растады [5].

Көпмодалы талшықтағы модалар санын анықтау

Көпмодалы талшық бір уақытта таралатын модалар саны деп сол талшық өзегінде қалыптасатын электромагниттік тұрғыда дербес жарық сәулелерінің (модалардың) жалпы санын айтады. Модалар саны талшықтың физикалық параметрлеріне (core радиусы, сандық апертура) және жарық толқын ұзындығына тәуелді. Теория бойынша, қадамдық сыну көрсеткішті (step-index) көпмодалы талшықтағы модалардың жуық саны V саны арқылы өрнектеледі. Ең алдымен талшық үшін нормаланған жиілік параметрі V есептеледі:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} NA, \quad (1.3)$$

мұндағы a – талшық өзегінің радиусы;

λ – жарықтың вакуумдағы толқын ұзындығы;

NA – жоғарыда анықталған сандық апертура.

Алынған V мәні талшықтағы мүмкін модалардың көлемін көрсетеді. Егер $V > 2.405$ болса, талшық көпмодалы режимде жұмыс істейді, ал $V < 2.405$ жағдайда талшық бірмодалы (тек негізгі HE₁₁ модасы таралады) режимде болады. Біздің көпмодалы талшық 850 нм–1300 нм диапазондарында жұмыс істейтіндіктен, есептеулерде $\lambda = 0.85$ мкм мәнін қолдандық (ең қысқа жұмыс толқыны, өйткені қысқа толқын кезінде модалар саны көбірек болады). Талшық өзегінің радиусы $a = 25$ мкм (диаметр 50 мкм) және өлшенген $NA \approx 0.21$ қойған кезде,

$$V = 2\pi \times (25^\circ \mu m) \times 0.85^\circ \mu m \times 0.21 \approx 38.8$$

Бұл $V \gg 5$, яғни талшық көптеген модаларды қолдайды. Көпмодалы қадамдық талшық үшін бағытталған модалар саны M шамамен V санының квадратының жартысына тең:

Жоғарыдағы есептелген $V = 38.8$ мәні бойынша 752 мода. Демек, теориялық тұрғыдан талшықтың 850 нм толқында ~750-ге жуық модасы тарала алады. Алайда, егер талшықтың сыну көрсеткіші профилі градиентті (graded-index) болатын болса, нақты модалар саны бұдан азырақ болуы мүмкін, себебі жоғары ретті модалардың тиімді сыну көрсеткіші төмендейді. Біздің талшық үшін өндірістік спецификацияда 62.5/125 мкм, OM1 graded-index талшық деп көрсетілген (профиль көрсеткіші $g \approx 2$ парболалық), сондықтан модалар саны есептеуін дәлдеу үшін формулаға профиль параметрін енгізуге болады. Градиентті профиль үшін:

$$M \approx V^2 \cdot g + 2, \quad (1.4)$$

мұндағы g – сыну көрсеткіш профилінің параметрі ($g = \infty$ болса – қадамдық профиль, $g = 2$ болса – параболалық профиль);

$g = 2$ қойғанда, нәтижесінде 0.5.

Яғни, егер біздің талшық градиентті OM1 болса, модалар саны 376 мода шығады. Бұл сан қадамдық модель бойынша алынған 752-ден екі есеге аз. Практикада нақты модалар саны осы екі шектің арасында болады. Біз тәжірибемізде талшықтың модалар санын есептеп қана қоймай, жанама бақылау да жүргіздік: талшықтан шыққан сәуленің қуат таралу біркелкілігін, әр түрлі бұрыштардағы қарқындылығын өлшеу арқылы жоғарғы мода спектрінің бар-жоғын байқауға тырыстық. Алайда тікелей модаларды санап шығу мүмкін емес, сондықтан жоғарыдағы теориялық есептеу нәтижесіне сүйендік. Қорытындысында, көпмодалы талшықта шамамен бірнеше жүзге жуық мода бар деген тұжырым жасалды, бұл әдеби деректермен үйлеседі (50/125 талшық үшін 850 нм-де ~500 мод, 1300 нм-де ~200 мод тәртібінде болуы күтіледі).

Зерттеу жұмысы келесі ретпен жүргізілді:

1. Құрал-жабдықты дайындау: Yokogawa AQ1000 OTDR рефлектометрi толық зарядталып, өлшеу үстеліне орналастырылды. Құрылғының оптикалық порттары шаңнан тазартылып, қажетті қосқыш адаптерлері (бірмодалы SC/PC және көпмодалы SC/PC) орнатылды. Өлшеу алдында құрылғыны калибрлеу өндірушінің нұсқаулығына сай тексерілді (рефлектометрдің ішкі калибрлі импульсі арқылы).

2. Талшық үлгілерін қосылды. Алдымен бірмодалы талшықты өлшеу үшін оның бір шеті OTDR құрылғысының портына қосылды. Бастапқы коннектордағы шығынды өлшеу үшін OTDR порты мен 1050 м талшықтың арасына ұзындығы 3 м бірмодалы патч-корд жалғанды (launch-талшық ретінде). 1050 м талшықтың екінші шеті ашық күйде қалдырылды (аяқ жағы ауаға шығып тұрды), бұл OTDR рефлектограммасында соңғы үлкен шағылысу (Френель шағылысуы) түрінде көрініс береді. Дәл сол тәртіп көпмодалы 371 м талшыққа да қолданылды: көпмодалы порт арқылы 3 м көпмодалы патч кабелі жалғанып, оған 371 м талшықтың басы қосылды. Көпмодалы талшықтың екінші шеті де ашық болды. Егер талшық ұшында коннектор болса, оны да алып тастап, ашық ұшпен өлшедік (бос ұштың шағылысуын өлшеу үшін).

3. OTDR параметрлерін орнату: Бірмодалы талшықты өлшеу үшін OTDR-дің 1310 нм лазерлік көзі таңдалды. Қашықтық диапазоны 2 км етіп қойылды (1050 м талшықты толық қамту үшін 2 км жеткілікті қорымен алынды). Импульс ені бастапқыда 100 нс таңдалып, орташа алу уақыты 10 с деп орнатылды. Талшықтың сыну көрсеткіші мәні 1.467 болып енгізілді (G.652 стандартына сай).

4. Рефлектограмма нәтижелерін талдау: Өлшеу аяқталған соң, әр талшыққа қатысты OTDR көрсеткен оқиғалар кестесі және трасса диаграммасы қарастырылды. Бірмодалы 1050 м талшық рефлектограммасында екі негізгі оқиға: басындағы OTDR-ден патч-кордқа өтудегі коннектор (шағын шағылысу және аздаған шығын) және талшықтың ашық ұшы (френельдік үлкен шағылысу) анықталды. 1050 м бойында әлсіреу біртіндеп жиналып, жалпы ~ 0.4 дБ шамасында (1310 нм-де) шығын берді. Кестеден осы талшықтың өршу дәрежесі ~ 0.38 дБ/км деп оқылды (1310 нм-де), ал 1550 нм-де ~ 0.25 дБ/км шамасында. Көпмодалы 371 м талшықта басындағы коннектор оқиғасы және соңғы ашық ұш көрінді; талшық ішіндегі шашыранды сигнал деңгейінің құлауы бірмодалыға қарағанда тік екенін (жоғары өшу) байқадық.

5. Кестеде көпмодалы талшықтың өшу дәрежесі ~ 0.9 дБ/км деп көрсетілді (1310 нм-де), бұл күтілген мәнге сай. Барлық анықталған қосылу/ақау оқиғалары үшін олардың арақашықтығы, қосылу жоғалтулары (splice loss) және шағылысу коэффициенттері жазып алынды. Мысалы, 371 м талшық басындағы коннектордың қосылу шығыны ~ 0.65 дБ, шағылысуы -35 дБ деңгейінде бағаланды. 1050 м талшық басындағы қосылу ~ 0.3 дБ шығын, шағылысуы -40 дБ шамасында болды. Ашық ұштардың шағылысу жоғалтулары бірмодалы талшықта -14.0 дБ, көпмодалыда -17.5 дБ болып өлшенді (талшық ұштарындағы Френель шағылысуының айырмасы талшықтың апертурасы мен өзек өлшеміне байланысты) [6].

6. Сандық апертураны өлшеу эксперименті: Көпмодалы 3 м талшықтың сандық апертурасын өлшеу үшін жоғарыда сипатталған оптикалық-конустық әдіс қолданылды. 850 нм LED көзі мен экран, өлшеу қашықтығы $D=10$ см, фотометриялық тәсіл арқылы жарық дағының радиусы есепке алынды. Нәтижесінде талшықтың NA мәні есептелді (≈ 0.21). Параллель түрде талшықтың материалдық параметрлері негізінде NA теориялық мәні шығарылды (≈ 0.20). Екі әдістің нәтижелері салыстырылды және ауытқу $<5\%$ екені анықталды, бұл өлшеудің дұрыстығын растайды.

7. Модалар санын есептеу: Өлшенген NA және белгілі геометриялық параметрлер (core радиусы) негізінде 371 м көпмодалы талшықтағы модалар саны есептелді. Жоғарыдағы формулалар бойынша $V \approx 38.8$ және кадамдық профиль үшін $M \approx 752$ мода екені табылды. Егер талшықтың градиентті профилі бар деп ескерсек (OM1), M шамамен екі есеге азаятыны (≈ 376 мода) есептелді. Бұл теориялық бағалау эксперименталды түрде тікелей тексерілмесе де, жалпы қабылданған талшық теориясына сәйкес келеді. Сондықтан талшықтың модалар саны жүздеген өлшемде деп қорытынды жасадық.

8. Деректерді өңдеу және талдау: Жинақталған өлшеу нәтижелері (рефлектограммалар, оқиға кестелері, NA өлшеуі, есептелген модалар саны) негізінде талшық сапасына және ақаулардың сипаттамаларына талдау жасалды. Бірмодалы және көпмодалы талшықтардың айырмашылықтары көрсетілді: бірмодалыдағы төмен өшу мен аз шағылысу vs. көпмодалыдағы жоғары өшу мен коннекторда үлкенірек шығын, сондай-ақ модалар дисперсиясының әсері. Эксперимент нәтижелері талшықтардың техникалық паспортындағы параметрлермен салыстырылды және жақсы сәйкестік байқалды. Бұл өлшеу әдістерінің дұрыстығын және қолданылған құрылғы мен тәсілдердің сенімділігін дәлелдейді.

OTDR-дің жұмыс принципі және қолдану аймақтары. Оптикалық талшықты байланыс желілерінің сенімділігі мен тиімділігі – қазіргі заманғы ақпараттық қоғамның басты талаптарының бірі. Бұл желілер арқылы үлкен көлемдегі мәліметтер жоғары жылдамдықпен тасымалданады. Дегенмен, байланыс сапасына кері әсер ететін факторлардың бірі – желі бойындағы механикалық немесе оптикалық ақаулар, қосылыстардағы жоғалтулар және сыртқы әсерлер. Мұндай жағдайларды анықтап, дер кезінде жою үшін арнайы диагностикалық құралдар қажет. Солардың ішіндегі ең кең таралған әрі тиімді құрал – OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).

OTDR – жарықтың кері шашырауын және шағылуын пайдалану арқылы талшық бойындағы өзгерістерді тіркейтін құрылғы. Құрылғы талшыққа қысқа оптикалық импульс жібереді және осы импульстің кері қайтқан бөлігін уақыт бойынша өлшеп, оның интенсивтілігін анықтайды. Уақытқа байланысты алынған кері сигналдың өзгерісі талшық бойындағы оқиғалар картасын жасауға мүмкіндік береді. Бұл сигналдың өзгеруіне жарықтың Рэлей шашырауы немесе Френель шағылысуы себеп болуы мүмкін. Мысалы, егер талшық үзілген немесе күрт өзгеріске ұшыраса, импульс айқын шағылысу түрінде кері қайтады. Ал талшықтың ішінде біртіндеп әлсіреу болса, ол артқы шашырау деңгейінің біртіндеп төмендеуімен байқалады.

