






https://doi.org/10.51885/3134-8009_IJS_2026_1_5

XFTAP 49.44.31

ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ АҚПАРАТ БЕРУ ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ ОПТИКАЛЫҚ ҚУАТ ДЕҢГЕЙІН ТӨМЕНДЕТУ БОЙЫНША ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУЛЕР

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ ОПТИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ В ОПТОВОЛОКОННЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

EXPERIMENTAL STUDIES OF REDUCING THE OPTICAL POWER LEVEL IN FIBER-OPTIC INFORMATION TRANSMISSION LINES

А.Д. Мехтиев ¹, Е.Г. Нешина ¹, А.Д. Алькина ¹, П.А. Дунаев ^{2*},
М.Ж. Мусагажинов ²

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ, Қарағанды қ., Қазақстан

²«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Дунаев Павел Александрович, e-mail: dunayev.kz@mail.ru

Түйінді сөздер:

қосымша шығындар,
оптикалық қуат,
талшықты-оптикалық
тарату желілері,
оптикалық талшық,
микроизгиб.

ТҮЙІНДЕМЕ

Осы зерттеуде ақпаратты берудің талшықты-оптикалық желілерінің оптикалық қуатының қосымша ысыраптары қаралады. Авторлар дисперсия, абсорбция, шашырау және өзге де физикалық құбылыстар сияқты оптикалық қуаттың жоғалуына әкелуі мүмкін әртүрлі факторларды талдайды. Осы ысыраптардың ақпарат берудің тиімділігіне әсерін зерделеуге баса назар аударылады. Зерттеу барысында авторлар оптикалық қуаттың қосымша ысыраптарының себептері мен салдарын түсіндіру үшін эксперименттік деректер мен теориялық модельдерге негізделген дәлелдер ұсынады. Олар сондай-ақ талшықты-оптикалық желілер параметрлерін оңтайландыруды және мамандандырылған компоненттерді пайдалануды қоса алғанда, ақпарат берудің тиімділігін жақсарту жөнінде практикалық ұсынымдар ұсынады. Осы зерттеудің негізгі ойы оптикалық қуаттың қосымша ысыраптарын түсіну және есепке алу талшықты-оптикалық желілер бойынша ақпаратты тиімді беруді қамтамасыз ету үшін қажетті болып табылады. Авторлар осындай деректер беру жүйелерінің өнімділігі мен сенімділігін жақсартуға көмектесетін нақты ұсынымдар мен шешімдер ұсынады.

Ключевые слова:

потери, оптическая
мощность, волоконно-
оптические линии
передачи,

АННОТАЦИЯ

В данном исследовании рассматриваются потери оптической мощности оптоволоконных линий передачи информации. Авторы анализируют различные факторы, которые могут приводить к потере оптической мощности, такие как дисперсия, абсорбция,



оптическое волокно,
микроизгиб.

В рассеяние и прочие физические явления. Основной акцент делается на изучении влияния этих потерь на эффективность передачи информации. ходе исследования авторы представляют аргументы, основанные на экспериментальных данных и теоретических моделях, чтобы объяснить причины и последствия потерь оптической мощности. Они также предлагают практические рекомендации по улучшению эффективности передачи информации, включая оптимизацию параметров оптоволоконных линий и использование специализированных компонентов. Основная мысль данного исследования заключается в том, что понимание и учет потерь оптической мощности является необходимым для обеспечения эффективной передачи информации по волоконно-оптическим линиям. Авторы предлагают конкретные рекомендации и решения, которые могут помочь улучшить производительность и надежность таких систем передачи данных.

Keywords:

additional losses,
optical power,
fiber-optic transmission
lines,
optical fiber,
micro bending.

ABSTRACT

This study examines the additional optical power loss of information fiber links. We analyze various factors that can lead to loss of optical power, such as dispersion, absorption, scattering and other physical phenomena. The main emphasis is on studying the impact of these losses on the efficiency of information transmission.

In the study, the authors present arguments based on experimental data and theoretical models to explain the causes and consequences of additional optical power losses. They also offer practical recommendations to improve the efficiency of information transfer, including optimizing the parameters of fiber optic lines and using specialized components.

The main idea of this study is that understanding and accounting for additional losses of optical power is necessary to ensure the efficient transmission of information over fiber optic lines. The authors offer specific recommendations and solutions that can help improve the performance and reliability of such data transfer systems.

КІРІСПЕ

Оптикалық талшықтарды (талшықтарды) ақпарат берудің бағыттаушы жүйесі ретінде пайдалану бірнеше ондаған жылдар бойы кең таралған. Талшықты-оптикалық техника мен технологияның әлемдік даму деңгейі ОТ тек өткізгіш ретінде ғана емес, сонымен қатар сенсор ретінде де пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл ақпаратты беру функцияларын біріктіруде және ақпаратты берудің талшықты-оптикалық желісінің (ТОБЖ) техникалық жай-күйін бақылауда телекоммуникация жүйелерін пайдалану кезінде өте тиімді болуы мүмкін. Қазіргі уақытта квази үлестірілген талшықты-оптикалық датчиктердің көмегімен кабельдерді бақылаудың автоматты жүйелерін әзірлеу жүргізілуде (Al'kina і dr., 2023). Сондай-ақ, осы басылымдарда бір кабель модульдерінің ішіндегі оптикалық талшықтар жаңартылған сенсор және бағыттаушы беріліс жүйесі болуы мүмкін деген болжам бар. Бұл нақты уақыт режимінде техникалық жағдайды автоматтандырылған бақылау міндетін айтарлықтай жеңілдетуге мүмкіндік береді. Бұл жағдайда оптикалық кабельге механикалық әсер ету деңгейін бағалауға немесе оның зақымдануының нақты орнын орнатуға, сондай-ақ рұқсатсыз қосылу әрекетін түзетуге болады. Авторлар ТОБЖ-ның техникалық жай-күйін бақылау үшін ОТ пайдаланумен байланысты негізгі мәселелерді қарастырды, сондай-ақ талшықты-оптикалық датчиктерді (суларды) пайдалану бойынша кейбір техникалық шешімдерді ұсынды. Дереккөзде (Indra, 2012) өнеркәсіптің әртүрлі салаларында суды дамыту және одан әрі пайдалану