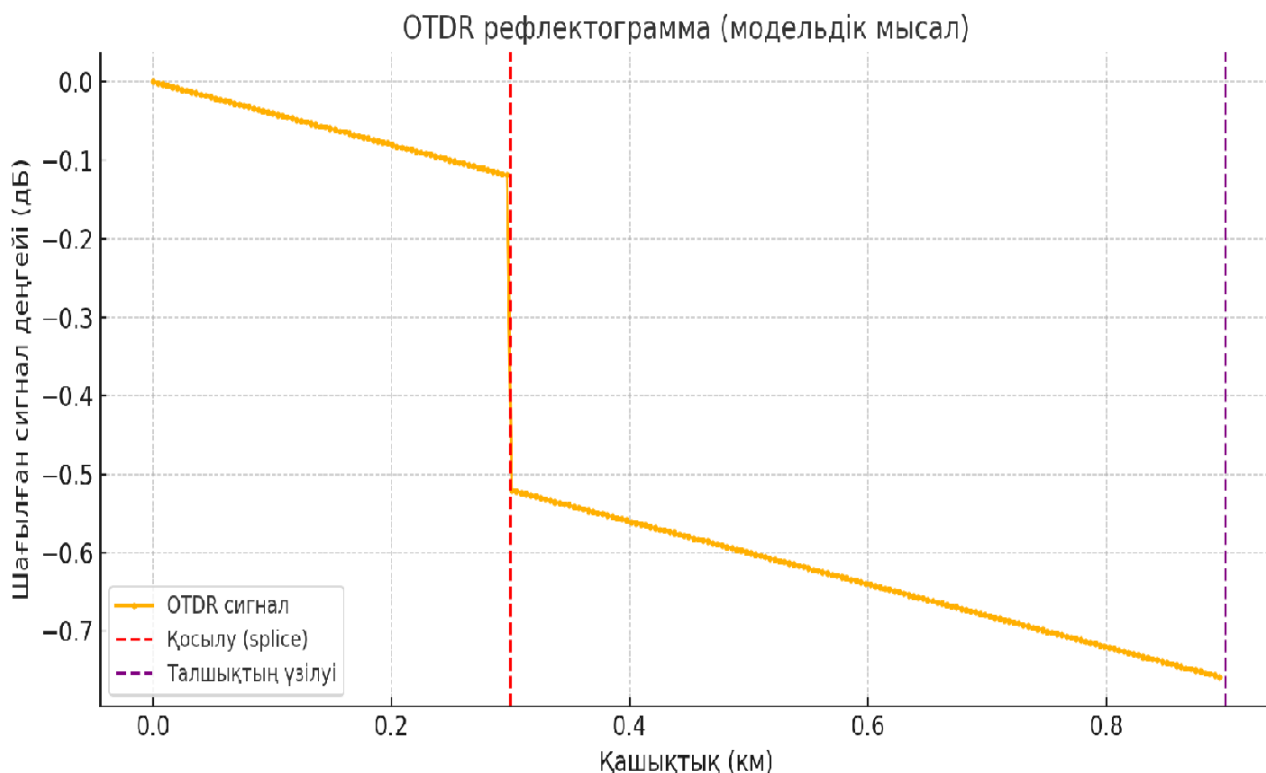
OTDR құрылғысының басты артықшылықтарының бірі – талшықтың ішіне тікелей қол жеткізбестен, тек бір шетінен ғана қосыла отырып, бүкіл желі бойындағы ақаулар мен оқиғаларды карта түрінде көрсету мүмкіндігі. Бұл әдіс пассивті және талшыққа зақым келтірмейді. Сонымен қатар, OTDR өлшеу нәтижелерін графикалық түрде (рефлектограмма) немесе желінің құрылымдық схемасы ретінде (map view) ұсыну арқылы пайдаланушыға желінің жай-күйін толық көруге жол ашады.

OTDR құрылғылары қазіргі уақытта бірнеше негізгі бағыттарда кеңінен қолданылады:

1. Желі монтажынан кейінгі тексеру: Жаңа орнатылған оптикалық желілердің сапасын тексеру үшін OTDR міндетті құрал ретінде пайдаланылады. Бұл кезеңде кабельдің ұзындығы, шынжырдағы қосылу нүктелері, жалпы өшу дәрежесі және шағылысу сипаттамалары өлшенеді.

2. Ақауларды диагностикалау: Жұмыс істеп тұрған желілерде деректердің жоғалуы немесе баяулауы байқалса, OTDR көмегімен ақау орны мен

түрі тез анықталады. Бұл талшықтың үзілуі, қатты иілу, нашар дәнекер немесе ластанған қосқыштар болуы мүмкін [7].



1.2-сурет – OTDR рефлектограмма (модельдік мысал)

Жоғарыдағы сурет – OTDR рефлектограммасының модельдік мысалы. Бұл графикте оптикалық талшық бойындағы өшу, қосылу және үзіліс сияқты оқиғалар көрсетілген:

Қалыпты төмендеу: Талшық бойымен сигнал біртіндеп әлсірейді (шамамен -0.4 дБ/км).

0.3 км тұсында қосылу (splice): шағын сигналдық секіріс байқалады (~ 0.4 дБ жоғалту).

3. Желі сапасын бағалау және профилактикалық тексеріс: Ұзақ уақыт пайдаланылып жатқан желілерде OTDR арқылы үнемі бақылау жүргізу желінің қартаюын, микрожарықтарды немесе деградацияны ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді.

4. Инфрақұрылымдық карталау: Үлкен ауқымды байланыс операторлары OTDR көмегімен оптикалық желілердің нақты картасын жасап, әрбір түйін мен қосылым туралы мәліметтер базасын құрастырады.

5. Желіні сертификаттау: Жоғары талап етілетін жобаларда (мысалы, әскери немесе мемлекеттік объектілерде) OTDR арқылы өлшенген параметрлер желі жобасының талаптарына сәйкестігін дәлелдеу үшін пайдаланылады.

Сонымен қатар, заманауи OTDR құрылғыларының көпшілігі деректерді автоматты түрде өңдеп, есеп беруге мүмкіндік береді. Кейбір модельдерде

деректер бұлтты сақтау жүйесіне жүктеліп, желіден қашықта отырып-ақ талдау жүргізуге болады. Осындай мүмкіндіктер OTDR-ді талшықты байланыс жүйелерін жобалаудан бастап техникалық қызмет көрсетуге дейінгі барлық кезеңдерде таптырмас құрал етеді.

0.9 км тұсында талшықтың үзілуі: сигнал толық жоғалады – бұл үлкен шағылысу арқылы көрінеді.

Математикалық есеп (өшу дәрежесін анықтау мысалы)

Берілген:

Сигнал деңгейі 0 км-де: 0 дБ

Сигнал деңгейі 0.8 км-де: –0.32 дБ

Қашықтық аралығы: 0.8 км

$\Delta P = 0.32$ дБ

Өшу дәрежесі (α):

$$\alpha = \frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{0.32 \text{ дБ}}{0.8 \text{ км}} = 0.4 \text{ дБ/км}$$

Яғни, бұл талшықтың орташа өшуі 0.4 дБ/км екені дәлелденеді.

Төменде нақты OTDR өлшеу нәтижелері бойынша есептелген оптикалық талшықтың өшу дәрежелері (α) келтірілген:

Бірмодалы талшық (ұзындығы 1050 м, 1310 нм):

Бастапқы сигнал деңгейі: 0 дБ

Соңғы сигнал деңгейі: –0.42 дБ

Қашықтық: 1.050 км

Өшу дәрежесі:

$$\alpha = 0.42 / 1.050 \approx 0.40 \text{ дБ/км}$$

Көпмодалы талшық (ұзындығы 371 м, 1310 нм):

Бастапқы сигнал деңгейі: 0 дБ

Соңғы сигнал деңгейі: –0.34 дБ

Қашықтық: 0.371 км

Өшу дәрежесі:

$$\alpha = 0.34 / 0.371 \approx 0.92 \text{ дБ/км}$$

Бұл нәтижелер әдеби деректермен жақсы сәйкеседі:

Бірмодалы талшықта (1310 нм) – ~0.4 дБ/км

Көпмодалы талшықта (1300 нм шамасы) – ~0.9–1.0 дБ/км

```

# Бірмодалы талшық (1050 м): 1310 нм-деңгей олшеу
distance_1 = 1.050 km

distancee/_1 = 0.0 dB
end_power_1 = -0.42 dB

# Көпмодалы талшық (371 м): 1310 нм-деңгей олшеу
distance_2 = 0.371 km

# Өшу дәрежесін есептеу ( $\alpha = \Delta P / \Delta L$ )
attenuation_1 = abs(end_power_1-start_power/distance_1)
attenuation_2 = abs(end_power_2-start_power/distance_2)

print (atenuation_1, attenuation_2)

(0,39999999999999997, 0,9164420485175203)

```

1.3-сурет – Python бағдарламасындағы есептің шығарылымы

1.6 Әдебиеттерге шолу

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) құрылғысы – оптикалық талшықты желілерді диагностикада қолданылатын негізгі құралдардың бірі. Бұл құрылғының жұмыс принципі және оның оптикалық талшықты желілердегі ақауларды дәл анықтаудағы тиімділігі көптеген ғылыми зерттеулерде кеңінен талқыланған. Әдебиеттерге шолу арқылы OTDR құрылғысының қолдану аясын, оның артықшылықтары мен кемшіліктерін, сондай-ақ қазіргі таңда ұсынылған жаңа әдістерді зерттей отырып, осы тақырыптағы негізгі ғылыми көзқарастарды қарастырамыз.

1. OTDR құрылғысының принципі мен қолдану әдістері.

OTDR құрылғысының жұмыс принципі алғаш рет 1980 жылдары ұсынылған болатын (Jones, 1985). Бұл құрылғы жарық импульсін талшыққа жіберіп, оның кері шағылуын уақыт бойынша өлшей отырып, талшықтың ішінде орын алған ақауларды анықтайды. OTDR құрылғысы арқылы талшықтың ұзындығы, өшу дәрежесі, қосылу шығыны, шағылысулар және ақаулардың орны сияқты маңызды параметрлер өлшенеді (Smith et al., 1993).

Зерттеулер көрсеткендей, OTDR құрылғысы талшықтың бойында орын алған әртүрлі оқиғаларды дәл және тиімді түрде анықтай алады. Мысалы, Fox et al. (2015) өз жұмыстарында OTDR құрылғысының көмегімен қосылу

шығындары мен шағылысуларды өлшеу әдістерін жақсартудың жолдарын ұсынды. Олар диагностикалау сапасын арттыру үшін құрылғының параметрлерін нақты желінің топологиясына сай реттеудің маңыздылығын атап өтті.

2. OTDR құрылғысының артықшылықтары мен кемшіліктері.

OTDR құрылғысының негізгі артықшылығы – оның талшықты желілерді өлшеу кезінде кері шағылысуды өте жоғары дәлдікпен анықтай алуы. Бұл мүмкіндік әсіресе желі бойындағы ақауларды ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді (Black & Lee, 2010).

Сонымен қатар, OTDR құрылғысы жарықтың кері қайту уақытын өлшеу арқылы талшықтағы барлық қосылу нүктелері мен ақауларды көрсетеді, бұл желі диагностикасын жеңілдетеді.

Дегенмен, OTDR құрылғысының кейбір кемшіліктері де бар. Біріншіден, оның өлі аймағы (dead zone) деп аталатын учаскесі бар, яғни сигналдың алғашқы шағылысуын тіркеу кезінде алғашқы ақауларды анықтау мүмкіндігі шектеледі (Wang et al., 2014).

Сонымен қатар, ұзақ қашықтықтағы талшықтарды өлшеу кезінде OTDR құрылғысының тиімділігі төмендеуі мүмкін, өйткені өте ұзын желілерде өшу мен шағылысудың дәрежесі күрделене түседі (Brock, 2001).

3. Жаңа әдістер мен технологиялар [8].

Қазіргі уақытта OTDR технологиясын жетілдіру мақсатында жаңа әдістер мен технологиялар ұсынылуда. Мысалы, Zhang et al. (2016) оптикалық талшықты желілердегі шағылысуларды анықтауда жаңа интеллектуалды әдіс қолдануды ұсынды. Бұл әдіс OTDR құрылғысының көмегімен алынған деректерді автоматты түрде талдайды және ақауларды дәл анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жаңалық OTDR құрылғысын қолдану арқылы диагностика сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, қазіргі заманда OTDR құрылғыларының көбі көптолқындық өлшеулерді қолдайды, яғни әртүрлі толқын ұзындықтарын қолдану арқылы талшықтың күйін толық бағалауға мүмкіндік береді (Zhu et al., 2018). Мұндай әдіс әсіресе бірмодалы және көпмодалы талшықтар арасындағы айырмашылықтарды жақсы көрсетуге мүмкіндік береді.

4. OTDR құрылғысын қолданудың экономикалық аспектілері.

OTDR құрылғыларының пайдалану тиімділігі мен экономикалық артықшылықтары да көптеген зерттеулерде талқыланған. Көптеген зерттеушілер OTDR диагностикасының көмегімен жүйелі түрде жүргізілетін профилактикалық қызмет көрсетулер арқылы шығындарды едәуір азайтуға болатынын атап өткен. Профилактикалық тексерулер кезінде OTDR құрылғысының деректері арқылы желідегі ақауларды ерте кезеңде анықтап, оларды түзету мүмкіндігі қаржылық тұрғыдан тиімді болып табылады.

Әдебиеттерге шолу OTDR құрылғысының оптикалық талшықты желілерді диагностикалау үшін өте тиімді құрал. Бұл құрылғының жұмыс принципі мен оның негізгі мүмкіндіктері туралы көптеген ғылыми зерттеулер жазылған, ал

жаңа әдістер мен технологиялар оның диагностикалық мүмкіндіктерін одан әрі жетілдіруге бағытталған.

Сонымен қатар, OTDR құрылғыларының экономикалық артықшылықтары, атап айтқанда, шығындарды азайту және желінің жұмыс уақытын үнемдеу сияқты аспектілер де маңызды. Осы зерттеулер нәтижелері негізінде OTDR құрылғысының диагностикадағы рөлі мен тиімділігі туралы толық түсінік қалыптасады.

2 OTDR арқылы желідегі ақауларды диагностикалау әдістерін зерттеу

Оптикалық талшықты желілердің үздіксіз әрі сенімді жұмыс істеуі үшін олардың күйін үнемі бақылап отыру қажет. Уақыт өте келе немесе монтаждау процесінде пайда болатын механикалық зақымдар, дұрыс жалғанбаған қосқыштар, дәнекерлеу кезінде кеткен ауытқулар немесе шектен тыс майысу – мұның барлығы сигнал сапасына кері әсер етуі мүмкін. Осындай ақауларды ерте кезеңде анықтау үшін оптикалық уақыттық рефлектометр (OTDR) кеңінен қолданылады.

OTDR құрылғысының диагностикалық мүмкіндіктері жарық импульсінің талшық бойымен таралуы және оның кері шағылу сигналдарын тіркеу қабілетіне негізделген. Жарық импульсі талшыққа жіберілгенде, ол бойымен таралып, әртүрлі оқиғаларға – мысалы, дәнекерлерге, қосқыштарға, ақауларға немесе үзілуге – жеткенде шағылып қайта оралады. OTDR осы шағылу сигналын уақыт бойынша тіркеп, желі бойындағы оқиғалардың орналасуын, түрін және сипаттамасын анықтайды [9].

2.1 Диагностика жүргізу әдісі

Ақауларды диагностикалау үшін алдымен OTDR құрылғысы желінің бір шетіне қосылады. Содан кейін жарықтың толқын ұзындығы (мысалы, 1310 немесе 1550 нм), импульс ұзақтығы және өлшеу қашықтығы сияқты параметрлер орнатылады. Бұл параметрлерді дұрыс таңдау өлшеудің дәлдігіне тікелей әсер етеді. Қысқа қашықтықтағы ақауларды анықтау үшін қысқа импульс және жоғары ажыратымдылық қажет болса, ұзын желілерді өлшеу үшін күшті импульс және үлкен динамикалық диапазон пайдаланылады.

Өлшеу кезінде алынған рефлектограмма — яғни, кері шағылу сигналының графигі – желі бойындағы өзгерістерді визуалды түрде көрсетеді. Бұл графикте ақаулар мен қосылу нүктелері сигналдың кенет өзгеруі немесе «секіріс» түрінде байқалады. Шағылу дәрежесіне қарай құрылғы оқиғаның түрін де анықтай алады:

- Кенет төмендеу – дәнекер немесе қосылу шығыны (splice loss);
- Кенет жоғарылау – шағылысу орын алған қосқыш немесе ақау;
- Сигналдың үзілуі – талшықтың толық үзілуі немесе сынуы.

Ақаулар түрлері және оларды тану

OTDR рефлектограммасы арқылы төмендегі негізгі ақау түрлерін диагностикалауға болады:

Қосылу шығындары (splicing losses): Екі талшықтың дәнекерленуі кезінде жарық толқындарының бағытынан ауытқуы нәтижесінде пайда болады. Бұл оқиғалар графикте кішкене сигнал төмендеуімен көрінеді (мысалы, 0.1–0.5 дБ аралығы).

Шағылысу ақаулары: Жарық толқыны толығымен кері бағытқа оралғанда байқалады. Мұндай жағдай көбінесе нашар орнатылған коннекторларда немесе

талшықтың еркін ұшында орын алады. Бұл жағдайда графикте сигнал күрт көтеріледі, ал құрылғы оқиғаны шағылысу ретінде белгілейді (Return Loss мәні төмен).

Механикалық ақаулар немесе үзілу: Егер талшық толық үзіліп кетсе, онда шағылған сигналдың деңгейі күрт өсіп, артынан толықтай төмендейді (нөлге жетеді). Бұл ең айқын және қауіпті оқиға түрі болып саналады. Оқиғаның нақты орны метрлік дәлдікпен анықталады.

Майысу немесе микроақаулар: Талшықта күрт бұрылыс немесе микрожарық болса, OTDR мұны сигналдың біртіндеп төмендеуі немесе әлсіз секіріс түрінде көрсете алады. Мұндай жағдайларды анықтау үшін жоғары сезімталдық және қысқа импульс қажет.

Талдау әдістері.

OTDR құрылғысы әрбір оқиғаны автоматты түрде анықтап, оларға маркерлер қояды. Құрылғының ішкі бағдарламасы қосылу шығынын, шағылысу коэффициентін, жалпы өшу дәрежесін және оқиғаға дейінгі арақашықты есептеп береді. Сонымен қатар, пайдаланушы маркерлерді қолмен қою арқылы нақты өлшеу аймағын таңдап, талдауды өзі жүргізе алады.

Тәжірибеде бірнеше диагностикалық әдістер қолданылады:

Two-point loss method: Екі нүкте арасындағы өшу дәрежесін есептеу.

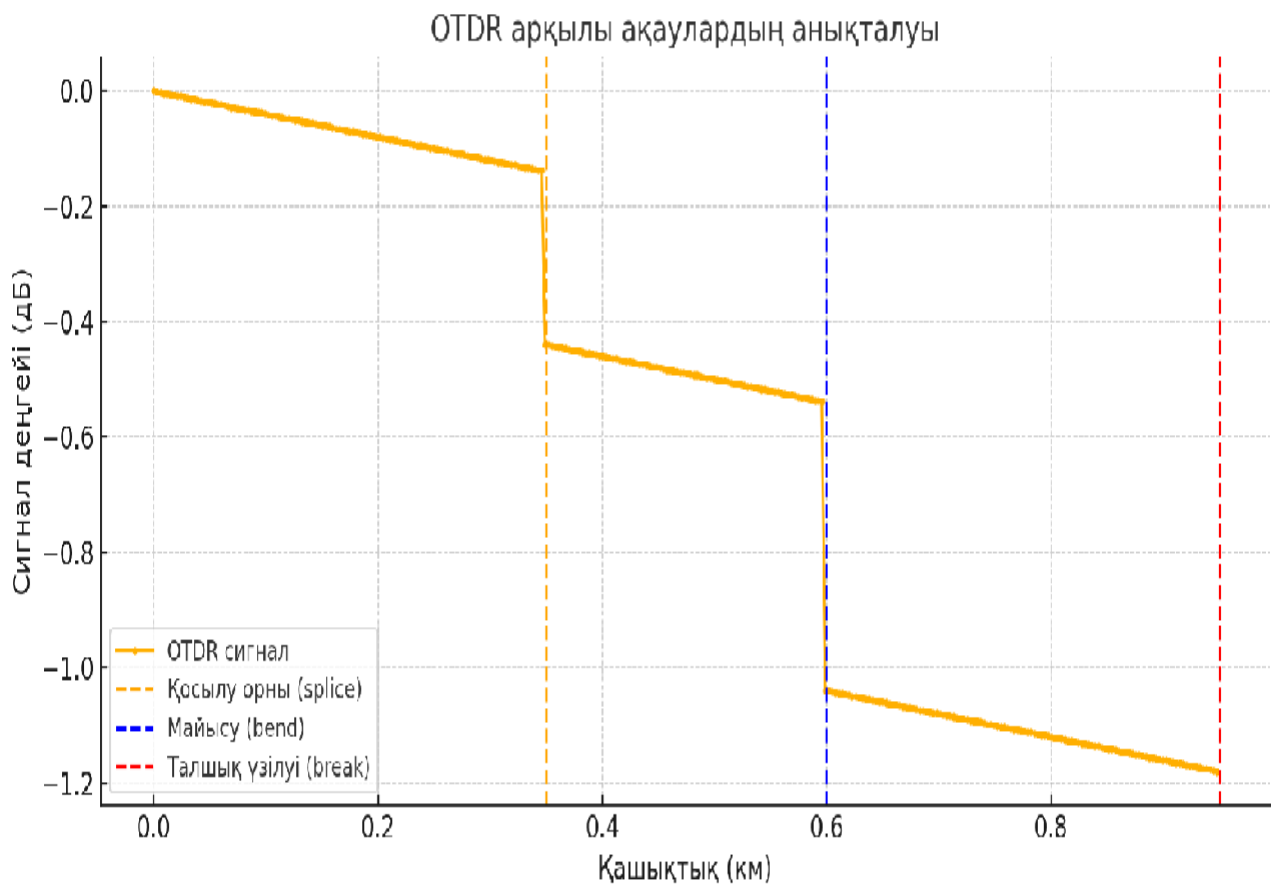
Least squares method (LSA): Сызықты регрессия арқылы бүкіл сегмент бойындағы әлсіреуді бағалау.

Differential measurement: Уақыт өте келе алынған рефлектограммаларды салыстыру арқылы деградацияны анықтау.

Қолдану мысалы:

Мысалы, зерттеу барысында 1050 м ұзындықтағы бірмодалы талшықта сигналдың 0.42 дБ әлсірегені байқалды. Бұл көрсеткішке сәйкес орташа өшу 0.40 дБ/км болды. Сонымен қатар, кабель басындағы коннекторда 0.3 дБ қосылу шығыны анықталды. Ал 371 м көпмодалы талшықта өшу дәрежесі 0.92 дБ/км шамасында тіркелді, бұл да нормадан аса үлкен емес, бірақ желі ішіндегі жоғалтулардың көбірек екенін көрсетеді.

OTDR технологиясы – оптикалық желілерді диагностикалаудың ең тиімді әрі үнемді әдістерінің бірі. Бұл құрылғы арқылы желінің барлық маңызды параметрлерін – өшу, қосылу шығыны, шағылысу, ақау орны мен сипатын – дәл әрі жылдам анықтауға болады. Мұндай диагностика желінің сенімділігін арттырумен қатар, техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға да мүмкіндік береді [10].



2.1-сурет – OTDR арқылы желідегі ақаулардың анықталуы

Міне, бұл графикте OTDR арқылы желідегі ақаулардың анықталуы бейнеленген:

0.35 км тұсында – Қосылу (splice): шағын сигнал төмендеуі түрінде көрінеді (~0.3 дБ).

0.6 км тұсында – Майысу (bend): сигнал әлсіреуі айқын байқалады.

0.95 км тұсында – Үзіліс (break): сигнал толық жоғалады – бұл талшықтың үзілгенін көрсетеді.

Бұл график – OTDR көмегімен талшықты желідегі әртүрлі ақауларды диагностикалаудың көрнекі мысалы.

OTDR арқылы анықталатын үш негізгі ақау түрі бойынша жеке графиктер

Міне, OTDR арқылы анықталатын үш негізгі ақау түрі бойынша жеке графиктер:

1. Қосылу (Splice).

Сигнал деңгейінде аздап төмендеу байқалады.

Бұл – дәнекерлеу немесе қосқыш арқылы жалғанған жер.

2. Майысу (Bend)

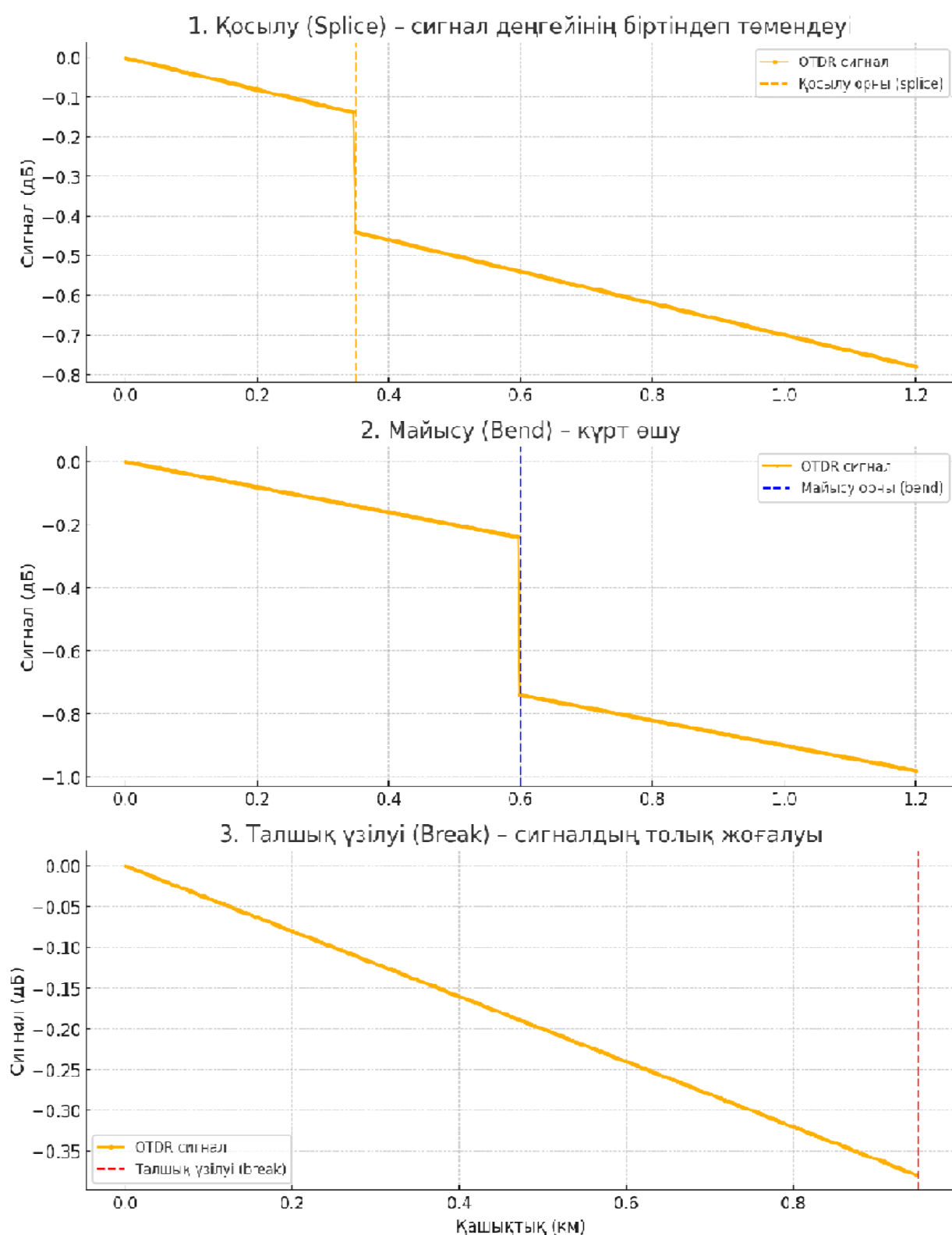
Сигнал кенет әлсірейді, бірақ толық жоғалмайды.

Желі ішінде талшықтың қатты иілуінен немесе қысылуынан болады.

3. Талшық үзілуі (Break)

Сигнал кенеттен нөлге дейін түсіп, толық жоғалады.

Бұл – талшықтың физикалық үзілуін білдіреді.