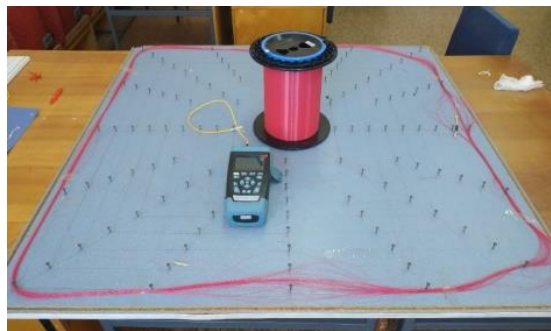
туралы мәліметтер келтірілген. Оптикалық сигналдарды әр түрлі толқын ұзындығымен бір уақытта жіберуге болады, бұл оны байланыстырушы жүйені де, сенсорды да бір уақытта пайдалануға мүмкіндік береді (Guofeng, 2008). Су электр датчиктерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие. Олар ұзақ уақыт бойы шекті жағдайларда жақсы жұмыс істейді (Вуймиструук, 2013). Тау жыныстарындағы әртүрлі өзгерістерді бекіту үшін талшықты-оптикалық кабельдерді қолдануды сипаттайтын деректер бар (Ким және басқалар., 2015; Liu et al., 2013). Физикалық сипаттамаларды өлшеу үшін қолданылатын оптикалық талшықтың әртүрлі маркалары бар (Ding et al., 2018). Жоғарыда келтірілген мақалада телекоммуникация желілерінде қолданылатын оптикалық талшықтың тек бір түрі – G. 652 стандартты оптикалық талшық көрсетілген. G. 652 стандарты механикалық әсерді өлшейтін су конструкцияларында ең көп қолданылады (SHishkin, Granev & SHelemba, 2016). Мақалаларда (Yurchenko et al., 2019; Mekhtiyev et al., 2021) осы стандарттың талшықтары мен оның негізінде жасалған датчиктерді зерттеу туралы ақпарат бар. Сулар амплитудалы және жеткілікті сызықтық сипаттамаларға ие, бұл оларды перспективалы етеді. Сулар амплитудалы және жеткілікті сызықтық сипаттамаларға ие, бұл оларды перспективалы етеді. Дәл осы жұмыстарда талшықтың бүйір бетіне механикалық манипуляция кезінде оптикалық қуат деңгейінің төмендеуін зерттеу туралы мәліметтер бар (Ribejro i dr., 2011). Тәжірибелерде қолданылатын G. 652 стандартты талшық кварц шыныдан жасалған, сондай-ақ осындай датчиктер үшін қолданылатын талшық түрлерін шығарады пластиктен жасалған (Koike & Asai, 2009). Авторлардың пікірінше, Пластмассадан жасалған талшықтың артында үлкен болашақ бар. Ақпаратты беру процесінде пайдаланылмайтын, бірақ жұмыс талшықтарымен бір модульде болатын талшықтарды су ретінде пайдалануға болады. Бұл жағдайда су қосудың немесе ТОВЖ кабелінің дизайнын өзгертудің қажеті жоқ. (Tsao & Cheng, 2002) оптикалық талшықтың микро иілуін ескере отырып, оптикалық қуаттың жоғалуын зерттейтін зерттеу нәтижелерін ұсынады. Осы жарияланымды зерттей отырып, талшық иілген кезде шығындар пайда болады деген қорытынды жасауға болады, олар оптикалық кабельдің техникалық параметрлерінің өзгеруін бағалай алады. Берілетін деректерге рұқсатсыз қол жеткізудің немесе үзілістің болуына жол беріледі. Микро иілу және пайда болатын фотоэластикалық әсер мақалаларда толығымен қарастырылады (Amorebieta et al., 2021; Zheng, Xiao & Zhu, 2020; Zheng et al., 2021). Бұл материалдан ОТ-ға механикалық әсер етудің әртүрлі жағдайларында ОТ микрофлексінің әсер ету принципі және оптикалық қуат деңгейінің төмендеуі туралы ақпарат алуға болады. Пайда болған шығындарды бекітуге негізделген сулар талшыққа механикалық кернеу деңгейін тікелей басқарады (Ghaffar et al., 2020).

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, оптикалық кабельдердің техникалық жай-күйін бақылауға арналған суларды әзірлеу кезінде нәтижелерді кейіннен пайдалану үшін ТОВЖ өткізгіштерін бұту кезінде оптикалық қуат деңгейін төмендету бойынша зерттеулер жүргізу мақсаты айқындалды. Бастапқы міндет-зертханалық жағдайда G. 652 стандартының шығындары бойынша эмпирикалық зерттеулер жүргізу, шығындардың өсуінің иілу саны мен параметрлеріне тәуелділігін алу. Зерттеу нәтижелері бұдан әрі ТОВЖ техникалық жай-күйін бақылауға, сондай-ақ ақпаратты алу үшін рұқсатсыз қосылудың жасырын нүктелерін анықтауға арналған суларды жасау үшін пайдаланылатын болады. Оптикалық қуаттың жоғалуын бақылау бойынша зерттеулердің өзектілігі G. 652 стандартының иілу бұрышының әртүрлі параметрлерінде оптикалық қуаттың жоғалуын сандық бағалауға мүмкіндік беретін жаңа нәтижелерді алу болып табылады. G. 652 стандартының шығындарын зерттеу өзекті болып табылады, өйткені бұл ОВ аймақшілік ТОВЖ үшін ең массивті болып табылады. Алдағы уақытта зерттеу нәтижелері шығын деңгейін өзгерту бойынша ТОВЖ техникалық жай-күйін бақылаудың