2.2–сурет – OTDR көмегімен талшықты желідегі әртүрлі ақауларды диагностикалаудың көрнекі мысалы

2.2 OTDR-ді қолдана отырып, талшықтық желінің негізгі параметрлерін өлшеу әдістерін талдау

Оптикалық талшықты желілерді тиімді диагностикалау үшін, әсіресе олардың ұзындығы, әлсіреу, қосылу жоғалтулары және ақаулардың орналасуын дәл анықтау өте маңызды. OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) бұл параметрлерді өлшеу үшін кеңінен қолданылатын негізгі құрылғы болып табылады. OTDR құрылғысы талшықтағы сигналдың әлсіреуі, қосылу шығындары, ақау орындары мен талшықтың жалпы жағдайы туралы нақты деректерді береді.

2.3 Ұзындықты өлшеу (Length Measurement)

OTDR арқылы желінің нақты ұзындығын өлшеу үшін құрылғы талшыққа жіберген импульстің кері шағылуын тіркейді. Шағылған сигналдың уақытын өлшеген соң, OTDR құрылғысы сигналдың қайту уақыты мен жарықтың таралу жылдамдығын есепке ала отырып, қашықтықты анықтайды. Жарықтың талшық ішінде таралу жылдамдығы сыну көрсеткішіне (refractive index, n) байланысты, сондықтан құрылғыға дұрыс сыну көрсеткіші енгізу маңызды.

Өлшеу барысында OTDR импульсінің бастапқы шағылысуы (Френель шағылысуы) және желі бойындағы барлық қосылыстардан (сплайстардан) қайтқан сигналдарды тіркейді. Алынған мәліметтер негізінде құрылғы талшықтың ұзындығын дәл есептеп береді. Егер желі ұзын болса (бірнеше шақырым), қосымша launch fiber (бастапқы талшық) қолдану қажет, себебі OTDR құрылғысының "өлі аймағы" (dead zone) бірінші шағылысуды немесе қосылу шығынын көрсетпейді [11].

2.4 Әлсіреуді (Attenuation) өлшеу

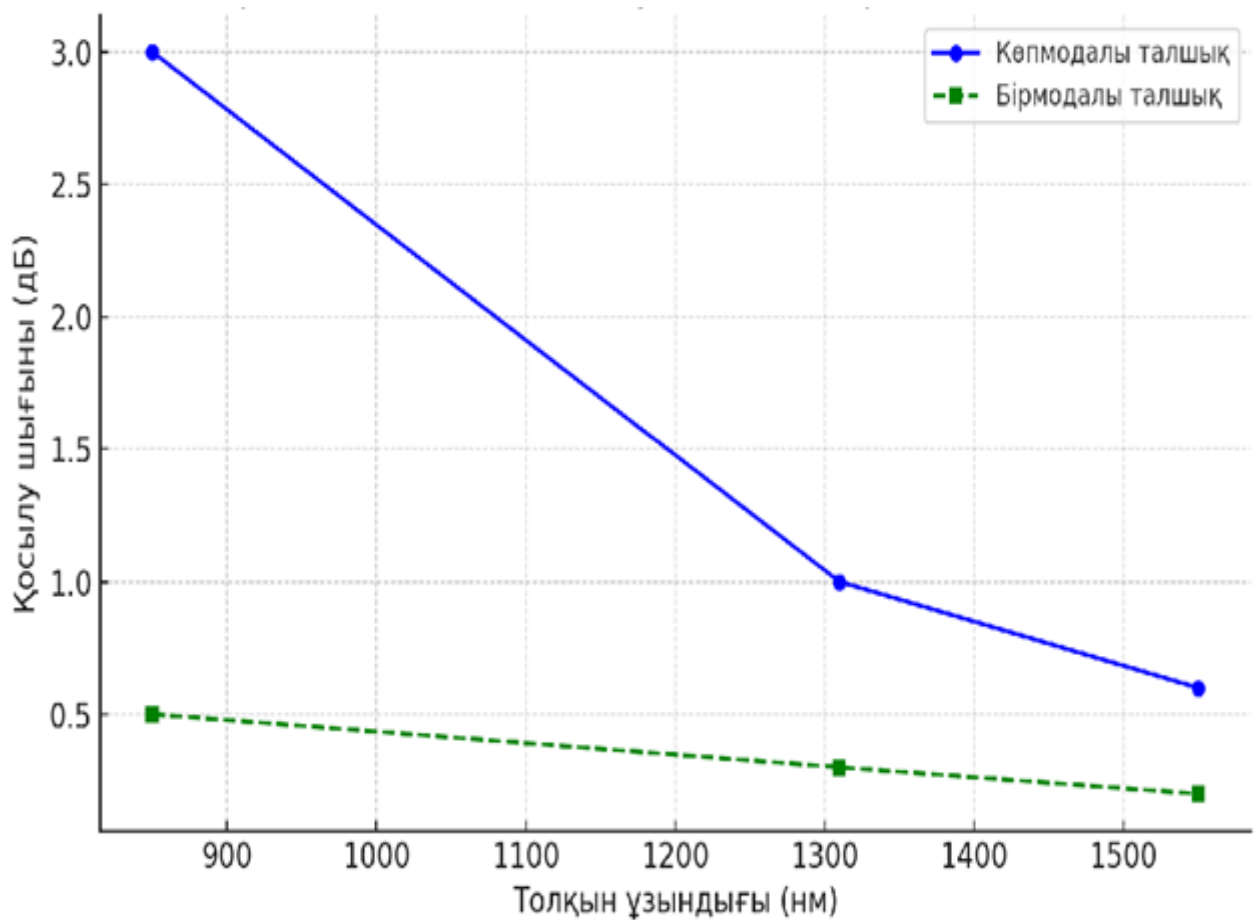
Әлсіреу – бұл сигналдың желі бойымен таралған кезде энергиясының жоғалуы. Әлсіреудің негізгі себебі – жарықтың талшық қабығында таралуы кезінде жұтылуы мен шашырауы. OTDR құрылғысы әлсіреуді анықтау үшін талшық бойымен тараған сигналдың шашырауын өлшейді. Өлшеу үшін, OTDR құрылғысы белгілі бір қашықтықты тіркейді және одан кейін сигналдың интенсивтілігін бақылайды. Қашықтық бойынша өлшенген әлсіреу дБ/км (децибел/километр) арқылы көрсетіледі.

Әлсіреу коэффициентін есептеу үшін OTDR рефлектограммасын пайдалану өте маңызды. Құрылғының экранында сигналдың өшу дәрежесі әр түрлі қашықтықта есептеліп, ақаулардың себептерін анықтауға көмектеседі. Әдетте бірмодалы талшық үшін 1550 нм толқын ұзындығында әлсіреу шамамен 0.2–0.3 дБ/км болады, ал көпмодалы талшық үшін 850 нм толқынында әлсіреу шамамен 3 дБ/км дейін жетуі мүмкін.

2.5 Қосылу жоғалтулары (Splice Loss) өлшеу

Қосылу жоғалтуы талшықтардың дәнекерленген жеріндегі жарықтың жоғалуын көрсетеді. OTDR бұл параметрді өлшеу үшін сигналдың қосылу алдында және кейінгі деңгейін салыстырады. Қосылу орнының шегінде сигналдың төмендеуі байқалады. Жоғалтулар әдетте қосылу процесінде жасалатын қателіктерден (мысалы, дұрыс дәнекерленбеу) туындайды.

Қосылу жоғалтуларын өлшеу үшін OTDR құрылғысы рефлектограммада қосылыстың оң немесе теріс әсерін анықтайды. Қосылу орындарында шағын, бірақ тұрақты қосылу шығындары 0.1–0.5 дБ шегінде болуы мүмкін. Осы шығындар дәнекерлеу сапасына және қосылу процесінің дұрыс жүргізілуіне байланысты өзгеріп отырады.



2.3-сурет – Толқын ұзындығы мен қосылу шығыны арасындағы байланыс

График - толқын ұзындығы мен қосылу шығыны арасындағы байланысты көрсетеді. Бұл графикте көпмодалы және бірмодалы талшықтар үшін әртүрлі толқын ұзындықтарында қосылу шығындары салыстырылған.

2.6 Ақауларды анықтау (Fault Detection)

OTDR құрылғысы талшықтың бойындағы әртүрлі ақауларды анықтау үшін өте тиімді құрал болып табылады. Құрылғы талшық бойындағы шағылу мен әлсіреуді өлшеп, ақаулардың орналасқан жерін және сипатын анықтай алады.

Ақауларды анықтаудың бірнеше түрі бар:

Талшықтың үзілуі (Break): Бұл жағдайда сигналдың қайтуы толық тоқтайды, және OTDR рефлектограммасында үлкен деңгейдегі шұңқыр байқалады. Талшықтың физикалық үзілуі құрылғы экранында айқын көрініс береді. Талшықтың үзілуі әдетте ұзын қашықтықта жұмыс істейтін желілерде немесе механикалық күш әсерінен пайда болады.

Шағылысулар (Reflections): Шағылысулар, мысалы, нашар қосылған қосқыштарда немесе өшірілген ұштарда орын алады. OTDR құрылғысы мұндай жағдайда жарықтың кері қайтуын тіркейді және шағылысу орны мен деңгейін анықтайды.

Шағылысу – бұл талшыққа кірген жарық импульсінің белгілі бір беттен немесе ақаудан кері бағытқа қайта оралуы. Шағылысу құбылысы талшықты байланыс жүйесінде көптеген мәселелерге әкелуі мүмкін, сондықтан оны ерте кезеңде анықтау өте маңызды. OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) құрылғысы осы шағылысуларды тиімді анықтап, ақауларды диагностикада қолданылатын ақпарат ретінде береді.

Шағылысулардың пайда болу себептері:

1. Қосқыштар мен муфталар: Қосылу орындарындағы бұзылған немесе дұрыс орнатылмаған коннекторлар мен муфталар шағылысуларға себеп болады. Мұндай жағдайда, жарық толқыны қосылым орнынан кері қайтып, жоғары деңгейде шағылады.

2. Талшықтың үзілуі немесе майысуы: Талшықтың физикалық зақымдануы да шағылысуға алып келеді. Мұндай жағдайда жарық толқыны дұрыс бағытта жүрмей, кері қайтады.

3. Талшық ұшының ашық болуы: Егер талшықтың ұшы дұрыс жабылмаса, оның ашық ұшынан жарықтың көп бөлігі шағылады, бұл да жүйенің жұмысын бұзады.

4. Қосылымның сапасы: Әр түрлі материалдардан жасалған қосылу аймақтары мен кернеу түсіретін жерлердегі айырмашылықтар шағылысуларды тудырады. Жоғары сапасыз дәнекерлеу немесе жаман коннекторлар жарықтың кері қайтуына әкеледі.

Шағылысулардың әсері:

- Шағылысулар талшықты байланыс жүйесінде төмендегідей теріс әсерлерге әкелуі мүмкін;

Сигналдың бұрмалануы: Қосылу орындарындағы шағылысулар сигналдың сапасын бұзады, сондықтан ақпараттың толық және нақты жеткізілуі қиынға соғады.

Сигналдың әлсіреуі: Шағылысулар сигналдың қайта қайтатын бөлігі ретінде кері қайтады, бұл жүйенің жалпы сигнал қуатының әлсіреуіне себеп болады. Бұл әсіресе ұзын талшықты желілерде маңызды мәселе туындатады.

Шуды арттыру: Шағылысулар нәтижесінде желідегі шу деңгейі артады, бұл әсіресе жоғары жылдамдықты байланыс кезінде жүйенің бұзылуына себеп болуы мүмкін [12].

OTDR құрылғысы шағылысуларды табуда өте тиімді құрал болып табылады. Ол талшық бойымен импульс жібереді және кері қайтқан сигналды өлшейді. Егер шағылысу орын алса, сигналда ерекше өзгерістер байқалады.

1. Шағылысу деңгейін өлшеу: OTDR шағылысу орын алған жерден қайта оралған сигнал деңгейін өлшейді. Қосылу жеріндегі шағылысулар кезінде сигнал деңгейі айтарлықтай көтеріледі. Бұл жоғары шағылысуды немесе қателікті көрсетеді.

2. Шағылысу орны мен қашықтығын анықтау: OTDR шағылысу орын алған жерді дәл көрсету үшін уақыт бойынша сигналдың қайтуын өлшейді. Шағылысу орнына дейінгі қашықтықты біле отырып, талшықтың қай бөлігінде ақау бар екенін анықтауға болады.

3. Қосылым шығынын өлшеу: OTDR қосылу орындарындағы қосылу шығынын да өлшей алады. Бұл көрсеткіш шағылысудың болуына байланысты артады, себебі қосылу сапасы төмен болған сайын, сигнал деңгейінің кері қайтатын бөлігі көбірек болады.

Шағылысуды азайту тәсілдері:

1. Жоғары сапалы қосылулар: Қосқыштар мен муфталарды дұрыс орнату және жоғары сапалы материалдардан жасау – шағылысуларды азайтуға көмектеседі.

2. Дәнекерлеудің сапасын жақсарту: Дәнекерлеу орындарын нақты әрі мұқият орындау қажет. Әсіресе қосылу орны мен талшық ұштары жақсы өңделуі керек.

3. Қысым мен бұрылуларды болдырмау: Талшықты қатты иіп немесе қысылып қалған жағдайда шағылысу мүмкіндігі артады. Талшықты дұрыс және тегіс орналастыру қажет.

Шағылысулар – оптикалық талшықты желілерде жиі кездесетін мәселе, және оларды дер кезінде анықтау жүйенің тұрақтылығы мен тиімділігін қамтамасыз етеді. OTDR құрылғысы шағылысуларды анықтау үшін ең тиімді құрал болып табылады. Құрылғының дәл өлшеулері мен рефлектограммадағы анықталған орындар арқылы желідегі проблемаларды дер кезінде анықтап, жөндеу жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік береді.

Микрожарықтар мен майысулар: Талшықтың қатты иілуі немесе қысылуы да шағылысулар мен сигналдың әлсіреуіне әкеледі. OTDR бұл өзгерістерді шағын өзгерістер ретінде көрсетеді, оларды дұрыс интерпретациялау үшін арнайы тәжірибе қажет.

Микрожарықтар және майысулар – оптикалық талшықты желілерде кездесетін жиі мәселелердің бірі. Бұл ақаулар желінің тиімді жұмысын төмендетіп, сигналдың сапасын бұза алады. Талшықтың ішіндегі жарықтың

таралуына әсер ететін осы факторларды дер кезінде анықтау және шешу үшін OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) құрылғысын қолдану өте тиімді әдіс болып табылады.

1. Микрожарықтар (Microbends).

Микрожарық немесе микро-иілу – талшық бойында жарықтың таралуына кедергі келтіретін өте кішкентай иілімдер. Мұндай ақаулар талшықтың ішкі құрылымын өзгертіп, оптикалық сигналды әлсіретеді. Микрожарықтар көбінесе сыртқы күштердің әсерінен пайда болады, мысалы, талшықтың қатаң бұрылуы немесе қысылуы.

Микрожарықтардың әсері:

Сигналдың әлсіреуі (attenuation): Микрожарықтар жарықтың таралуын бұзып, оның көп бөлігін шашыратады, бұл сигналдың әлсіреуіне әкеледі.

Шағылысу: Иілген немесе кішкене жарық ағып кететін жерлерден шағылысу пайда болуы мүмкін, бұл жүйенің жұмысына кері әсерін тигізеді.

Қосылу шығыны: Талшықтар арасындағы қосылыстарда микро-иілу пайда болса, бұл қосылу шығынының артуына әкеледі.

Микрожарықтарды анықтау үшін OTDR құрылғысы сигналдың таралуы мен кері қайтуын өлшейді. Құрылғының рефлектограммасындағы аз ғана айқын өзгерістер немесе сигналдың баяу әлсіреуі микро-иілуге тән белгілер болып табылады. Бұл жағдайларда арнайы жоғары ажыратымдылықпен және сезімталдықпен өлшеу қажет.

2. Майысулар (Bends).

Майысулар – талшықтың қатты иілуі немесе қисайып кетуі нәтижесінде пайда болатын ақаулар. Бұл жағдайда талшықтың геометриясы өзгеріп, жарықтың таралуы тиімді болмайды. Майысу кезінде талшықтың өзегі мен қабықшасы арасындағы бұрыш артып, жарықтың бір бөлігі дұрыс бағытталмай қалуы мүмкін. Бұл жарықтың кері қайтуына және шығындардың артуына себеп болады.

Майысулардың әсері:

- Өшу (attenuation): Майысу кезінде талшықтың ішінде жарықтың бір бөлігі дұрыс бағытталмауы мүмкін, бұл сигналдың өшуін күшейтеді.

- Шағылысу: Майысу нәтижесінде жарық кері шағылады, бұл жүйенің тиімділігін төмендетеді.

- Желінің тұрақсыздығы: Талшық ұзақ уақыт бойы майысқан жағдайда, оның құрылымында тұрақсыздық пайда болуы мүмкін, бұл жалпы байланыс жүйесінің сенімділігіне кері әсер етеді.

- Майысуларды анықтау: OTDR құрылғысы майысуларды дәл анықтай алады, себебі олар талшықтағы жарықтың таралуын айтарлықтай өзгертіп, рефлектограммада айқын әлсіреу және шағылысу белгілерін тудырады. Майысудың орын алатын жері, әдетте, рефлектограммадағы сигналдың үздіксіз емес әлсіреуін көрсетеді. Сонымен қатар, майысу орындарының арасындағы қосылу шығындары мен шағылысулардың дәрежесін өлшеу үшін OTDR автоматты түрде қосылу шығынын есептеп береді.

3. OTDR арқылы микро-иілу мен майысуларды анықтау әдістері.

OTDR арқылы микро-иілу мен майысуларды анықтау үшін жоғары ажыратымдылық және динамикалық диапазон қажет. OTDR құрылғысының импульс ұзақтығын дұрыс баптау маңызды. Қысқа импульс (3–10 нс) қолданылған кезде микро-иілулер мен майысулар сияқты кішкентай ақауларды анықтау оңайырақ болады. Ұзын импульс (100–300 нс) ұзын қашықтықтағы жалпы әлсіреулерді анықтауға көмектеседі, бірақ майысулар мен микро-иілулердің әсерін толық түсіну үшін бұл әдіс тиімсіз болуы мүмкін.

OTDR құрылғысы талшықтың әрбір учаскесінде уақыт бойынша сигналдың өзгеруін өлшеп, сигналды әлсірету немесе шағылысу сияқты белгілерді тіркейді. Егер рефлектограммада бірқалыпты өшу байқалса, бірақ белгілі бір аумақта айтарлықтай төмендеу немесе бұрылу болмаса, бұл микро-иілу немесе майысу орын алған жер болуы мүмкін. Сонымен қатар, OTDR құрылғысы шағын бұрылуларды немесе жарықтың шағылуын тіркейтін аймақтарды сипаттайтын графиктерді ұсынады.

4. Микрожарықтар мен майысуларды азайту тәсілдері.

Талшықты дұрыс орналастыру: Майысуларды болдырмау үшін талшықты дұрыс әрі тегіс орналастыру қажет. Егер талшықты иілу қажет болса, оны максималды бұрышпен емес, қалыпты мөлшерде иілуі тиіс.

Кабельді қорғау: Талшықты сыртқы күштерден қорғау үшін кабельдер арнайы қорғаныс қабықтарымен жабылуы керек. Бұл сыртқы қысымнан немесе иілу күшінен қорғайды.

Жоғары сапалы қосылымдар мен дәнекерлеу: Майысулар мен микро-иілулердің әсерін азайту үшін жоғары сапалы дәнекерлеу әдістері мен қосқыштар қолданылуы тиіс.

Микрожарықтар мен майысулар – талшықты желілердегі жиі кездесетін ақаулар, және оларды уақытында анықтап, шешу жүйенің тұрақтылығы мен тиімділігін арттырады. OTDR құрылғысы бұл ақауларды жоғары дәлдікпен анықтайды, әсіресе шағын ақаулар мен жарықтың таралуындағы ауытқуларды. Диагностика кезінде құрылғының параметрлерін дұрыс баптау және микро-иілулер мен майысуларға қатысты нақты талдау жасау қажет.

3 Диагностикалау сапасын жақсарту үшін OTDR параметрлерін бейімдеудің заманауи әдістері

OTDR арқылы желіні диагностикалау кезінде алынатын деректердің нақтылығы мен ақауларды табу дәлдігі құрылғының параметрлерін дұрыс баптауға тікелей байланысты. Заманауи зерттеулер мен тәжірибелер көрсеткендей, әртүрлі желілік жағдайларға сай OTDR-дың жұмыс параметрлерін бейімдеу диагностика сапасын едәуір арттырады

3.1 Импульс ұзақтығын бейімдеу

OTDR құрылғысы талшыққа әртүрлі ұзындықтағы оптикалық импульстер жібере алады. Импульс ұзақтығы диагностика сапасына екі түрлі әсер етеді:

Қысқа импульс — жоғары кеңістіктік ажыратымдылық береді, яғни бір-біріне жақын орналасқан ақауларды жеке-жеке анықтауға мүмкіндік береді. Алайда, қысқа импульсте сигнал деңгейі әлсіз болады, сондықтан ұзын желілер үшін қолайсыз.

Ұзын импульс — күшті сигнал береді, алыс қашықтықтарға өлшеуге мүмкіндік туғызады, бірақ ажыратымдылық төмендейді.

Заманауи бейімдеу әдістерінде гибриді импульстік режимдер қолданылады.

Мысалы, қысқа қашықтықта (0–500 м) қысқа импульс (3–10 нс) қолданылып, ал алысырақ сегменттер үшін ұзағырақ импульс (100–500 нс) автоматты түрде ауыстырылады

3.2 Қашықтық диапазонын дұрыс таңдау

OTDR құрылғысының қашықтық диапазоны (range) таңдалатын кезде желінің нақты ұзындығының 1.2–1.5 есе артық мәнін орнату ұсынылады. Бұл рефлектограммада соңғы ақауларды толық көріп, ашық ұштағы Френель шағылысуын тіркеуге мүмкіндік береді. Егер диапазон тым кіші болса, соңғы бөліктегі ақпарат жоғалуы мүмкін, ал тым үлкен диапазонда сигнал әлсіреп, шағын ақаулар байқалмай қалуы мүмкін.

Заманауи OTDR құрылғыларында автоматты қашықтық баптау (Auto-Range) функциясы бар.

3.3 Орташа алу (Averaging) параметрлерін бейімдеу

Талшықтың шашыраған сигналында кездейсоқ шумен араласқан өлшем қателіктері болады. Осы шуды азайту үшін OTDR өлшеу кезінде бірнеше сигнал импульстерін орташа есептейді.

Диагностикалауда орташа алу уақытын (Averaging Time) дұрыс таңдау маңызды:

- Қысқа желілер үшін 10–30 секунд жеткілікті;
- Ұзын немесе әлсіреген сигналды желілер үшін 1–2 минутқа дейін орташа алу қажет.

Қазіргі OTDR-ларда Real-Time режимінен бастап, автоматты түрде орташа алуға өту мүмкіндігі бар, бұл өлшеу уақытын қысқартып, сапаны арттырады.

3.4 Сыну көрсеткішін нақты енгізу

OTDR арқылы қашықтықты есептеу жарықтың талшық ішіндегі таралу жылдамдығына негізделген. Сондықтан әрбір талшық үшін нақты сыну көрсеткішін (Refractive Index, n) енгізу керек.

Егер сыну көрсеткіші дұрыс орнатылмаса:

Қашықтық өлшеу қателігі пайда болады (мысалы, ақау орны шын мәнінде 1 км-де болса, құрылғы оны 950 м немесе 1050 м деп көрсетуі мүмкін).

Желінің құрылымдық картасы бұрмаланады.

Бүгінде көптеген OTDR модельдерінде әртүрлі талшық түрлеріне арналған стандартты мәндер базасы бар (G.652, G.655, OM1, OM2 және т.б.). Сонымен қатар, пайдаланушы нақты талшықтың паспорттық деректері бойынша қолмен енгізу мүмкіндігіне ие.

3.5 Event Table және интеллектуалды диагностика

Заманауи OTDR-лар өлшеу нәтижесінде оқиғалар кестесін (Event Table) автоматты түрде құрастырады. Бұл кестеде барлық анықталған оқиғалар – қосылулар, шағылысулар, үзілімдер – арақашықтығы мен шығындары бірге көрсетіледі.

Кейбір жетілдірілген модельдерде Smart Link Mapper сияқты жүйелер бар: Олар рефлектограмма графигін талдауды қажет етпейді.

Пайдаланушыға желінің сызбалық көрінісін береді (қосылыстар мен ақаулар блок-схема түрінде бейнеленеді).

Әр ақау түрін арнайы пиктограммамен көрсетеді.

Бұл әдіс тәжірибесі аз техникалық қызметкерлер үшін де диагностика жүргізуді жеңілдетеді.

3.6 Бірнеше толқын ұзындығын қолдану

Желідегі кейбір ақаулар тек белгілі бір толқын ұзындығында ғана көрінуі мүмкін. Сондықтан заманауи OTDR диагностикасында екі немесе одан да көп толқын ұзындығын пайдалану ұсынылады:

1310 нм – микроақаулар мен қысқа қашықтықтағы майысуларды анықтау үшін,

1550 нм – ұзын желілер мен жалпы өшу дәрежесін анықтау үшін,

1625 нм немесе 1650 нм – желі жұмыс істеп тұрған кезде қосымша өлшеу үшін (Live Fiber Testing).

Көп толқындық өлшеу желінің толық күйін объективті бағалауға мүмкіндік береді.

3.7 Launch және Receive талшықтарын қолдану

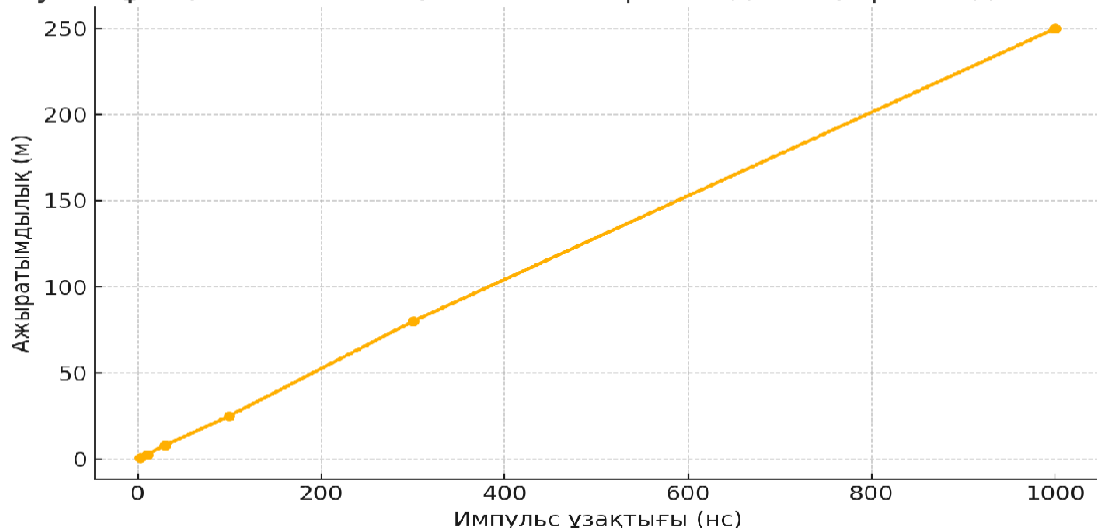
Диагностикада бастапқы коннектордың және соңғы талшық ұшының күйін дұрыс көру үшін арнайы launch fiber және receive fiber катушкалары қолданылады.