автоматты аппараттық-бағдарламалық кешенін құруға мүмкіндік береді. ТОВЖ-ның әртүрлі нүктелеріндегі шығындар деңгейінің өзгеруі қалалар мен кәсіпорындардың телекоммуникация жүйелеріне (аймақшілік ТОВЖ) рұқсатсыз кіру нүктелерін бақылауға мүмкіндік береді, бұл ақпарат беру қауіпсіздігі жүйелерін дамыту үшін өте өзекті болып табылады. Бұдан әрі қарастырылған шығындарды бақылау әдісі оптикалық қуаттың жоғалуының сандық параметрін ғана емес, сонымен қатар ТОВЖ үзілуінің немесе ақпаратқа рұқсатсыз қол жеткізудің нақты орнын анықтауға мүмкіндік береді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеудің мақсаты мен міндеттерін жүзеге асыру үшін зертханалық стенд арнайы әзірленді, ол ОТ микрофлексындағы шығындарға эмпирикалық зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Стенд-Болат бұрандалар бұралған БТ негізі, стендтің сыртқы түрі 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. Зертханалық стенд

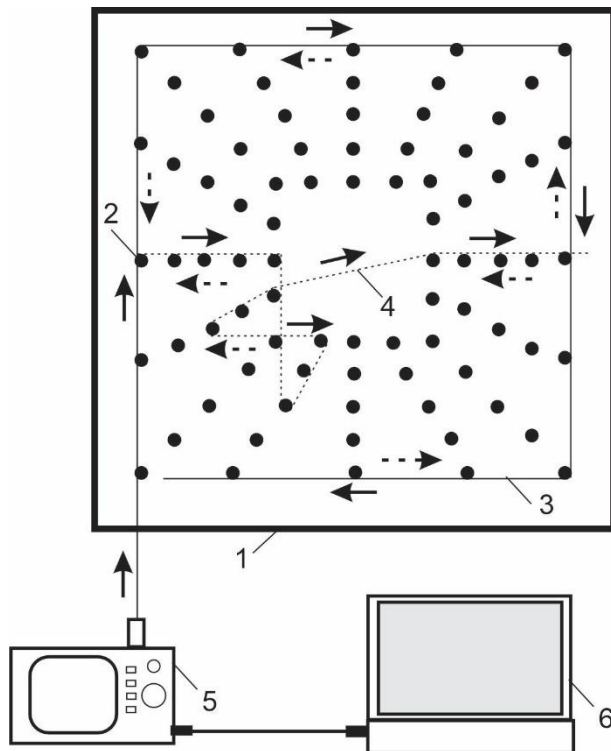
Ескерту – авторлар әзірлеген

Кері дисперсияны бақылайтын белгілі оптикалық рефлектометрия әдісі қолданылды. Бұл әдіс мақалада қарастырылған (Yurchenko et al., 2016), онда авторлар әр түрлі бұрыштарда, сондай - ақ әр түрлі толқын ұзындығында 1310-1625 НМ микро иілу кезінде оптикалық қуаттың жоғалуын зерттеудің барлық кезеңдерін егжей-тегжейлі ашты. Авторлар ОТ үшін сыни иілу радиусы бар, ол бұзылады деп мәлімдейді. Сондай-ақ, ол сыну ықтималдығын арттыратын жарықтар тудыруы мүмкін. Иілу диаметрі 20 диаметрден аз болуы мүмкін (Yurchenko et al., 2016). Сондай-ақ, ОТ бұзу процесіне температура әсер етеді, әсіресе теріс, онда ОТ нәзік болады. Зерттеу жүргізу кезінде қоршаған ортаның температурасы 23-24 °С аралығында болды. Стендті жобалау кезінде сыни диаметр ескерілді, өйткені оның жетістігі ОТ тұтастығына теріс әсер етуі мүмкін және онда жарықтар пайда болуы мүмкін. Бір режимді ОТ диаметрі 125 мкм болғандықтан, сыни радиусы өте аз – 0,0025 ММ. зертханалық стендті орындау кезінде 45 – 1800 бұрышы бар талшықтың иілуін қамтамасыз ететін бағыттағыштар (диаметрі 2,5 мм) алынды. Эксперименттің тақырыбы бір режимді талшық болды (G. 652 стандарты). Қабық пен өзектің диаметрі сәйкесінше 125 және 9 мкм, катушкадағы талшықтың жалпы ұзындығы 460 м.

2-суретте зертханалық стендтің шартты схемасы көрсетілген, онда эксперименттер жүргізу принципі түсіндіріледі.

1 негізіне бұрандалы болаттан жасалған бұрандалар 2, олардың жіптері жоқ цилиндрлік бөлігі бар, бұл оларды орау кезінде тірелетін бағыттаушы ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Стендтің дизайны кез-келген траектория бойынша талшықты төсеуді және оның иілу бұрыштарын 45-тен 1800-ге дейін құруды қамтамасыз етеді, қажет болған жағдайда кіші немесе үлкен бұрыштарды жасауға болады.

Бағыттағыштар 2,5 мм иілу радиусын қамтамасыз етеді, бұл диаметрі 125/9 мкм G. 652 стандарты үшін өте қолайлы. OT 3-позиция, бұрыштардың әртүрлі комбинацияларында оралған, мысалы, тек 900 тік бұрыштар жасалған кезде, бұл траектория қатты сызықпен көрсетілген.