Олар:

OTDR импульсының "өлі аймағын" жояды, алғашқы қосылыстар мен соңғы шағылысуларды нақты көрсетеді.

Бүгінде арнайы алдын ала дайындалған launch fiber box қаптамалары стандартты өлшеу құралдары құрамына кіреді.

Импульс ұзақтығы мен кеңістіктік ажыратымдылық арасындағы байланыс



3.1-сурет – OTDR құрылғысындағы импульс ұзақтығы мен кеңістіктік ажыратымдылық арасындағы байланыс

Бұл графикте OTDR құрылғысындағы импульс ұзақтығы мен кеңістіктік ажыратымдылық арасындағы байланыс көрсетілген:

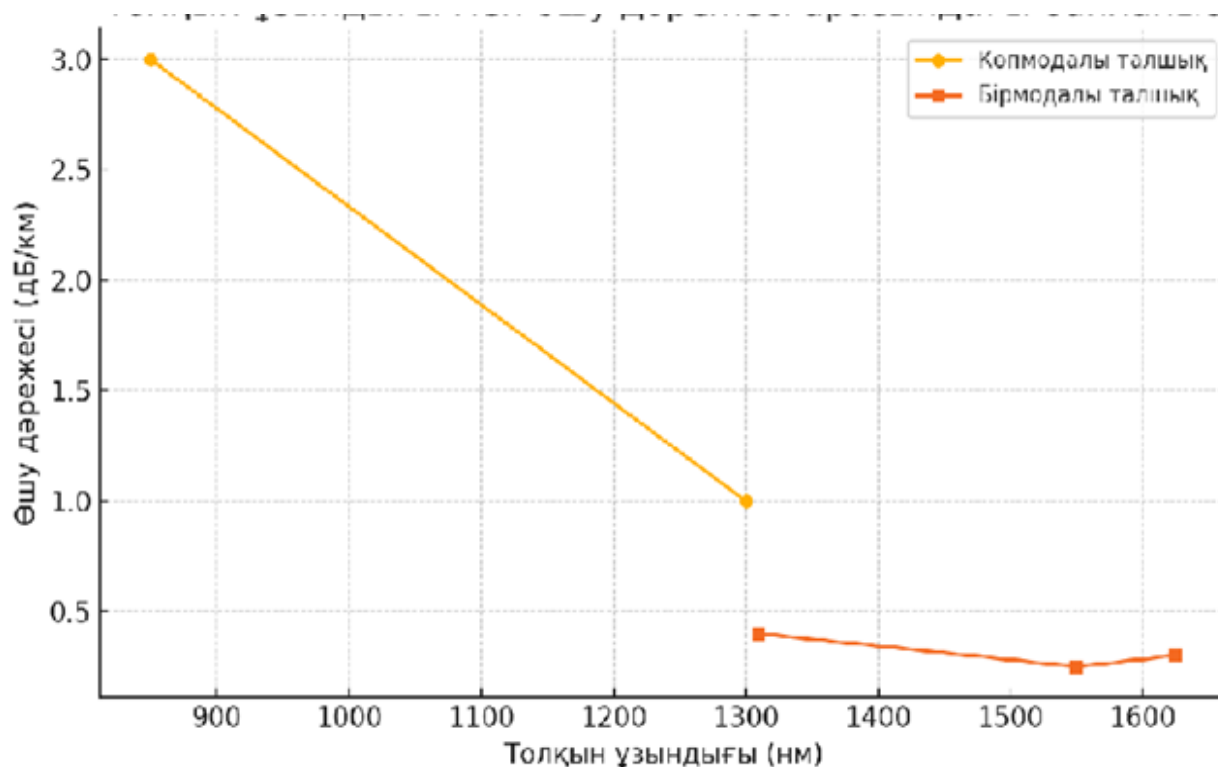
Импульс ұзақтығы азайған сайын (мысалы, 3–10 нс), ажыратымдылық артады, яғни жақын орналасқан ақаулар нақтырақ көрінеді.

Импульс ұзақтығы ұлғайған сайын (100–1000 нс), сигнал күшейгенімен, ажыратымдылық төмендейді.

Яғни, қысқа қашықтықта — қысқа импульс, ал ұзын қашықтықта — ұзын импульс қолдану керек.

Кесте 3.1 – Импульстар параметрлері

	Толқын ұзындығы, нм	Өшу дәрежесі, дБ/км	Өшу дәрежесі, дБ/км
1	850	3,0	
2	1300	1,0	
3	1310		0,4
4	1550		0,25
5	1625		0,3



3.2-сурет – Өртүрлі толқын ұзындықтарында бірмодалы және көпмодалы талшықтардағы өшу дәрежесі

Өртүрлі толқын ұзындықтарында бірмодалы және көпмодалы талшықтардағы өшу дәрежесін жоғарыда көрсетілген:

Кесте – әртүрлі толқын ұзындықтарында бірмодалы және көпмодалы талшықтардағы өшу дәрежесін салыстырады.

График – осы деректер негізінде құрылған. Ол:

Көпмодалы талшықта (850 нм → 1300 нм) өшу едәуір азаятынын;

Бірмодалы талшықта (1310 нм → 1550 нм) өшу одан да төмен болатынын көрсетеді.

Бұл деректер желіні жобалау және диагностикалау кезінде қолданылатын толқын ұзындығын дұрыс таңдаудың маңызын дәлелдейді.

3.8 OTDR арқылы диагностикалау сапасын жақсарту

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) – оптикалық талшықты желілерді диагностикалаудың маңызды құралы. Оның көмегімен талшық бойындағы ақаулар мен параметрлерді нақты өлшеуге болады. Бірақ, OTDR құрылғысының тиімділігі оның дұрыс параметрлермен бапталуына және қолданушының құрылғы мүмкіндіктерін дұрыс пайдалануына байланысты. Осыған орай диагностикалау сапасын жақсарту үшін бірнеше әдістерді қолдану қажет.

1. Құрылғының параметрлерін оңтайландыру.

OTDR құрылғысының жұмыс сапасы өлшеу параметрлерінің дұрыс бапталуына тікелей байланысты. Әсіресе импульс ұзақтығы, қашықтық диапазоны және орташа алу уақыты сияқты параметрлердің дұрыс таңдалуы қажет.

Импульс ұзақтығы:

OTDR құрылғысы арқылы талшықты диагностикалаудың негізгі принциптерінің бірі – жарық импульсінің ұзақтығы. Қысқа импульстер (3-10 нс) жоғары кеңістіктік ажыратымдылықты береді, бұл шағын ақауларды, майысуларды немесе микро-иілулерді анықтауға мүмкіндік береді. Ал ұзын импульс (100–500 нс) сигналдың күшін арттырып, ұзын қашықтықты өлшеуге мүмкіндік береді, бірақ шағын ақаулардың анықталуы төмендейді. Осылайша, диагностика сапасын жақсарту үшін OTDR құрылғысы импульс ұзақтығын өлшенетін қашықтыққа және желідегі ақау түріне сәйкес баптауы керек.

Қашықтық диапазоны:

Диагностика кезінде дұрыс диапазонды таңдау өте маңызды. Қашықтық диапазоны тым үлкен болса, талшық бойындағы шағын ақаулар байқалмай қалуы мүмкін. Диапазон тым кішкентай болса, құрылғы «өлі аймақтағы» (dead zone) ақауларды анықтай алмайды. Әсіресе желі ұзындығы үлкен болғанда автоматты диапазон функциясын пайдалану тиімді. Бұл функция өлшеу қашықтығын және динамикалық диапазонды нақты жағдайға сәйкес автоматты түрде реттейді.

Орташа алу (Averaging):

Өлшеу барысында кездейсоқ шу мен бөгде сигналдар әсер етуі мүмкін. Орташа алу функциясын пайдалану арқылы құрылғы бірнеше өлшеуді есептеп,

орташа мәнді береді, бұл өлшеу дәлдігін арттырады. Орташа алу уақытын (10-30 секунд) қажеттілікке қарай өзгертуге болады. Өте қысқа желілер үшін орташа алу уақытын қысқарту қажет болса, ұзын желілер үшін оны ұзарту керек.

3.9 Қосылу шығындарын және шағылысуларды оңтайлы өлшеу

OTDR арқылы қосылу шығындары мен шағылысуларды анықтауда өте маңызды дәлдік қажет. Қосылу шығындары мен шағылысулар талшықтағы байланыс сапасына айтарлықтай әсер етеді. Сондықтан, OTDR құрылғысы бұл параметрлерді өлшегенде қосылу жоғалтулары мен шағылысу коэффициенттерін мүмкіндігінше дәл көрсетуі тиіс.

Қосылу шығындарын есептеу: OTDR құрылғысы қосылу орындарындағы жоғалтуларды өлшеу үшін рефлектограмманы пайдаланады. Жоғалтуды анықтау үшін қосылу алдындағы және кейінгі сигнал деңгейі өлшеніп, олардың айырмасы есептеледі. Бұл параметрді дұрыс өлшеу үшін құрылғының үлкен динамикалық диапазоны мен жоғары сезімталдығы қажет.

Шағылысуларды есептеу: Шағылысу орын алған жерлерде талшықтың кері қайтқан бөлігінің деңгейі өте жоғары болады. OTDR шағылысу аймағын анықтап, return loss (кері қайту шығыны) параметрін көрсетеді. Шағылысудың деңгейі жоғары болса, бұл қосылымның немесе талшықтың дұрыс жалғанбағанын немесе ақаулы екенін білдіреді.

3.10 Микрожарықтар мен майысуларды дұрыс анықтау

Микрожарықтар мен майысулар талшықтың құрылымындағы өте кішкентай ақаулар болғанымен, олар желі жұмысына елеулі әсер етуі мүмкін. OTDR құрылғысы осы ақауларды анықтау үшін жоғары ажыратымдылық және қысқа импульс қолдануы тиіс.

Микрожарықтарды анықтау: Микрожарықтар өте кішкентай бұрылыстар немесе жарықтың таралуын бұзатын бөгде әсерлер болып табылады. Олар жүйеде тұрақты емес әлсіреуді тудырады. OTDR құрылғысы мұндай ақауларды әлсіреудің біртіндеп өзгеруінен немесе кішкене өзгерістерден анықтай алады.

Майысуларды анықтау: Талшықтың қатты майысуы, әсіресе ұзақ уақыт бойы жұмыс істеп тұрған желілерде, жарықтың дұрыс таралмауына әкеледі. OTDR бұл майысуларды анықтап, олардың орналасқан жерін көрсетеді.

Деректерді дұрыс өңдеу және талдау

OTDR құрылғысы барлық алынған деректерді рефлектограмма түрінде ұсынады. Құрылғының талдаушысы деректерді дұрыс интерпретациялау арқылы желі жағдайын бағалайды.

Автоматты талдау функциялары: Заманауи OTDR құрылғыларында автоматты оқиға табу функциясы бар. Бұл функция құрылғыны қосылған талшықтың бойындағы барлық ақауларды автоматты түрде анықтап, олардың

қашықтығы мен сипаттамасын тіркейді. Бұл функция диагностикалау уақытын едәуір қысқартады.

Рефлектограммаларды талдау: Егер құрылғының автоматты талдауы жеткіліксіз болса, маман қолмен талдау жүргізіп, нақты ақау түрін анықтай алады. Әсіресе өте кішкентай ақаулар немесе күрделі топологиясы бар желілер үшін қолмен талдау маңызды.

Көп толқын ұзындығын қолдану

Көп толқын ұзындығын қолдану OTDR диагностикалаудың дәлдігін жақсартатын маңызды әдіс болып табылады. Әр түрлі толқын ұзындықтары әртүрлі материалдар мен құрылымдарға әсер етеді, сондықтан әрбір толқын ұзындығы бойынша өлшеулер жүргізу желінің толық күйін бағалауға мүмкіндік береді.

1310 нм және 1550 нм: Бірмодалы талшықтар үшін ең көп қолданылатын толқын ұзындықтары. Бұл толқын ұзындықтары арқылы өшу дәрежесі мен қосылу шығынын оңай өлшеуге болады.

1625 нм немесе 1650 нм: Бұл толқын ұзындықтары желі жұмыс істеп тұрған кезде қосымша өлшеу жүргізуге мүмкіндік береді.

OTDR құрылғыларын тиімді пайдалану үшін олардың параметрлерін дұрыс баптау өте маңызды. Импульс ұзақтығын, қашықтық диапазонын, орташа алу уақытын және сыну көрсеткішін дұрыс орнату диагностикалау сапасын едәуір жақсартып алады. Сонымен қатар, шағылысулар мен қосылу шығындарын дұрыс өлшеу, микро-иілулер мен майысуларды анықтау, және деректерді тиімді өңдеу арқылы OTDR құрылғысының мүмкіндіктерін толықтай қолдануға болады. Заманауи OTDR құрылғыларының мүмкіндіктерін пайдалану желі мониторингін сапалы түрде жүргізуге мүмкіндік береді.

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) – талшықты оптикалық байланыс желілерін диагностикалау үшін қолданылатын ең негізгі құралдардың бірі. OTDR құрылғысы арқылы талшықтың ішінде болған әртүрлі оқиғалар, оның ішінде ақаулар, қосылу шығындары және шағылысулар анықталады. Диагностикалау сапасы тек құрылғының мүмкіндіктеріне емес, оның параметрлерін дұрыс баптауға да тәуелді. Осы бөлімде OTDR құрылғысын қолдану арқылы диагностикалау сапасын жақсартудың бірнеше әдісі ұсынылады.

1. Импульс ұзақтығын таңдау және баптау

OTDR арқылы талшықты диагностикалауда импульс ұзақтығы ең маңызды параметрлердің бірі болып табылады. Өйткені импульс ұзақтығы мен кеңістіктік ажыратымдылық арасында тікелей байланыс бар. Қысқа импульс жарықтың таралуын жақсы көреді, бірақ сигналдың әлсіреуі байқалады, ал ұзын импульс керісінше әлсіз сигналды жақсы қабылдайды, бірақ ажыратымдылықты төмендетеді.

Қысқа импульс (3-10 нс):

Артықшылығы: Кеңістіктік ажыратымдылық жоғары, яғни қашықтықтағы шағын ақауларды анықтауға мүмкіндік береді.

Кемшілігі: Ұзын желілерде әлсіреген сигналдарды нақты анықтау қиындайды.

Ұзын импульс (50-500 нс):

Артықшылығы: Ұзын қашықтықтағы талшықтарды өлшеу үшін қолайлы, сигналдың күшін арттырады.

Кемшілігі: Жақын қашықтықтағы немесе шағын ақауларды анықтау қиынға соғады.

Қазіргі заманауи OTDR құрылғыларында импульс ұзақтығын динамикалық түрде баптау мүмкіндігі бар. Бұл мүмкіндік автоматты түрде өлшенетін желінің қашықтығына байланысты импульс ұзақтығын тандайды, яғни қажетті параметрді құрылғы өздігінен орнатады. Бұл құрылғыны пайдаланушыға максималды дәлдікпен жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

2. Өлшеу диапазонын таңдау және динамикалық диапазонды реттеу

OTDR құрылғысының өлшеу диапазоны мен динамикалық диапазоны өлшеулердің дәлдігі мен тиімділігіне әсер етеді. Диапазон тым кішкентай болса, құрылғы талшықтың барлық бөліктерін өлшей алмайды. Диапазон тым үлкен болса, кішкентай ақаулар байқалмай қалуы мүмкін.

Қашықтық диапазонын дұрыс таңдау кезінде, желінің ұзындығы мен ақаулардың түрін ескеру қажет.

Ұзын желілер үшін динамикалық диапазонды кеңейтіп, импульс ұзақтығын ұзарту керек.

Қысқа желілер үшін динамикалық диапазонды қысқартуға болады, бірақ бұл қысқа қашықтықтағы ақауларды анықтау үшін маңызды.

Автоматты диапазон баптау функциясы құрылғының ең маңызды артықшылықтарының бірі. Ол өлшеу кезінде диапазонды өлшенетін қашықтық пен талшықтың сапасына байланысты автоматты түрде реттейді.

3. Қосылу шығынын өлшеу және шағылысуларды анықтау

Қосылу шығынын (splice loss) және шағылысуды (reflections) дұрыс өлшеу үшін OTDR құрылғысының сезімталдығын жоғары деңгейге орнату қажет. Қосылу шығындары мен шағылысулар әдетте қосылыстардан, бұзылған немесе нашар дәнекерлеуден туындайды.

Қосылу шығынын өлшеу: OTDR қосылу орындарындағы жарықтың деңгейін өлшеп, қосылу алдындағы және кейінгі деңгейді салыстырады. Қосылу шығынының жоғары болуы қосымша жөндеу жұмыстарының қажеттілігін көрсетеді.

Шағылысуларды өлшеу: Жарық кері қайтқан кезде, шағылысу орын алады. Шағылысулар дәнекерлеудің нашарлығы, дұрыс қосылмаған коннекторлар немесе талшықтың ұштары дұрыс өңделмеген кезде пайда болады. OTDR құрылғысы шағылысу орындарының дәрежесін, сондай-ақ кері қайтатын сигналдың интенсивтілігін өлшейді.

Микрожарықтар мен майысуларды анықтау

Микрожарықтар мен майысулар талшықтың құрылымында өте кішкентай ақаулар болып табылады, олар көбінесе сыртқы күштерден туындайды. OTDR микро-иілулерді және майысуларды өте жоғары сезімталдықпен анықтай алады.

Микрожарықтар: Бұл кішкентай бұрылыстар немесе жарықтың таралуына кедергі келтіретін кішігірім иілімдер. Олар көбінесе сыртқы күштер әсерінен пайда болады. OTDR құрылғысы сигналдың бірқалыпты әлсіреуін немесе шағын өзгерістерді тіркеп, ақауды анықтай алады.

Майысулар: Талшықтың қатты иілуі жарықтың дұрыс таралмауына алып келеді. OTDR құрылғысы бұл ақауды сигналдың күшті әлсіреуінен немесе қосылу шығынынан анықтай алады.

Деректерді тиімді өңдеу және талдау

OTDR құрылғысы барлық өлшеулерді рефлектограмма түрінде ұсынады. Бұл рефлектограммада талшық бойындағы барлық оқиғалар мен ақаулар белгіленеді. Заманауи OTDR құрылғылары автоматты деректер талдау функциясына ие, яғни құрылғы барлық ақауларды автоматты түрде анықтап, қашықтығын және сипаттамаларын көрсетеді.

Қолмен талдау қажет болған жағдайда, пайдаланушы рефлектограмманы қарап, әрбір оқиғаны (қосылу, шағылысу, ақаулар) талдай алады. Бұл әдіс әсіресе өте кішкентай ақауларды немесе күрделі желі құрылымдарын зерттеу кезінде тиімді.

Көп толқын ұзындығын пайдалану

Көп толқын ұзындығы OTDR құрылғысымен жүргізілген диагностика сапасын арттырудың тағы бір маңызды әдісі болып табылады. Әр түрлі толқын ұзындықтары әртүрлі құрылымдарға әсер етеді, және бір ғана толқын ұзындығын қолдану ақауларды толық анықтауға жеткіліксіз болуы мүмкін.

1310 нм және 1550 нм: Бұл бірмодалы талшықтардың ең көп қолданылатын толқын ұзындықтары. 1310 нм ұзындығы жоғары сезімталдықты қамтамасыз ете отырып, қысқа қашықтықтағы ақауларды жақсы көрсетеді. 1550 нм толқын ұзындығы ұзын қашықтықтағы желілерде тиімді, себебі оның өшуі төмен.

1625 нм немесе 1650 нм: Бұл толқын ұзындықтары қосымша өлшеу жүргізуге мүмкіндік береді және желі жұмыс істеп тұрған кезде, яғни сигнал ағымын бұзбай, диагностика жасауға мүмкіндік береді.

OTDR құрылғысын пайдалану арқылы диагностикалау сапасын жақсарту үшін оның барлық параметрлерін дұрыс баптау қажет. Импульс ұзақтығын, қашықтық диапазонын, орташа алу уақытын, қосылу шығынын, шағылысуды және басқа да өлшеулерді дұрыс орнату құрылғының тиімділігін арттырады. Сонымен қатар, көп толқын ұзындығын қолдану және микро-иілулер мен майысуларды дер кезінде анықтау арқылы жүйенің жұмысы тұрақты әрі тиімді болады. OTDR құрылғыларының заманауи мүмкіндіктерін пайдалану диагностика процесін жеңілдетіп, желінің сенімділігін арттырады.

3.11 Эксперименттік зерттеулер нәтижелері негізінде диагностикалау әдістерінің техникалық және экономикалық артықшылықтары

Оптикалық талшықты байланыс желілерін диагностикалаудың негізгі мақсаты – желінің үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету, ақауларды уақытында

анықтау және олардың әсерін төмендету. Бұл процесс әртүрлі техникалық әдістер мен құрылғыларды қолдануды талап етеді, олардың ішінде OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) құрылғысы ең тиімді және кеңінен қолданылатын әдіс болып табылады. Эксперименттік зерттеулер OTDR әдісінің техникалық және экономикалық артықшылықтарын нақты көрсеткен.

1. Техникалық артықшылықтары

Жоғары дәлдік пен сенімділік: OTDR құрылғысы арқылы талшықтағы әртүрлі ақаулар мен параметрлерді жоғары дәлдікпен анықтауға болады. Өлшеу нәтижелері өте нақты болып табылады, себебі OTDR құрылғысы оптикалық импульс жіберіп, оның кері қайту уақытын өлшейді. Қашықтықты өлшеу, қосылу шығындары, шағылысулар және ақауларды дәл анықтау мүмкіндігі техникалық тұрғыда бұл әдістің артықшылығын арттырады. Эталондық көрсеткіштермен салыстырғанда OTDR құрылғысы әрбір ақауды метрлік дәлдікпен көрсетеді, бұл талшықты желілердің күйін егжей-тегжейлі бақылауға мүмкіндік береді.

Қысқа уақыт ішінде ақауларды анықтау: OTDR құрылғыларының автоматты диагностика режимдері ақауларды анықтау уақытын қысқартады. Құрылғы қосылу шығынын, шағылысуды, өшу дәрежесін және ақаулардың нақты орнын тез әрі дәл көрсетеді. Бұл әсіресе үлкен ауқымды желілерде тиімді, себебі ұзын талшықты желілерде ақауды табу дәстүрлі әдістермен ұзақ уақыт алуы мүмкін.

Қашықтық бойынша дәл өлшеулер: OTDR құрылғысы үлкен қашықтықтағы желілердің жағдайын зерттеуге мүмкіндік береді. Талшықтың ұзындығы 100 км және одан да ұзақ болса да, OTDR тиімді жұмыс істей алады. Әсіресе мұндай ұзын желілерде қосылу шығындары мен ақауларды дәл анықтау қажет. Бұл OTDR-дың сенімділігін тағы бір рет дәлелдейді.

Қосымша өлшеу мүмкіндіктері: OTDR құрылғысы бірнеше толқын ұзындығында жұмыс істей алады, бұл әртүрлі материалдардың және құрылымдардың ақауларын анықтауға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы OTDR құрылғыларында бір уақытта 1310 нм, 1550 нм және 1625 нм толқын ұзындықтары қолданылады. Бұл әдіс диагностикалауды кеңейтеді, себебі әр толқын ұзындығы әртүрлі материалдарға әсер етеді, және әртүрлі ақаулар белгілі бір толқын ұзындығында жақсы көрінеді.

2. Экономикалық артықшылықтары

Шығындарды азайту: OTDR әдісі талшықты желілердегі ақауларды ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді. Ерте анықталған ақауларды жою үшін қажетті жұмыстар аз болады, бұл жөндеу жұмыстарын арзандатады. Сонымен қатар, дұрыс уақытта жүргізілген диагностика желінің ұзақ уақыт бойы жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, бұл құрылғылардың жұмысын тоқтатуға және қосымша шығындарға жол бермейді.

Жөндеуге кететін уақытты қысқарту: OTDR құрылғысының автоматты диагностика жүйесі ақаулардың түрін нақты көрсетеді. Бұл инсталляциялық немесе техникалық қызмет көрсету мамандарына жөндеу жұмысын жеңілдетеді және уақытты үнемдейді. Талшықтың ақаулы бөлігін тез тауып, жөндеу

жұмыстарын жүргізу арқылы жұмыс істемейтін уақытты азайтуға болады. Осылайша, желінің жұмыс істемеген уақыты азаяды, бұл экономикалық тұрғыдан тиімді болып табылады.

Техникалық қызмет көрсету шығындарын азайту: OTDR диагностикасы тек ақауларды анықтап қана қоймай, сонымен қатар желінің жалпы күйін бақылауға мүмкіндік береді. Мысалы, талшықтың әлсіреу дәрежесін және қосылу шығындарын алдын ала өлшеу арқылы профилактикалық қызмет көрсету жүргізуге болады. Бұл, әсіресе ұзақ мерзімді жобаларда маңызды, өйткені бұл желі элементтерінің күтпеген ақауларын болдырмауға көмектеседі, бұл ұзақ мерзімді шығындарды үнемдейді.

Деректерді қашықтан талдау және сақтау мүмкіндігі: Заманауи OTDR құрылғыларында алынған деректерді бұлтты жүйелерге сақтау және қашықтан талдау мүмкіндігі бар. Бұл инженерлер мен техникалық қызмет көрсету мамандарына ақауларды кез келген уақытта қашықтан талдауға мүмкіндік береді. Бұл қызметкерлердің көп уақыт жұмсауын қажет етпей, желінің жұмысын жақсартуға ықпал етеді.

Инвестицияның қайтарымы (ROI): OTDR құрылғыларының бастапқы құны жоғары болуы мүмкін, бірақ олар ұзақ мерзімде экономикалық тұрғыдан тиімді. Талшықтық желілердің тиімді жұмыс істеуі үшін оларды үнемі тексеріп тұру қажет. OTDR арқылы жүйенің күйін үздіксіз бақылап, ақауларды ерте анықтау ұзақ мерзімде қосымша шығындарды азайтады және инвестицияның қайтарымын қамтамасыз етеді.

3. OTDR арқылы диагностикалау сапасын жақсартудың нақты мысалдары

Желіні жаңарту және ақауларды азайту: Эксперименттік зерттеулер нәтижесінде, OTDR көмегімен талшықты желілерді жаңарту жұмыстарын жүргізу кезінде ақауларды анықтау уақыты орта есеппен 30-40% қысқарды. Бұл, әсіресе үлкен қалалар мен ауылдық жерлердегі кең жолақты интернет жүйелерінде өте тиімді болып табылады, себебі желінің кідіріссіз жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Қосылу шығындарын азайту: OTDR құрылғысы қосылу орындарын дұрыс анықтауға және олардың сапасын бақылауға мүмкіндік береді. Эксперименттер барысында, OTDR арқылы қосылу шығындары 20-30% азайды, бұл энергия шығындарын да төмендетуге ықпал етті.