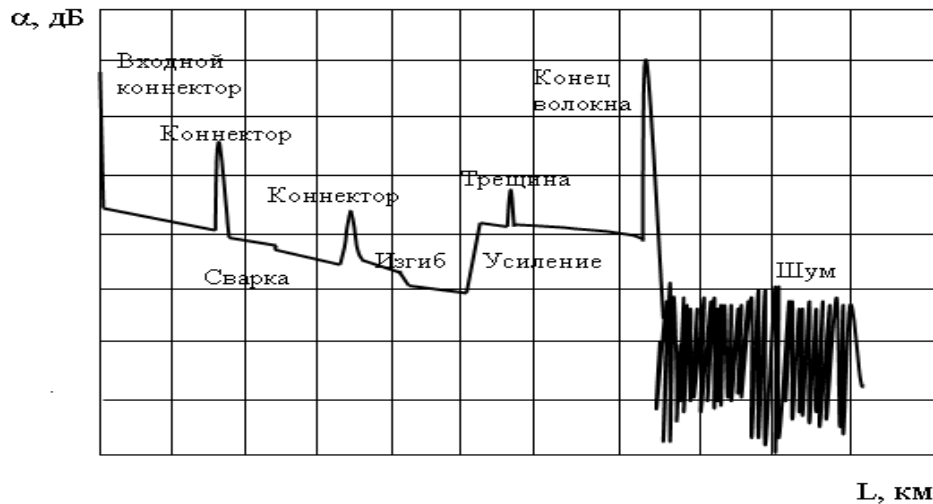


2-сурет. Стендтің шартты схемасы

Ескерту – суретті авторлар жасаған

Нүктелі сызық 45-тен 1800-ге дейінгі бұрыштардың басқа комбинацияларын жасауға болатын траекторияны көрсетеді. Сондай-ақ, бұрыштардың саны бірліктен жүзге дейін өзгеруі мүмкін. 5 өлшеу құралы ретінде microOTDR оптикалық рефлектометр (China өндірісі) қолданылды, жұмыс диапазоны 1310nm/1550nm/1625nm \pm 10nm, өлшеу дәлдігі \pm 0,05 dB/dB, құрылғының шығыс коннекторынан өлі аймақтың ұзындығы 8 м. Шартты түрде айтқанда, егер сіз ұзындығы 8 метр болатын сегментті қоссаңыз, онда құрылғы оптикалық шығындарды өлшей алмайды. Рефлектометр өлшенетін шаманың мәнін dB 1 км-ге береді, бұл оптикалық сигнал әртүрлі қашықтықтағы OT қандай күшпен сөнетінін білдіреді. Тиісінше, әртүрлі гетерогенділік, иілу, қосылыстар және ақаулар осы құрылғының көмегімен түзетуге болатын шығындарды арттырады. Әрбір иілу алынған рефлектограммада көрінеді, сонымен қатар оның ТОВЖ трассасында нақты орналасуын орнатуға болады. Оптикалық рефлектометрдің көмегімен дәнекерленген және ажыратылатын қосылыстардың сапасын бағалауға, сондай-ақ OT үзілу орнын орнатуға болады. Оптикалық рефлектометрдің жұмыс принципі белгілі және қысқа оптикалық импульс берілгеннен кейін оның фото қабылдағышына келген алынған шағылысқан оптикалық импульстарды микропроцессорлық талдауға негізделген. рефлектомерге қарай жіберілген импульстің кішкене бөлігі ғана көрінеді, бұл импульс энергиясының шамамен 10^{-6} бөлігі. Оптикалық рефлектометр оптикалық толқын сыну көрсеткішіне әсер ететін OT гетерогенділігінен шағылысқан кезде кері Рэлей шашырау деңгейін өлшейді. Үздіксіз көрсеткі оптикалық шашырау (шағылысу) қозғалысының тікелей импульсі мен

нүктелі бағытын көрсетеді. Эксперимент барысында бұрыштар саны 1-ден 10-ға дейін өсті. 45 және 90° бұрыштары таңдалды. Оптикалық толқынның қалыптасқан бұрышы мен ұзындығын ескере отырып, иілу саны артқан кезде шығындардың өсу деректері бағаланды. Рефлектометр USB сымның көмегімен 6 дербес компьютерге қосылған, бұл деректерді сақтау және эксперименттің барысын басқару үшін қажет.



3-сурет. Рефлектограмманың мысалы

Ескерту – суретті авторлар жасаған

Рефлектометр белгілі бір уақыт аралығында бірнеше импульс жібереді, содан кейін алынған өлшеу деректерін орташалайды және рефлектограмма жасайды. 3-суретте пайда болған жарылыстарды түсіндіре отырып, ТОВЖ рефлектограммасының мысалы көрсетілген, ал иілу белгілі бір шартты қадаммен белгіленген.

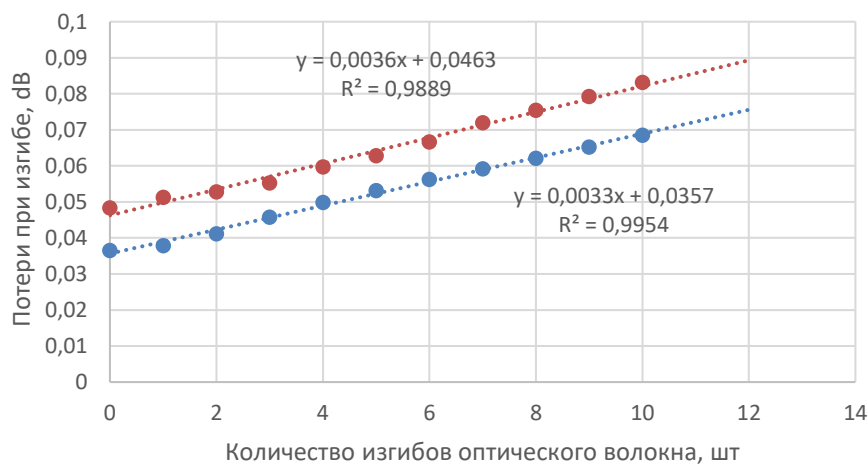
Толқын ұзындығы 1200-ден 1550 нм-ге дейін ұлғайған кезде ОТ шығындар азаяды, «мөлдірлік терезесі» деп аталатын әсер байқалады, ТОВЖ үшін оптикалық толқынның жұмыс ұзындығы 1310 және 1550 нм, бұл ең тиімді толқын ұзындығы (Yurchenko et al., 2016). Іс жүзінде ОТ техникалық күйін тексеру үшін 1625 нм толқын ұзындығы қолданылады, сондықтан берілген толқын ұзындығы нәтижелерді талдау үшін пайдаланылмайды. Зерттеулер қашықтыққа байланысты Оптикалық сигналдың әлсіреу графигінде көрсетілгендей, екінші және үшінші мөлдірлік терезесінде орналасқан 1310 нм және 1550 нм толқын ұзындығымен жүргізілді. G. 652 стандартының қазіргі заманғы ОТ үшін 0,22 dB/км шегінде оптикалық сигналдың ең аз сөнуіне толқын ұзындығы 1550 нм-ге тең жетеді (Rodina, 2016).

Эксперимент келесідей жүргізілді, ОТ рельстерге бірдей немесе әртүрлі бұрыштарда орналастырылды, иілу саны әр жаңа тәжірибемен 1-ден 10-ға дейін өсті. Шығындарды өлшеу оптикалық рефлектометрдің көмегімен әр бұрышқа 10 рет жүргізілді, содан кейін мәліметтер регрессивті талдау жүргізіп, жуықтау теңдеуін шығара отырып, Microsoft Excel компьютерлік бағдарламасының көмегімен орташаланды және өңделді. Деректер талшықты-оптикалық иілудің әртүрлі бұрыштарында және қолданылатын толқын ұзындықтарында оптикалық қуат шығынының жақындатылған графикалық тәуелділігін өңдеу және алу үшін бағдарламаға енгізіледі.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері 45 және 90° бұрыштары бар иілу санына байланысты болатын шығындардың өсуіне тәуелділік графиктерінде (4 және 5-сурет) берілген. Эксперименттік зерттеулер талшықтағы оптикалық қуат деңгейі иілу санының артуымен төмендейтінін

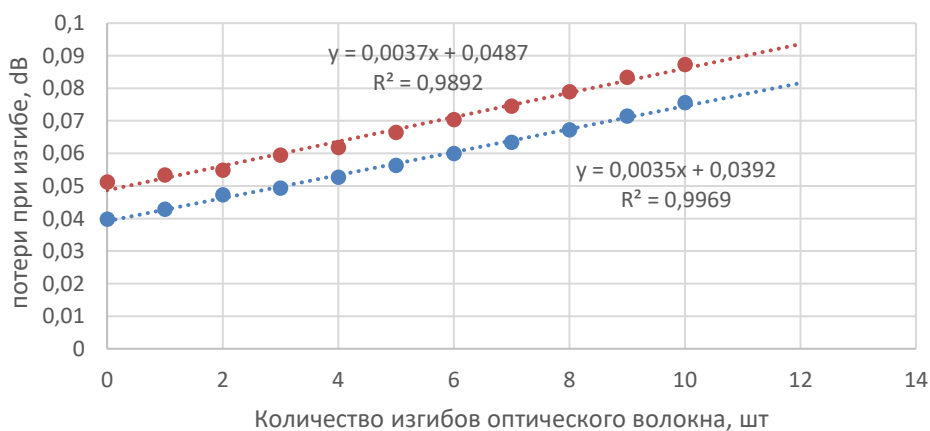
көрсетті. Бұл факт осыған дейін ұқсас эксперименттер жүргізген басқа ғалымдар алған зерттеулердің басқа нәтижелерімен сәйкес келеді. 1550 нм толқын ұзындығынан айырмашылығы 1310 нм толқын ұзындығында иілу шығындарының саны аз екендігі анықталды (4 және 5-сурет). ОТ мөлдірлігінің терезелеріне тән қарама – қарсы әсер пайда болады-толқын ұзындығының ұлғаюымен ОВ-дағы шығындар азаяды (Yurchenko et al., 2016; Rodina, 2016). Бұл әсер иілу болмаған кезде байқалады. Иілу пайда болған кезде ОТ сыну параметрлерінің өзгеруіне байланысты фотоэластикалық әсер пайда болады. Сәулеленудің үлесі сөзсіз талшықтың өзегінен шығады, мұны ОТ бүйірлік бетінің механикалық кернеуінде бекітілген оптикалық қуат деңгейінің төмендеуі деп сипаттауға болады. Егер ОТ иілуге ұшырамаса, онда шығындар толқын ұзындығының өсуімен азаяды, бұл ТОВЖ өткізгіштерін нақты төсеу кезінде мүмкін емес. Иілу болмаған жағдайда, материалдың өзі қалыптастырған шығындарды ғана қарастыру керек, бірақ мұны тек ТОВЖ трассасының идеалды төсеміне жатқызуға болады.



4-сурет. 45° бұрыштағы иілу санына байланысты шығындар графигі

Ескерту – алынған эксперименттік деректер негізінде авторлар әзірлеген

4-суретте иілу саны артқан кезде күтілетін шығындар көрсетілген, бұл аймақ алынған жуықтау теңдеулерін қолдана отырып салынған.

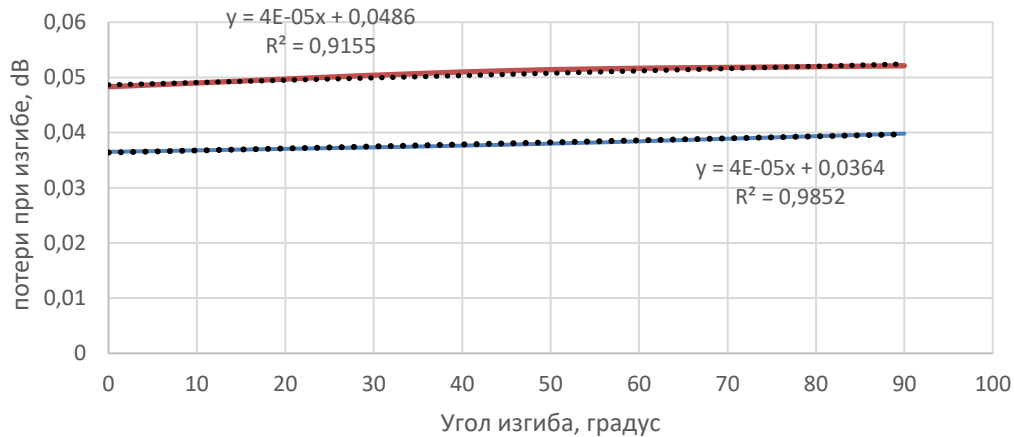


5-сурет. 90° бұрыштағы иілу санына байланысты шығындар графигі

Ескерту – алынған эксперименттік деректер негізінде авторлар әзірлеген

Графиктер жуықтаудың сызықтық заңына бағынады, ал барлық ауытқулар өлшеу қателігі мен деректерді өңдеудің себебі болып табылады. Осыған ұқсас ойды бұрын осындай зерттеулер жүргізген және ОТ басқа түрлерін қолданған басқа ғалымдар айтқан (жоғарыдан қараңыз).

1310 нм-ге қарағанда 1550 нм толқын ұзындығында оптикалық талшықтың иілуіндегі шығындардың артуы G. 652 стандартындағы бір режимді оптикалық талшықтардың шектеулі өткізу диапазонына байланысты. Сондай-ақ, шығындардың артуына иілу саны мен олардың бұрыштары әсер етеді. Бұл тәуелділік 6-суретте көрсетілген.



6-сурет. Иілу бұрышының шамасына байланысты иілу кезінде оптикалық шығындардың өсуі

Ескерту – алынған эксперименттік деректер негізінде авторлар әзірлеген

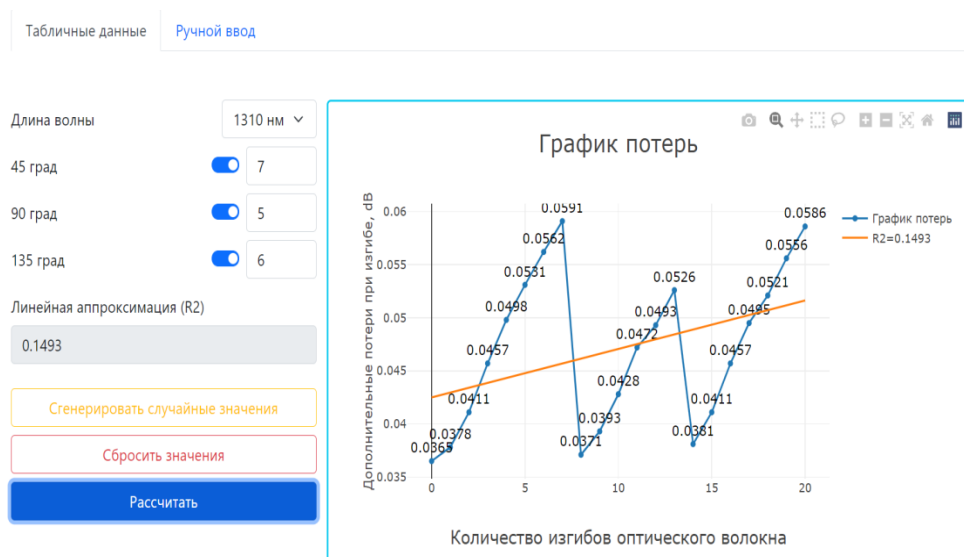
Әрбір иілу кезіндегі шығындардың орташа өсу мәні: 0,016 dB шегінде 1310 нм толқын ұзындығы үшін және 1550 нм толқын ұзындығы үшін – 0,017 dB.

Келесі қадам – көрінетін диапазонның (650 нм) толқын ұзындығындағы жоғалту деңгейін, сондай-ақ 850 нм және 1625 нм көрінбейтін инфрақызыл диапазонды зерттеу. Сонымен қатар, 90° астам бұрыштар жасау жоспарлануда, бұл ғылым мен техниканың әртүрлі салалары үшін амплитудалық суларды құруға мүмкіндік беретін иілу кезінде шығындардың өсуінің толық көрінісін алу үшін қажет. Мүмкін, механикалық жүктемені немесе орын ауыстыруды өлшеуге жарамды сияқты сипаттамалардың сызықтық көрсеткіштері жеткілікті жоғары суларды құру.

Тәжірибелер әртүрлі ОТ иілу параметрлері мен оптикалық толқын ұзындығында жоғалту параметрлерінің жаңа мәндерін алуға мүмкіндік берді. Алынған сандық мәндер негізінде шығындарды есептеу бағдарламасы құрылды. Бағдарлама көпшілікке қол жетімді <https://5kif4a.github.io/losses-calculation/>. бағдарламада екі енгізу күйі бар: есептеуге арналған деректер практикалық тәжірибелердің нәтижелері негізінде ұсынылған және автоматты түрде немесе өңделетін басқа деректерді қолмен енгізу арқылы жуықталған кестелік деректер.

Бағдарлама терезесінде таңдау түймелері көрсетіледі. Толқын ұзындығының мәнін таңдау үшін: 1310, 1550 нм, «Толқын ұзындығы» батырмасы қолданылады. Иілу бұрыштарының көрсеткіштеріне арналған түйме: 0-7. Иілу бұрыштарының мәндерінің түймелері: 45, 90, 135 градус. Сызықтық жуықтау түймесі (R2): функцияны жуықтау үшін сызықтық регрессия моделі енгізілген мәліметтерге сәйкес құрылады. Кездейсоқ мәндерді жасау түймесі: иілу бұрышының мәндерін және оның көрсеткіштерін кездейсоқ таңдауға көмектеседі. Мәндерді қалпына келтіру түймесі: бұрын енгізілген барлық мәндерді

қалпына келтіруді ойнатады. Есептеу түймесі: шығындарды есептейді және шығындар кестесін жасайды.



7-сурет. Деректерді енгізу кезінде бағдарлама интерфейсінің жалпы көрінісі
Ескерту – авторлар әзірлеген

ҚОРЫТЫНДЫ

Оптикалық кабельдердің техникалық жай-күйін бақылауға арналған суларды әзірлеу кезінде нәтижелерді кейіннен пайдалану үшін ТОБЖ өткізгіштерін ию кезінде оптикалық қуаттың жоғалуын зерттеумен байланысты қойылған мақсатқа қол жеткізілді. Алынған деректерді оптикалық қуаттың шығыны бойынша ТОБЖ техникалық жай-күйін бақылаудың автоматтандырылған жүйесін құру үшін пайдалануға болады. Тиісінше, ТОБЖ кабелінің үзілуі немесе оның шамадан тыс салбырауы немесе оған басқа механикалық әсер етуі кезінде, оның өткізгіштерінің иілуіне әкеліп соқтырады, шығындардың өсуі байқалады, олардың деңгейіне сәйкес ТОБЖ зақымдану сипатын бағалауға болады. Сондай-ақ, ақпаратты алу үшін ТОБЖ-ға рұқсатсыз қосылуды бақылаудың автоматты жүйесін құру үшін бұл зерттеу өте перспективалы болып табылады. Рұқсатсыз қол жеткізудің қолданыстағы әдістері ОТ иілуін жасауға немесе одан сәулеленудің бір бөлігін шығаруға негізделген, оны шығындардың өсуі ретінде тіркеуге болады. Оптикалық рефлектометрия әдісі 0,1-ден 1 м-ге дейінгі рефлектометрдің ажыратымдылығына байланысты нақты байланыс орнын анықтауға мүмкіндік береді. зертханалық жағдайда G. 652 стандартының шығындарына эмпирикалық зерттеулер жүргізуге байланысты міндет шығындардың өсуінің иілу саны мен параметрлеріне тәуелділігін алу үшін толығымен жүзеге асырылады. Зерттеу нәтижелері ТОБЖ техникалық жай-күйін бақылауға, сондай-ақ ақпаратты алу үшін рұқсатсыз қосылудың жасырын нүктелерін анықтауға арналған суларды жасау үшін пайдаланылуы мүмкін. Тәжірибелер әртүрлі ОТ иілу параметрлері мен оптикалық толқын ұзындығында жоғалту параметрлерінің жаңа мәндерін алуға мүмкіндік берді. Алынған мәліметтер негізінде ақпарат берудің талшықты оптикалық желілерінің пайда болатын оптикалық қуатының жоғалу бағдарламасы жасалды (<https://5kif4a.github.io/losses-calculation/>).

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Жоғарыда келтірілген нәтижелер Қазақстан Республикасы Сауда және интеграция министрлігінің бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде «Зияткерлік талшықты-оптикалық датчиктер негізінде шахталар мен карьерлердің тау-кен қазбаларының геотехникалық жай-күйіне мониторинг жүргізу жүйесін әзірлеу» № BR19980899 СТН ғылыми жобасын орындау шеңберінде алынды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Ghaffar, A., Mehdi, M., Hussain, S., & others. (2020). The coupling of scattered-bend loss in POF based the displacement measurement sensor. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 29, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100351>
- Amorebieta, J., Ortega-Gomez, A., Durana, G., & others. (2021). Compact omnidirectional multicore fiber-based vector bending sensor. *Scientific Reports*, 11, 5989. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85507-9>
- Ding, M., Fan, D., Wang, W., Luo, Y., & Peng, G.D. (2018). Basics of Optical Fiber Measurements. In G.D. Peng (Ed.), *Handbook of Optical Fibers*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1477-2_57-2
- Indra, A. (2012). Industrial fiber optics in train transportation systems. *Avago Technologies White Papers*, 4 p. <https://docs.broadcom.com/doc/AV02-2378EN>
- Guofeng, W. (2008). Methods for increasing the Bandwidth-Distance Product for multimode fibers in LAN // *Journal of Optical Communication*, 29(4), 213–216. [In Eng.] DOI:10.1515/JOC.2008.29.4.213
- Kim, S.T., Park, Y-H., Park, S.Y., Cho, K., & Cho, J-R. (2015). A Sensor-Type PC Strand with an Embedded FBG Sensor for Monitoring Prestress Forces // *Sensors*, 15(1), 1060–1070. [In Eng.] DOI:10.3390/s150101060
- Koike, Y., & Asai, M. (2009). The future of plastic optical fiber. *NPG Asia Materials*, 1, 22–28. <https://doi.org/10.1038/asiamat.2009.2>
- Mekhtiyev, A.D., Kovtun, A.A., Yugay, & others. (2021). Research of mechanical stress at tension of quartz optical fiber (QOF). *Metalurgija*, 60(1–2), 121–124. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/246106> [In Eng.]
- Liu, T., Wei, Y., Song, G., & others. (2013). Advances of optical fiber sensors for coal mine safety monitoring applications // *Proceedings of the 2013 International Conference on Microwave and Photonics*, 102–111. DOI:10.1109/ICMAP.2013.6733455
- Yurchenko, A.V., Mekhtiyev, A.D., Bulatbaev, F.N., & others. (2019). Investigation of additional losses in optical fibers under mechanical action // *III International Conference "Cognitive Robotics," IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 516, 012004. DOI:10.1088/1757-899X/516/1/012004
- Zheng, Y., Xiao, W., & Zhu, Z-W. (2020). A simple macro-bending loss optical fiber crack sensor for the use over a large displacement range. *Optical Fiber Technology*, 58, 102280. <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2020.102280>
- Zheng, Y., Yu, J., Zhu, Z-W., Zeng, B., & Yang, C. (2021). Design, sensing principle and testing of a novel fiber optic displacement sensor based on linear macro-bending loss. *Optik*, 242, 167194. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2021.167194>
- Yurchenko, A.V., Gorlov, N.I., Alkina, A.D., Mekhtiev, A.D., & Kovtun, A.A. (2016). Research of the additional losses occurring in optical fiber at its multiple bends in the range waves 1310 nm, 1550 nm and 1625 nm // *IOP Science, Journal of Physics*, 671, 012001. DOI:10.1088/1742-6596/671/1/012001
- Цао С-Л., Ченг В-М. Упрощенная формула потерь на изгиб для оптоволоконных датчиков, волокна и интегрированной оптики // Tsao S-L., & Cheng W-M. Uproshchennaya formula poter' na izgib dlya optovolokonnyh datchikov, volokna i

integrirrovannoj optiki [Simplified bending loss formula for fiber optic sensors, fibers, and integrated optics]. 21(5), 333–344. doi:10.1080/01468030290087723 [In Russ.]

Алькина А.Д., Юрченко А.В., Мехтиев А.Д., Мадиди П.Ш., Ажмагамбетова Р.Ж. Разработка автоматической системы контроля кабелей с помощью квази-распределенных волоконно-оптических датчиков / Alkina A.D., Yurchenko A.V., Mekhtiev A.D., Madi P.Sh., Ajmagambetova R.Zh. Razrabotka avtomaticheskoy sistemy kontrolya kabelej s pomoshchi kvazi-raspredelennyh volokonno-opticheskikh datchikov [Development of an automatic cable monitoring system using quasi-distributed fiber optic sensors]. Vestnik KGEU, 15(1(57)), 125–143. [In Russ.]

Алькина А.Д., Ажмагамбетова Р.Ж., Юрченко А.В., Мехтиев А.Д., Мадиди П.Ш. Автоматическая система контроля целостности волоконно-оптических кабелей / Alkina A.D., Ajmagambetova R.Zh., Yurchenko A.V., Mekhtiev A.D., Madi P.Sh. Avtomaticheskaya sistema kontrolya celostnosti volokonno-opticheskikh kabelej [Automatic fiber optic cable integrity monitoring system]. Mir izmerenij, 2, 50–55. [In Russ.]

Бужмистрюк Г. Волоконно-оптические датчики для экстремальных условий / Buzhmistryuk G. Volokonno-opticheskie datchiki dlya ekstremal'nyh uslovij [Fiber optic sensors for extreme conditions]. Control Engineering Russia, 3(45), 34–40. [In Russ.]

Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. 400 с. / Rodina O.V. Volokonno-opticheskie linii svyazi. Prakticheskoe rukovodstvo [Fiber optic communication lines. Practical guide]. 400 s. [In Russ.]

Рибейро Л.А., и др. Оптоволоконный датчик потерь на изгиб для применения при мониторинге плотин насыпей // Ribejro L.A., & others. Optovolokonnyj datchik poter' na izgib dlya primeneniya pri monitoringe plotin nasypej [Fiber optic bending loss sensor for embankment dam monitoring]. SBMO / IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, 637–641. doi:10.1109/IMOC.2011.6169273 [In Russ.]

Шишкин В.В., Граньёв И.В., Шелемба И.С. Отечественный опыт производства и применения волоконно-оптических датчиков // Shishkin V.V., Granyov I.V., Shelemba I.S. Otechestvennyj opyt proizvodstva i primeneniya volokonno-opticheskikh datchikov [Domestic experience in manufacturing and application of fiber optic sensors]. Prikladnaya fotonika, T3(1), 61–75. http://doi.org/10.15593/2411-4367/2016.01.05 [In Russ.]

Авторлар туралы мәліметтер

Информация об авторах

Information about authors



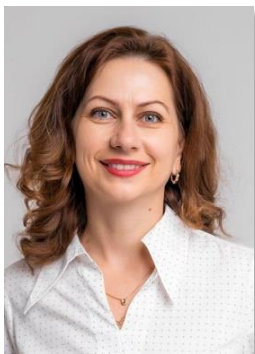
Али Джаванширович Мехтиев – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Басқарма мүшесі – Ғылыми жұмыс жөніндегі проректор, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті KEAҚ, Қарағанды, Қазақстан

Али Джаванширович Мехтиев – кандидат технических наук, профессор, Член правления – проректор по научной работе, НАО «Қарагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова», Қараганда, Қазақстан

Ali Mekhtiyev – Cand.Sci. (Eng.), Member of the Board – Vice-Rector for Research, NJSC Karaganda Technical University named after A.Saginov, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: barton.kz@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>



Елена Геннадьевна Нешина – PhD, кафедра менеджменті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ, Қарағанды, Қазақстан

Елена Геннадьевна Нешина – PhD, заведующий кафедрой, НАО «Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова», Караганда, Казахстан

Elena Neshina, Cand.Sci. (Eng.), PhD, Head of Department, NJSC Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: 1_neg@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>



Алия Даулетхановна Алькина – PhD, аға оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ, Қарағанды, Қазақстан

Алия Даулетхановна Алькина – PhD, старший преподаватель, НАО «Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова», Караганда, Казахстан

Aliya Al'kina – PhD, senior lecturer, NJSC Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: alika_1308@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4879-0593>



Павел Александрович Дунаев – PhD, қауымдастырылған профессор, білім беру бағдарламалары тобының жетекшісі, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана, Қазақстан

Павел Александрович Дунаев –, ассоциированный профессор, руководитель группы образовательных программ, НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан

Pavel Dunayev, Cand.Sci. (Eng.), PhD, Associate Professor, Head of the Educational Program Group, NJSC "Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin", Astana, Kazakhstan

e-mail: dunayev.kz@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0379-315X>



Мусагажинов Мадияр Жалелович – докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті КЕАҚ, Астана, Қазақстан

Мусагажинов Мадияр Жалелович – докторант, НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан

Madiyar Musagazhinov – PhD Student, NJSC Kazakh Research Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan

e-mail: musagazhinov@bk.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4521-8172>