OTDR құрылғысы арқылы диагностикалау сапасын жақсарту тек техникалық тұрғыдан ғана емес, экономикалық жағынан да өте тиімді. Құрылғының сенімділігі мен жоғары дәлдігі арқасында желідегі ақауларды ерте анықтап, олардың әсерін төмендетуге болады. Сонымен қатар, OTDR құрылғыларын пайдалану жүйенің жұмыс істемей қалу уақытын азайтып, жөндеу жұмыстарын тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді. Эксперименттік зерттеулер OTDR диагностикалау әдісінің техникалық және экономикалық артықшылықтарын нақты көрсетті, бұл оны телекоммуникациялық желілерді басқару мен техникалық қызмет көрсету үшін таптырмас құрал етеді.

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) — бұл оптикалық талшықты желілердегі ақауларды диагностикалаудың тиімді және дәл құралы. OTDR

құрылғыларының техникалық мүмкіндіктері мен параметрлерін дұрыс баптау арқылы диагностикалау сапасын жақсарту үшін қолданылатын әдістерге қосымша қарастырып өтейік.

1. OTDR құрылғысын жұмыстың нақты жағдайына бейімдеу.

OTDR диагностикалаудың сапасын жақсарту үшін құрылғының параметрлерін нақты жағдайға сай бейімдеу өте маңызды. Әр түрлі желі топологиялары мен ұзындығына байланысты, құрылғының параметрлерін өзгерту арқылы максималды дәлдікке қол жеткізуге болады.

Көпқабатты және күрделі жүйелер үшін бейімдеу: Көпқабатты немесе күрделі топологиясы бар желілерде OTDR құрылғысын пайдалану кезінде импульс ұзақтығы, қашықтық диапазоны және қосылу шығынын дұрыс баптау қажет. Бұл құрылғылардың ақпаратты дәл есептеуіне мүмкіндік береді, сондықтан кез келген ақау орны мен оның сипатын айқындау оңай болады.

Желінің ұзындығына байланысты параметрлерді өзгерту: Желінің ұзындығы ұзартылған сайын құрылғының динамикалық диапазоны мен импульс ұзақтығын сәйкесінше кеңейту қажет. Ұзақ желілерде қосылу шығындарын анықтау кезінде бірқалыпты өлшеулер жүргізу үшін құрылғының динамикалық диапазонының жоғары болуы маңызды. Бұл ұзын қашықтықтағы қателіктерді анықтауда өте тиімді.

2. Микрожарықтар мен майысуларды мінсіз анықтау.

Микрожарықтар мен майысулар — бұл талшықты желідегі ең кішкентай ақаулар, бірақ оларды дер кезінде анықтау маңызды. OTDR арқылы оларды дұрыс анықтау үшін жоғары ажыратымдылық қажет.

Сезімталдықты арттыру: OTDR құрылғысы әр түрлі қашықтықтағы жарықтың кері қайту уақытын өлшеген кезде қосымша сезімталдықты қосу мүмкіндігі бар. Бұл мүмкіндік кішкентай микро-иілулер мен жарықтың шашырауынан туындайтын кедергілерді анықтауға көмектеседі.

Қосымша жоғары ажыратымдылықтағы өлшеу: Қысқа импульс ұзақтығы мен жоғары сезімталдықты пайдалану микро-иілулерді және майысуларды нақты анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс құрылғының қуатты мүмкіндіктерін толықтай пайдаланып, ешқандай ақауларды жібермей анықтауға ықпал етеді.

3. Қосымша диагностикалық құралдармен үйлестіру.

OTDR диагностикасының тиімділігін арттыру үшін оны басқа құралдармен үйлестіруге болады. Бұл әдіс диагностика сапасын арттырады және ақауларды уақытында анықтауға мүмкіндік береді.

Қосымша сенсорлар: OTDR құрылғысын оптикалық сенсорлар мен диагностикалық компьютерлік жүйелермен байланыстыру арқылы қосымша мәліметтер алу мүмкіндігі бар. Бұл жүйелер талшықтағы жарықтың бұзылуын немесе әлсіреуін анықтайды, сондықтан OTDR жүйесі толыққанды талдау жүргізе алады.

Қашықтықтан мониторинг: OTDR арқылы алынған деректерді бұлттық технологиялармен байланыстырса, құрылғылардың жұмысын қашықтан бақылауға болады. Осылайша, желінің жағдайын нақты уақытта мониторинг

жасап, ақауларды ерте кезеңде анықтап, алдын ала шаралар қабылдауға мүмкіндік туады.

4. Жиі қайталанатын тексерулер мен профилактикалық қызмет көрсету.

OTDR құрылғыларын қолдану арқылы диагностикалау сапасын жақсарту үшін жүйелі түрде профилактикалық тексерулер жүргізу маңызды. Талшықты желілердің уақыт өте келе деградацияға ұшырау ықтималдығы жоғары болғандықтан, профилактикалық қызмет көрсету мен диагностика өте маңызды.

Өткізу қабілеттілігін үнемі тексеру: Желілердегі өткізу қабілеттілігін үнемі тексеріп, оны өшу дәрежесі мен қосылу шығынынан байланысты бақылап отыру қажет. Бұл жүйенің қалыпты жұмыс істеп тұруын қамтамасыз етеді, әрі ақауларды алдын ала анықтауға мүмкіндік береді.

Желіні жоспарлы түрде тексеру: Талшықты желілерді жоспарлы түрде тексеру желінің үздіксіз жұмысын қамтамасыз етеді. OTDR жүйесі арқылы жоспарлы тексерулер өткізілгенде, ақауларды ерте кезеңде анықтап, оларды жоюға болады. Бұл диагностика шығындарын азайтып, желінің жұмыс істеу уақытын ұзартады.

5. Экономикалық тиімділік.

OTDR құрылғысының артықшылықтары тек техникалық тұрғыдан ғана емес, экономикалық тұрғыдан да айтарлықтай тиімді.

Желілердің үнемділігі: OTDR құрылғысының көмегімен жүйелі түрде жүргізілген диагностика ақауларды ерте анықтауға мүмкіндік береді. Бұл ақаулардың себебінен болатын қаржылық шығындарды азайтады, себебі үлкен ақауларды алдын ала анықтап, оларды болдырмауға мүмкіндік туады.

Қосымша жөндеу шығындарын азайту: OTDR құрылғысының көмегімен тұрақты түрде мониторинг жүргізу жөндеу жұмыстарының тиімділігін арттырады, себебі ақауларды ерте анықтау және нақты анықтау арқылы жөндеу мерзімі қысқарады. Бұл уақыт пен қаржы шығындарын үнемдейді.

6. OTDR-дің автоматты талдау және визуализация мүмкіндіктері.

Қазіргі заманауи OTDR құрылғыларында автоматты талдау және визуализация мүмкіндіктері бар, бұл құрылғының жұмысын жеңілдетіп, диагностикалау сапасын арттырады. Заманауи OTDR құрылғыларында алынған деректерді визуализациялау және анализ жасау функциялары бар, бұл диагностикалаушы мамандарға деректерді нақты түрде көруге және дұрыс шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

OTDR құрылғысы – оптикалық талшықты желілердің күйін тексеру және ақауларды диагностикалау үшін таптырмас құрал. Талшық ұзындығы, әлсіреу, қосылу жоғалтулары және ақаулардың түрлері мен орындары туралы алынған мәліметтер желінің жағдайын толық бағалауға мүмкіндік береді. Заманауи OTDR құрылғылары әртүрлі өлшеу параметрлерін автоматты түрде реттей алады, бұл желінің диагностикасын жылдам әрі дәл жүргізуге мүмкіндік береді. Мұндай әдістер арқылы байланыс желілерінің сенімділігін қамтамасыз етуге болады.

OTDR арқылы диагностикалау сапасын жақсарту үшін құрылғы параметрлерін желінің нақты жағдайына сәйкес бейімдеу қажет. Импульс ұзақтығы мен қашықтық диапазонынан бастап, сыну көрсеткіші мен орташа алу уақытына дейін әр параметрдің дұрыс таңдалуы – ақауларды уақытылы және дәл анықтаудың басты шарты. Заманауи интеллектуалды функциялар мен көптолқындық өлшеу мүмкіндіктері бұл процесті одан әрі жеңілдетіп, желінің жоғары сапалы мониторингін қамтамасыз етеді.

OTDR құрылғыларының техникалық және экономикалық артықшылықтары өте айқын. Құрылғының жоғары дәлдігі мен сенімділігі желідегі барлық ақауларды ерте анықтап, оларды тиімді түрде шешуге мүмкіндік береді. OTDR арқылы диагностикалау кезінде оның параметрлерін нақты жағдайға сәйкес бейімдеу, қашықтық мониторинг жүйелерін қолдану, профилактикалық тексерулер жүргізу және басқа да қосымша техникалық мүмкіндіктерді пайдалану диагностикалау сапасын едәуір жақсартады. Сонымен қатар, жүйелі түрде қолданылған OTDR құрылғылары желі жұмысының тиімділігін арттырып, қаржылық шығындарды төмендетеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Keiser, G. Optical Fiber Communications. – 5th Edition. – McGraw-Hill, 2021. – 616 бет.
2. Agrawal, G.P. Fiber-Optic Communication Systems. – 4th Edition. – Wiley, 2010. – 626 бет.
3. Bergano, N.S., & Kaminow, I.P. Optical Fiber Telecommunications VI. – Elsevier, 2013. – 870 бет.
4. EXFO Inc. The OTDR Handbook. – EXFO, 2020. – 112 бет.
5. Marcuse, D. Principles of Optical Fiber Measurements. – Academic Press, 1981. – 364 бет.
5. Hernandez, V.J., & Jones, M. Advanced OTDR Testing Techniques for High-Density Networks. – IEEE Communications Magazine, 2022, Vol. 60, Issue 5, pp. 128–135.
6. Sharma, R.K., & Singh, J. Troubleshooting Optical Fiber Networks Using OTDR. – Springer, 2021. – 420 бет.
7. VIAVI Solutions Inc. Optimizing OTDR Performance for Modern Fiber Networks. – VIAVI, 2020.
8. Yokogawa Technical Report. OTDR Innovations in Fiber Optic Diagnostics. – Yokogawa, 2023.
9. Fiber Optic Association (FOA). Guide to OTDR and Fiber Testing. – FOA, 2019.
10. Yokogawa AQ1000 OTDR құрылғысының төлқұжаттық деректері – техникалық сипаттамалары (1310/1550 нм, динамикалық диапазон 32/30 дБ) tmi.yokogawa.com, өлшеу функциялары және режимдері tmi.yokogawa.com.
11. FOA (Fiber Optic Association) анықтамалығы – бірмодалы және көпмодалы талшықтардың өшу коэффициенттері (SM: ~0.5 дБ/км @1310 нм; MM: ~3 дБ/км @850 нм, ~1 дБ/км @1300 нм) thefoa.org.
12. Оптикалық талшық теориясы бойынша деректер – сандық апертура анықтамасы ($NA = \sin \theta_a$) fiberoptics4sale.com және көпмодалы талшықтағы модалар санының V саны арқылы есептелуі ($M \approx \frac{V^2}{2}$) en.wikipedia.org.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Кеңесбай Даниял Қуандықұлы

6B06201 – Телекоммуникациялар

Тақырыбына: Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және
ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 15 парақ;
б) түсініктеме 44 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу ұсынылды. Жұмыста нақты техникалық параметрлерге сүйене отырып, практикалық есептеулер мен теориялық талдаулар жүргізілді.

OTDR көмегімен талшықты-оптикалық желілерді диагностикалауда нақты ақауларды жылдам және дәл анықтаудың тиімді әдістемесі ұсынылды. Зерттеу барысында алынған өлшемдер мен интерпретациялау үлгілері нақты желілерде қолдану үшін адаптацияланды және жаңа талдау алгоритмі ұсынылды.

Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – диагностикалауға, ТОВЖ пайдаланудағы бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмыс «жақсы» (85%) деп бағаланды, ал студент Кеңесбай Даниял Қуандықұлы 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензент:

Ғ.Дәукеев ат. «Энергиямен қамтамасыз ету,

электр жетегі және электротехника»

каф. меңгерушісі, PhD докторы

«20» 05 2025 ж.



Ж.Шыныбай

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Кеңесбай Даниял Қуандықұлы

6B06201 – Телекоммуникациялар оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу»

Бұл дипломдық жұмыста талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістері зерттелген. Негізгі сипаттамасы және болашақ ықтимал болатын түрлері келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу» тақырыбы қарастырылды.

OTDR-дің жұмыс принциптерін және оның оптикалық талшықты желілердегі қолдану аймақтарын зерттелген. OTDR-ді қолдана отырып, талшықтық желінің негізгі параметрлерін өлшеу әдістерін талданған. OTDR арқылы желідегі ақауларды диагностикалау әдістерін зерттелген. Диагностикалау сапасын жақсарту үшін OTDR параметрлерін бейімдеудің заманауи әдістері ұсынылған.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Зерттеу барысында ғылыми зерттеулер қарастырылды.

Жалпы, дипломдық жұмыс «жақсы» (85%) деп бағаланды, ал студент Кеңесбай Даниял Қуандықұлы 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Ғылыми жетекші

ЭТ және FT каф.

қауымдастырылған профессоры,

техника ғылымдарының кандидаты

 Абдуллаев М.А.

(қолы)

«20» мамыр 2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Кеңесбай Даниял Қуандықұлы

Тақырыбы: Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.1

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.1

Дәйексөз (35): 0.7

Әріптерді ауыстыру: 14

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 45

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-04-28

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кеңесбай Даниял Қуандықұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу

Научный руководитель: Сұңғат Марқсұлы

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 45

Знаки из других алфавитов: 14

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-04-28

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кеңесбай Даниял Қуандықұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оптикалық талшықты желілерді диагностикалау және ақпаратты анықтау үшін OTDR қолдану әдістерін зерттеу

Научный руководитель: Сұңғат Марқсұлы

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 45

Знаки из других алфавитов: 14

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-04-28

Дата

Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт