

**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

Мергенбай Мейрамбек Нұрғалиұлы

**«Оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін
басқару»**

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 талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс
жүйелерін басқару»

6B06201 – Телекоммуникациялар

Орындаған:

М.Н.Мергенбай

Рецензент:

ф.-м.ғ.к., Ғ.Дәукеев ат. АЭЖБУ
профессор-оқытушысы

М.А.Хизирова

«30» мамыр 2025 ж.

Ғылыми жетекші

экон.ғыл.кандидаты,

ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған
профессоры

А.Е.Куттыбаева

« 21 » 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

БЕКІТЕМІН
ЭТ ж ҒТ кафедра меңгерушісі
техн. ғыл. канд.
Е. Таштай
«1» * » 2025 ж.



**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Мергенбай Мейрамбек Нұрғалиұлы

Тақырыбы: «Оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару».

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

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» мамыр 2025 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: 1. Оптикалық талшықты бірмодты кабельдер; Жұмыс жиілігі: 1–10 ГГц диапазонында жұмыс істейтін байланыс желісі; 2. Лазерлік көздер; Деректерді беру жылдамдығы: 1 Гбит/с жоғары. Сенсордың дәлдігі: $\pm 0.1\%$. Қашықтық: 1–50 км. Энергия тұтынуы: 5 Вт-тан төмен; 3. Ақпаратты жинауға арналған сенсорлық модульдер.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Оптикалық талшықтық сенсорлар технологиясының теориялық негіздерін зерттеу; б) Байланыс жүйелерін басқаруда қолданылатын оптикалық сенсорлардың ерекшеліктерін талдау; в) Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және тәжірибелік модель құру; г) Python да деректерді өңдеу және визуализациялау.

Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. "Fiber Optic Sensors: Principles and Applications" B.D. Gupta.
2. Саймбетов А.К., Тoleгенова А.А., Құттыбай Н.Б. Талшықты оптикалық байланыс желісі: оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2020. – 194 б.

Дипломдық жұмысты дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Оптикалық талшықтық сенсорлар технологиясының теориялық негіздерін зерттеу;	1.02.2025 ж. - 21.02.2025	<i>Орындалады</i>
Байланыс жүйелерін басқаруда колданылатын оптикалық сенсорлардың ерекшеліктерін талдау;	21.02.2025 - 01.03.2025	<i>Орындалады</i>
Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және тәжірибелік модель құру	01.03.2025 - 14.05.2025	<i>Орындалады</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	Э.ғ.к., ЭТжҒТ каф.қауымдастырылған профессоры Куттыбаева А.Е.	<i>1.02.25</i>	<i>А.Е.Куттыбаева</i>
Теориялық ақпарат	Э.ғ.к., ЭТжҒТ каф.қауымдастырылған профессоры Куттыбаева А.Е.	<i>2.03.25</i>	<i>А.Е.Куттыбаева</i>
Норма бақылау	ЭТжҒТ каф.аға оқытушысы Досбаев Ж.	<i>23.05.25</i>	<i>Досбаев Ж.</i>

Ғылыми жетекшісі

А.Е.Куттыбаева

А.Е.Куттыбаева

Тапсырманы орындауға алған білім алушы *Мергенбай М.* М.Мергенбай

Күні « *1* » *02* 202_ ж.

АНДАТПА

Бұл жұмыста оптикалық талшықты сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқарудың теориялық негіздері зерттеліп, олардың функционалдық мүмкіндіктері талданды және тәжірибелік модель құрылды. Сонымен қатар, Python бағдарламасында алынған деректерді өңдеу және визуализациялау арқылы сенсорлардың тиімділігін бағаланды.

Оптикалық талшықты сенсорлардың технологиясының теориялық негіздерін зерттеу, олардың жұмыс принциптері мен қолдану ерекшеліктері талданды.

Сенсорлардың тиімділігін арттыру жолдары қарастырылды, байланыс жүйелерінде оларды қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктерін бағаланды.

АННОТАЦИЯ

В данной работе изучены теоретические основы управления системами связи с использованием оптоволоконных датчиков, проанализированы их функциональные возможности и построена экспериментальная модель. Кроме того, эффективность датчиков оценивалась путем обработки и визуализации данных, полученных в программе Python. Проанализированы теоретические основы технологии оптоволоконных датчиков, принципы их работы и особенности применения. Рассмотрены пути повышения эффективности датчиков, оценены преимущества и недостатки их применения в системах связи.

ANNOTATION

In this work, the theoretical foundations of controlling communication systems using optical fiber sensors were studied, their functional capabilities were analyzed and an experimental model was created. In addition, the efficiency of sensors was evaluated by processing and visualizing the data obtained in the Python program.

The study of the theoretical foundations of the technology of optical fiber sensors, the principles of their operation and application features were analyzed.

Ways to improve the efficiency of sensors were considered, the advantages and disadvantages of their use in communication systems were evaluated.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Оптикалық талшықтық сенсорлар және олардың байланыс жүйелеріндегі қолданылуы	9
1.1 Оптикалық талшықтық сенсорлар	9
1.2 Байланыс жүйелерінің негіздері	12
1.3 Оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы байланыс жүйелерін басқару	12
1.4 OTDR көмегімен ақаудың орнын анықтау	17
2 Оптикалық талшықты байланыс жүйелерінің негіздері	19
2.1 Оптикалық талшықты жүйелер	19
2.2 Оптикалық сенсорлар - жұмыс принциптері мен түрлері	20
2.3 Байланыс жүйелерін басқаруда оптикалық сенсорлардың қолданылуы	21
2.4 Байланыс жүйелеріндегі оптикалық сенсорлардың қолданылуы	22
2.5 Оптикалық сенсорлардың түрлері	24
2.6 Байланыс жүйелеріндегі оптикалық сенсорлар	24
3 Математикалық есептер	30
3.1 Сигналдың күші мен өтуі	30
3.2 Сенсордан алынған мәліметтерді өңдеу	30
3.3 Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және тәжірибелік модель құру	31
3.4 Тәжірибелік модель құру	32
3.5 Оптикалық интерферометрия	35
Қорытынды	43
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	44

КІРІСПЕ

Байланыс жүйелерін басқару қазіргі заманғы технологиялардың бірі болып табылады. Қазіргі таңда оптикалық талшықтық жүйелер кеңінен қолданыс тапқан және жоғары жылдамдықты деректер беру мен байланыс сапасын қамтамасыз етеді. Осы байланыс жүйелерін басқару үшін жаңа әдістер мен сенсорлар қажет. Оптикалық талшықтық сенсорлар осы қажеттіліктерді қанағаттандырады. Бұл дипломдық жұмыста оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару мәселесі қарастырылады.

Қазіргі заманғы байланыс жүйелері ақпаратты жылдам әрі тиімді түрде жеткізу үшін жаңа технологиялар мен әдістерді қолдануды талап етеді. Технологиялардың үздіксіз дамуы және деректердің көлемінің ұлғаюы жоғары өткізу қабілеті мен тиімді басқаруды қамтамасыз ететін заманауи жүйелердің қажеттілігін арттырды. Бұл мақсатқа жету үшін жаңа әдістер мен құрылғылар қажет, және бұл жерде оптикалық талшықты сенсорлар ерекше рөл атқарады.

Оптикалық талшықтар ақпаратты жарық арқылы тасымалдау мүмкіндігімен ерекшеленеді, бұл өз кезегінде байланыс жүйелерінің тиімділігін арттырып, олардың жылдамдығы мен сенімділігін қамтамасыз етеді. Соңғы жылдары оптикалық талшықты сенсорлар көп деңгейлі байланыс жүйелерінде деректерді жинау және жүйелерді бақылау үшін кеңінен қолданыла бастады. Бұл сенсорлар жарықтың белгілі бір физикалық параметрлермен әсерлесуі арқылы әртүрлі параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді.

Байланыс жүйелерінде оптикалық сенсорларды қолдану олардың жұмысын бақылауды автоматтандыруға, энергия тұтынуды азайтуға және деректердің жоғалуы мен бұрмалануын болдырмауға мүмкіндік береді. Осы себептен, оптикалық талшықтық сенсорлар соңғы уақытта маңызды құрамдас бөлікке айналды, әрі олардың қолданылу ауқымы үнемі кеңеюде.

Дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты – оптикалық талшықты сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқарудың теориялық негіздерін зерттеу, олардың функционалдық мүмкіндіктерін талдау және тәжірибелік модель құру болып табылады. Сонымен қатар, Python бағдарламасында алынған деректерді өңдеу және визуализациялау арқылы сенсорлардың тиімділігін бағалау жұмыстың негізгі міндеттеріне кіреді.

Жұмыстың құрылымы келесідей:

Теориялық бөлім: Оптикалық талшықты сенсорлардың технологиясының теориялық негіздерін зерттеу, олардың жұмыс принциптері мен қолдану ерекшеліктерін талдау.

Байланыс жүйелерін басқаруда қолданылатын оптикалық сенсорлардың ерекшеліктерін талдау: Сенсорлардың тиімділігін арттыру жолдарын қарастыру, байланыс жүйелерінде оларды қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктерін бағалау.

Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және тәжірибелік модель құру: Қолданыстағы оптикалық сенсорлар негізінде модельдер жасау және олардың нәтижелерін тәжірибелік түрде көрсету.

Python бағдарламасында деректерді өңдеу және визуализациялау: Алынған нәтижелерді өңдеу және визуализациялау арқылы жүйенің тиімділігін анықтау.

Бұл жұмыс оптикалық талшықты сенсорлардың байланыс жүйелерін басқарудағы маңызды рөлін көрсетуге және олардың функционалдық мүмкіндіктерін дамытуға арналған.

1 Оптикалық талшықтық сенсорлар және олардың байланыс жүйелеріндегі қолданылуы

1.1 Оптикалық талшықтық сенсорлар

Оптикалық талшықтық сенсорлар – бұл жарық сәулесін пайдаланып, физикалық параметрлерді (температура, қысым, ылғалдылық және т.б.) өлшейтін құрылғылар. Сенсорлар талшықтар арқылы сигналдарды тасымалдауға және өңдеуге мүмкіндік береді. Оптикалық талшықтың құрылымы және оның ішінде жарықтың таралуы сенсорлардың дәлдігін және сенімділігін анықтайды [1].

Оптикалық талшықтық сенсорлар – физикалық, химиялық немесе биологиялық параметрлерді жарық сигналы арқылы тіркейтін және оны талшық ішінде тарататын сезімтал құрылғылар. Бұл сенсорлар дәстүрлі электронды сенсорларға қарағанда жоғары сезімталдық, электромагниттік кедергілерге төзімділік және шағын өлшем сияқты артықшылықтарға ие.

Оптикалық талшық – диаметрі бірнеше микрометр болатын және ішкі сыну көрсеткіші жоғары өзек пен төмен сыну көрсеткішті қабықтан тұратын мөлдір диэлектрлік толқынөткізгіш. Сенсордың жұмыс істеу принципі жарықтың ішкі толық шағылу құбылысына негізделген. Қоршаған ортаның әсерінен жарық сигналының параметрлері – қарқындылығы, фазасы, толқын ұзындығы немесе поляризациясы өзгереді. Осы өзгерістер талдау арқылы сезілетін әсерлерді анықтауға мүмкіндік береді.

Оптикалық сенсорлар екі негізгі топқа бөлінеді:

- Интрузивті (интегралды): сенсор элементі тікелей талшықтың ішінде орналасады;
- Экструзивті (сыртқы): талшық тек жарық жеткізу мен қабылдауға қолданылады, ал сезімтал элемент бөлек орналасады.

Кеңінен қолданылатын түрлеріне:

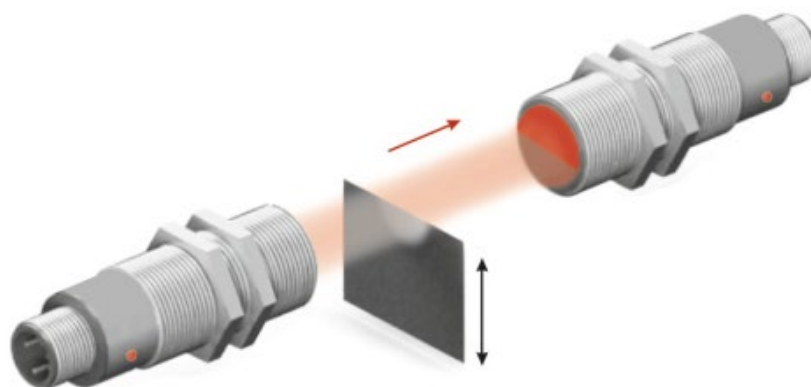
- FBG (Fiber Bragg Grating) сенсорлары – температура мен деформацияны өлшеуге арналған;
- Интерферометриялық сенсорлар — жоғары дәлдік қажет ететін қолданбаларда пайдаланылады (мысалы, гироскоптарда);
- Интенсивтілікке негізделген сенсорлар – салыстырмалы түрде қарапайым және арзанырақ.

Мұндай сенсорлардың артықшылықтарына мыналар жатады:

- Жоғары дәлдік пен кең өлшеу диапазоны;
- Электромагниттік алаңдарға төзімділік;

Коррозияға қарсы тұру қабілеті және қашықтықтан бақылау мүмкіндігі.

Қазіргі таңда оптикалық сенсорлар өнеркәсіпте, медицинада, құрылыс мониторингінде, мұнай-газ және энергетика саласында кеңінен қолданылуда. Сонымен қатар, олар интеллектуалды құрылымдық денсаулықты бақылау жүйелерінің негізгі элементтерінің бірі болып табылады [2].



1.1-сурет – Оптикалық сенсор

Laser Source (Лазер көзі): монохроматты жарық көзі. Optical Fiber (Оптикалық талшық): жарықты жеткізеді және сезімтал аймаққа бағыттайды. Sensing Region (Сезімтал аймақ): сыртқы әсерге сезімтал бөлігі (мысалы, FBG торы). Photodetector (Фотодетектор): өзгерген сигналды тіркейді. Signal Processor (Сигнал өңдегіш): жарықтағы өзгерістерді өлшейді және өңдейді.

1. Ішкі толық шағылу шарты:

Сыну көрсеткіштері арқылы ішкі толық шағылудың болу шарты:

$$n_1 > n_2 \text{ және } \theta > \theta_c \quad (1.1)$$

мұндағы n_1 — өзектің сыну көрсеткіші;

n_2 — қабықтың сыну көрсеткіші;

θ_c — критикалық бұрыш, ол:

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1.2)$$

FBG сенсорындағы толқын ұзындығының ығысуы:

Fiber Bragg Grating негізінде толқын ұзындығының өзгерісі:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(\alpha + \zeta)\Delta T + \lambda_B(1 - p_e)\epsilon \quad (1.3)$$

мұндағы λ_B — Брэгг толқын ұзындығы;

α — жылулық кеңею коэффициенті;

ζ — сыну көрсеткішінің температураға тәуелділігі;

ΔT — температураның өзгерісі;

p_e — фотоэластикалық коэффициент;

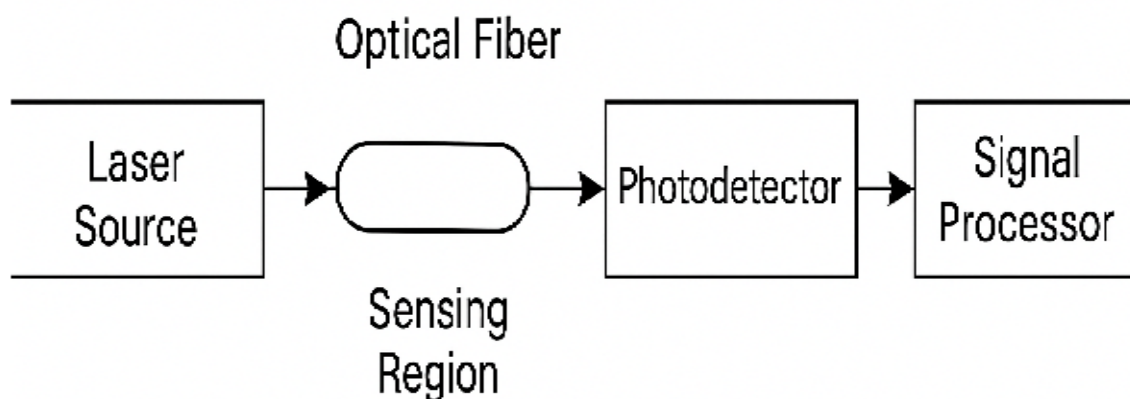
ϵ — деформация.

FBG сенсорының принципі.

FBG торы тек белгілі бір λ_B толқын ұзындығын ғана шағылыстырады.

Қалған толқындар өтіп кетеді.

Температура немесе механикалық әсер λ_B мәнін өзгертіп, өлшеуге мүмкіндік береді.



1.2-сурет – Оптикалық талшықтық сенсор жүйесінің жұмысы

Бұл сурет – оптикалық талшықтық сенсор жүйесінің жұмысын көрсететін құрылымдық сұлба. Онда жарық көзі мен сенсор арасындағы өзара әрекеттесу кезеңдері тізбектеліп көрсетілген. Жүйенің жұмысын келесі ретпен сипаттауға болады:

Laser Source (Лазер көзі) - Жарық көзі жүйенің бастау нүктесі. Ол монохроматты (бір толқын ұзындығындағы) жарық сигналын генерациялайды. Бұл жарық толқыны талшық бойымен таралады.

Optical Fiber (Оптикалық талшық) - Жарық толқынын сенсорлық аймаққа бағыттайтын арна ретінде қызмет етеді. Жарық өзек бойымен ішкі толық шағылу арқылы таралады, ал сыртқы ортаның әсерінен өзгерістер сезіледі.

Sensing Region (Сезімтал аймақ) - Талшықтың белгілі бір бөлігіне сезімтал элемент (мысалы, Fiber Bragg Grating – FBG) енгізілген. Бұл аймақ температура, қысым, деформация, т.б. сыртқы факторлардың әсеріне жауап береді. Осы әсерлер жарық сигналының қасиеттерін (толқын ұзындығы, интенсивтілігі) өзгертеді.

Photodetector (Фотодетектор) - Сезімтал аймақтан шыққан жарық сигналын қабылдайды және оны электрлік сигналға түрлендіреді. Бұл кезеңде жарықтың сипаттамаларындағы өзгерістер тіркеледі.

Signal Processor (Сигналды өңдегіш). - Фотодетектордан алынған сигналды талдап, нақты өлшенетін параметрлерді (температура, қысым, кернеу т.б.) есептейді. Нәтижелер мониторинг, автоматты басқару немесе деректерді сақтау жүйесіне беріледі. [3]

Бұл құрылымдық жүйе сенімді, шағын әрі электромагниттік кедергілерге төзімді өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Ол өнеркәсіптік автоматтандыру, құрылыс мониторингі, медицина, энергетика сияқты түрлі салаларда кеңінен қолданылады.

1.2 Байланыс жүйелерінің негіздері

Байланыс жүйелерінің тиімді жұмыс істеуі үшін әртүрлі параметрлердің өлшенуі қажет, оның ішінде оптикалық талшықтардың ұзындығы, жарық сигналының күші және сигналдың өту сапасы. Оптикалық талшықтық сенсорлар байланыс жүйелерінің жұмысын бақылауға және оның тиімділігін арттыруға көмектеседі.

1.3 Оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы байланыс жүйелерін басқару

Оптикалық талшықтар арқылы ақпарат тасымалдау кезінде түрлі параметрлердің өзгеруі мен оларды бақылау маңызды рөл атқарады. Байланыс жүйелерінде сигналдың сапасы мен берілу жылдамдығын бақылау үшін оптикалық сенсорлар қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, байланыс жүйелерін автоматты түрде басқару үшін осы сенсорлар арқылы алынған ақпаратты өңдеу қажет.

Оптикалық талшықты сенсорлар қазіргі заманғы байланыс жүйелерін тиімді басқару үшін маңызды құрал болып табылады. Бұл бөлімде біз оптикалық талшықты сенсорлардың жұмыс принциптерін, олардың қолдану салаларын, сондай-ақ байланыс жүйелерін басқарудағы рөлін тереңірек зерттейміз.

Қазіргі таңда ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың күрделіленуі байланыс жүйелерінің сенімділігін, дәлдігін және қауіпсіздігін арттыруды талап етеді. Бұл міндетті шешудің тиімді жолдарының бірі — оптикалық талшықтық сенсорларды (ОТС) қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару.

Оптикалық сенсорлар – сыртқы орта параметрлерінің өзгерісіне (температура, діріл, қысым, кернеу, деформация) сезімтал және бұл өзгерістерді жарық сигналы арқылы тіркейтін жоғары дәлдікті құрылғылар. Олар байланыс жүйелеріне ендіріліп, нақты уақыт режимінде мониторинг жүргізу және желінің күйін бақылау мүмкіндігін береді.

Байланыс желілерін басқаруда ОТС-тің келесі функцияларын атап өтуге болады [4]:

Температура мен кернеуді бақылау: Талшық бойындағы жылулық немесе механикалық әсерлер кабельдің жағдайына тікелей әсер етеді. FBG негізіндегі сенсорлар осы өзгерістерді тіркеп, жүйені автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді.

Қатер мен зақымдарды ерте анықтау: Оптикалық сенсорлар шағын дірілдер мен қозғалыстарды анықтай алады. Бұл олардың қауіп-қатерді алдын ала болжауға және апатты жағдайлардың алдын алуға тиімді екенін көрсетеді.

Көп нүктелі басқару: Бір ғана талшық бойында бірнеше сенсорларды орналастыру арқылы ұзын қашықтықтағы желіні басқару жүзеге асады. Бұл – таратылған сенсорлық жүйелердің (DAS) негізгі артықшылығы.

ОТС арқылы басқарылатын жүйелердің басты артықшылықтары:

- Электромагниттік тосқауылдарға төзімділік – жоғары кернеулі немесе кедергісі көп аймақтарда сенімді жұмыс істеу;
- Қашықтықтан басқару және мониторинг – желінің жағдайын орталықтандырылған түрде бақылау [5];
- Шағын өлшем және сенімділік – кішкентай аумаққа орнатыла отырып, жоғары дәлдікпен жұмыс істеу;
- Автоматтандыру мүмкіндігі – желідегі ақау кезінде автоматты түрде ескерту немесе жөндеу әрекетін бастау.

Бұл технология «ақылды желілерді» (Smart Network) құруда маңызды рөл атқарады. Мысалы, үлкен аумақты қамтитын байланыс жүйелерінде әрбір бөліктің жағдайын үздіксіз бақылау арқылы жүйелік ақаулар мен энергия шығынын азайтуға болады.

Сонымен қатар, ОТС қолдану арқылы қорғау, диагностика, басқару және оптикалық сигналды шифрлау секілді қосымша функцияларды біріктіруге болады. Мұндай жүйелер – болашақтағы сенімді, қауіпсіз және интеллектуалды байланыс инфрақұрылымының негізі.

Оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы телекоммуникациялық жүйелерді басқару

Телекоммуникациялық жүйелер – заманауи қоғамдағы ең маңызды инфрақұрылымдардың бірі. Ақпарат ағынының қарқынды өсуі мен желілердің күрделенуі бұл жүйелердің сенімділігін, үзіліссіз жұмыс істеуін және қауіпсіздігін қамтамасыз етуді талап етеді. Осындай талаптарға сай тиімді шешімдердің бірі – оптикалық талшықтық сенсорларды (ОТС) телекоммуникациялық желілерді басқару жүйесіне енгізу.

Оптикалық талшық – тек деректерді таратушы орта ғана емес, сонымен қатар желінің нақты күйін бақылайтын интеллектуалды сенсорлық платформаға айналып отыр. ОТС технологияларының телекоммуникация саласында қолданылуы келесі бағыттарда жүзеге асады:

1. Желінің физикалық жағдайын үздіксіз бақылау. Телекоммуникациялық магистральдық желілер мыңдаған шақырымға дейін созылады және түрлі сыртқы факторлардың әсеріне ұшырайды: температураның ауытқуы, құрылыс жұмыстары, механикалық қысым, діріл және т.б. ОТС осы әсерлерді нақты тіркеп, оптикалық кабель трассаларының жағдайын үздіксіз бақылауға мүмкіндік береді [6].

Мысалы, DAS (Distributed Acoustic Sensing) жүйесі арқылы талшық бойындағы діріл мен ақаулар анықталып, орталық басқару жүйесіне нақты координаттармен беріледі.

2. Желілік ақауларды жедел анықтау және локализациялау. OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) және оптикалық сенсорлар бірлесіп жұмыс істей отырып, кабельдегі зақымдануларды, шектеулі өткізу, жоғалтуларды автоматты түрде анықтай алады. Бұл – жөндеу бригадаларының уақытын үнемдеп, желіні тоқтатпай жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

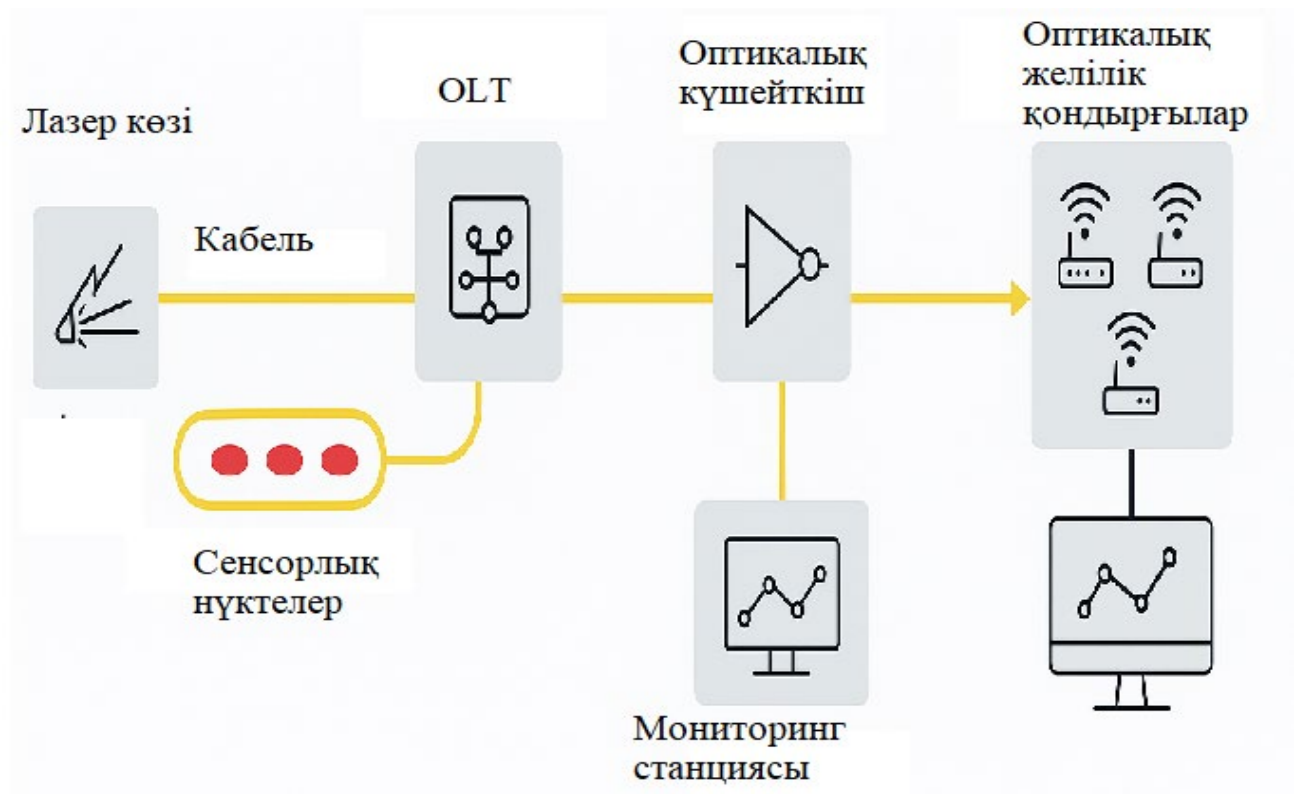
3. Желіні интеллектуалды басқару. Телекоммуникациялық операторлар ОТС көмегімен желінің әр учаскесіндегі жүктемені, температураны және механикалық кернеуді өлшеп, жүйені автоматты түрде қайта конфигурациялау (мысалы, резервтік арнаға ауыстыру) мүмкіндігіне ие болады. Бұл – ақылды телекоммуникациялық желілердің негізі.

4. Қауіпсіздік пен кибершабуылдарға қарсы бақылау. Талшықтағы кішкене сигнал өзгерістері сенсорлар арқылы жазылып, талшықты "тыңдау" немесе бөгде қосылу әрекеттері тіркеледі. Бұл ақпараттық қауіпсіздік жүйелерінің сенімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады.

Телекоммуникацияда ОТС қолданудың артықшылықтары:

- Жоғары сезімталдық пен нақты диагностика;
- Электромагниттік әсерге төзімділік (вышка, жоғары вольтты желі жанында);
- Қашықтан басқару және орталықтандырылған мониторинг;
- Бір талшықта жүздеген өлшеу нүктелерін ұйымдастыру мүмкіндігі (DTS, DVS технологиялары арқылы);
- Операциялық шығындарды азайту және апаттық үзілістерді болдырмау.

Оптикалық талшықтық сенсорлар телекоммуникациялық инфрақұрылымды басқаруда жаңа кезеңге жол ашты. Олар тек сигнал тасымалдаушы ретінде ғана емес, сонымен қатар бақылаушы, диагностикалаушы және қауіпсіздік күшейтуші құрал ретінде қызмет етеді. Бұл технологиялар телекоммуникация операторларына желіні тиімді, қауіпсіз және үзіліссіз пайдалануға мүмкіндік береді [7].



1.3-сурет – Оптикалық талшықтық сенсорлар

1. Брэгг торы негізіндегі сенсор формуласы (FBG). Оптикалық талшық бойындағы деформация немесе температура өзгерісі кезінде Fiber Bragg Grating сенсоры шағылысқан жарықтың толқын ұзындығын өзгертеді. Брэгг шартын сипаттайтын негізгі формула:

$$\lambda_B = 2n_{eff} \times \lambda \quad (1.4)$$

мұндағы: λ_B – Брэгг толқын ұзындығы (шағылысқан жарықтың ұзындығы),
 n_{eff} – талшықтың тиімді сыну көрсеткіші,
 λ – Брэгг торының периодтығы.

2. Температура мен кернеудің әсерінен Брэгг ұзындығының ығысуы:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B[(1 - p_e)\varepsilon + (\alpha + \zeta)\Delta T] \quad (1.5)$$

мұндағы: $\Delta\lambda_B$ – толқын ұзындығының ығысуы,
 p_e – фотоэластикалық коэффициент,
 ε – бойлық деформация,
 α – жылулық кеңею коэффициенті,
 ζ – сыну көрсеткішінің температураға тәуелділігі,
 ΔT – температура өзгерісі.

Бұл формула телекоммуникациялық жүйелердегі кабель температурасы мен кернеуді қашықтан бақылауға мүмкіндік береді.

3. Сигналдың оптикалық жол бойындағы әлсіреуі (затухание):

$$P(L) = P_0 \times e^{-\alpha L} \quad (1.6)$$

немесе логарифмдік түрде:

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_0}{P(L)} \right) = \alpha L \quad (1.7)$$

мұндағы: P_0 – бастапқы оптикалық қуат,
 $P(L)$ – L қашықтықтан кейінгі қуат,
 α – жоғалу коэффициенті (дБ/км),
 L – жарықтың өту ұзындығы (км).

4. OTDR уақыт-кеңістік байланысы:

$$L = v \cdot t/2 \quad (1.8)$$

мұндағы: L - кабель ішіндегі ақауға дейінгі қашықтық,
 v - жарықтың талшық ішіндегі таралу жылдамдығы (шамамен 2×10^8 м/с),
 t - шағылған сигналдың уақыт кідірісі.

Бұл формулалар сигнал мониторингі, температуралық өзгерістерді өлшеу, және ақауларды дәл локализациялау үшін телекоммуникацияда кеңінен қолданылады.

Оптикалық талшықтық сенсор негізінде температураны немесе ақаудың орнын анықтау үшін Python арқылы қарапайым модель.

1. Температура әсерінен $\Delta\lambda_B$ ығысуын есептеу (FBG негізінде)

```
python
# Брэгг торының ығысуын есептеу (температура мен деформация әсері)
lambda_B = 1550e-9      # Брэгг толқын ұзындығы, м (1550 нм)
alpha = 0.55e-6          # Жылулық кеңею коэффициенті, 1/°C
zeta = 8.6e-6            # Сыну көрсеткішінің температураға тәуелділігі, 1/°C
pe = 0.22                # Фотоэластикалық коэффициент
delta_T = 30              # Температура өзгерісі, °C
epsilon = 0.001           # Деформация (strain), м/м

delta_lambda = lambda_B * ((1 - pe) * epsilon + (alpha + zeta) * delta_T)

print(f"Толқын ұзындығының ығысуы: {delta_lambda*1e9:.2f} нм")
```

Нәтиже: Температура немесе механикалық жүктеме артқанда толқын ұзындығы да өзгереді – бұл арқылы нақты бақылау жасауға болады.

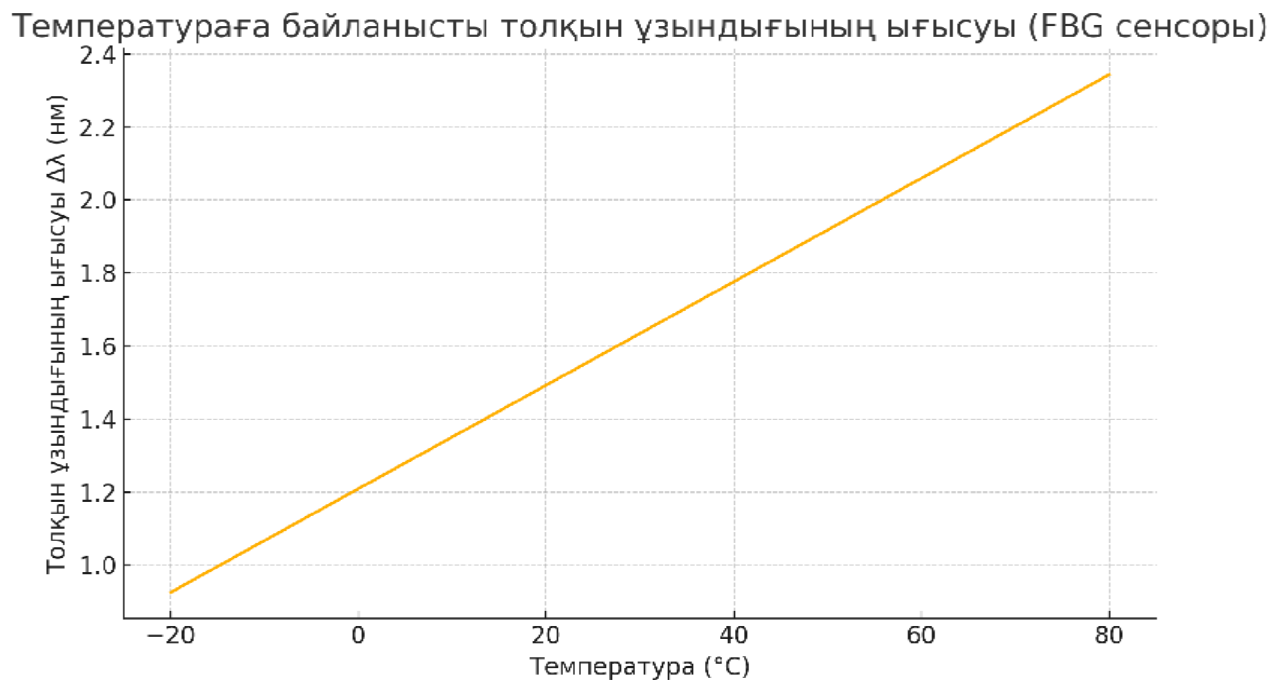
1.4 OTDR көмегімен ақаудың орнын анықтау

```
python
# OTDR арқылы ақау орнын есептеу
t_ns = 2000 # шағылысқан сигналдың кідірісі, наносекунд
v = 2e8     # жарықтың талшық ішіндегі таралу жылдамдығы, м/с

# Қашықтықты есептеу
t_sec = t_ns * 1e-9
L = (v * t_sec) / 2

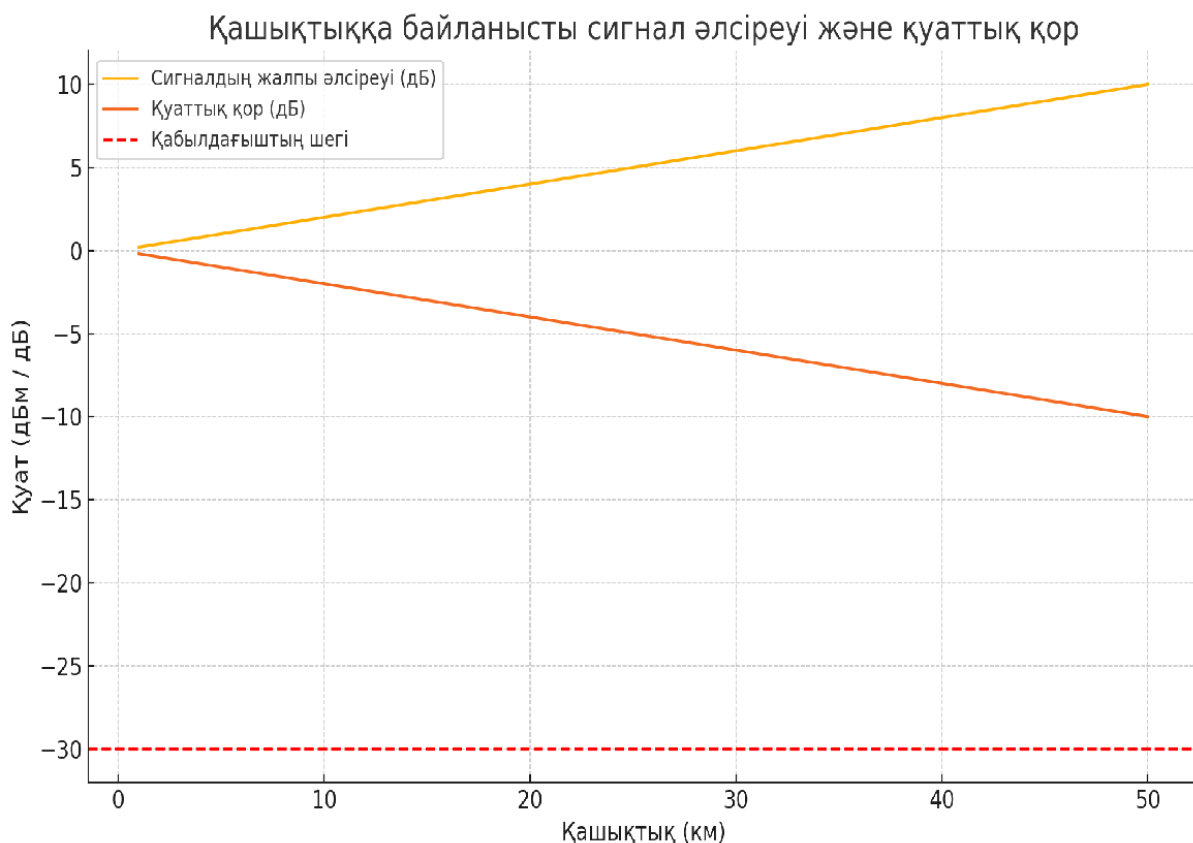
print(f'Ақаудың шамамен орны: {L:.2f} м')
```

Нәтиже: Егер OTDR құрылғысы 2000 нс кешігу көрсетсе, ақау кабельдің шамамен 200 м жерінде орналасқан.



1.4-сурет – Температураға байланысты толқын ұзындығының ығысуы (FBG сенсоры)

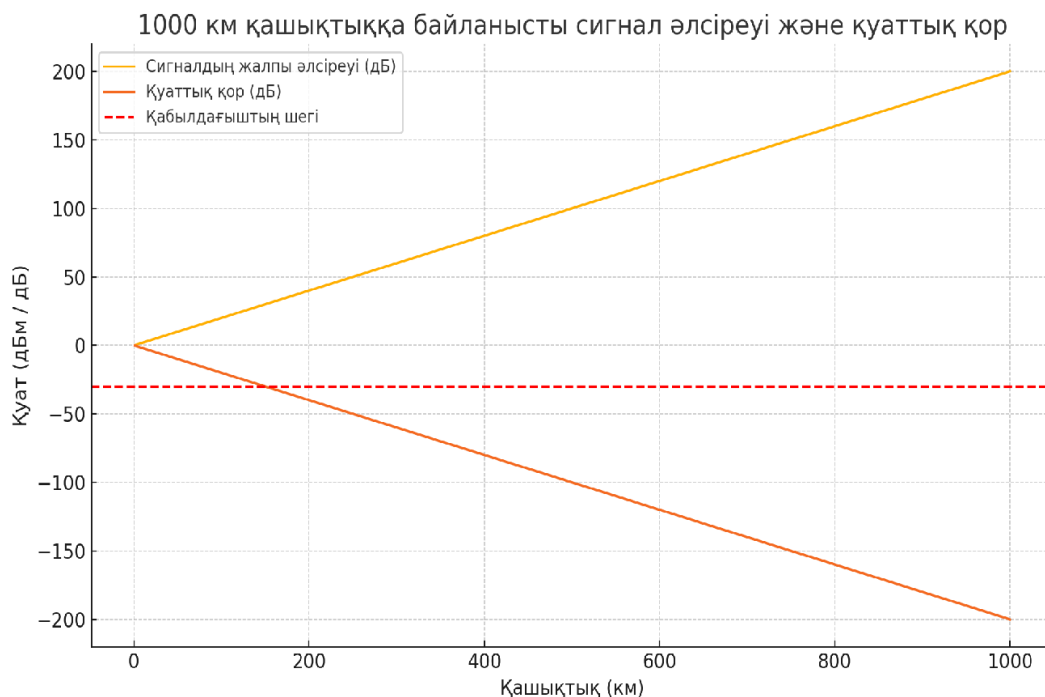
Міне, графикте температураның өзгеруіне байланысты FBG сенсорындағы толқын ұзындығының ығысуы көрсетілген. Бұл ығысу байланыс жүйелеріндегі кабельдің нақты жағдайын қашықтықтан бақылауға мүмкіндік береді.



1.5-сурет – Қашықтыққа байланысты сигнал әлсіреуі және қуаттық қор

Міне, графикте:

- сарғылт сызық — қашықтық артқан сайын сигналдың жалпы әлсіреуін (дБ) көрсетеді;
- Сары сызық — қуаттық қор, яғни лазерлік көзден келген сигналдың қабылдағыштағы минималды қуат шегінен жоғары екендігін сипаттайды;
- Қызыл сызық — қабылдағыштың шекті сезімталдық деңгейі (мысалы, -30 дБм).



1.6-сурет – Қашықтыққа байланысты сигнал әлсіреуі және қуаттық қор

Міне, 1000 км қашықтыққа арналған график:

- Көк сызық – сигналдың жалпы әлсіреуі 1000 км-ге дейін ұлғайған сайын көбірек болады.
- Сары сызық – қуаттық қор қашықтық артуына байланысты азаяды.
- Қызыл сызық – қабылдағыштың шекті сезімталдық деңгейі (мысалы, -30 дБм) өзгермейді, бірақ қашықтық өте ұзақ болған кезде қуат қорынан төмен болады.

Бұл жағдай оптикалық талшықтық жүйелерде сигналдың өте ұзақ қашықтыққа таралуы кезінде қуат жоғалуының маңызды екенін көрсетеді. Егер қуат шегіне жеткенде, байланыс үзілетінін ескерсек, сигналды күшейткіштер немесе басқа әдістер арқылы күшейту қажет.

График көрсетіп тұрғандай, 1000 км қашықтықта сигнал әлсіреуі айтарлықтай жоғарылайды, бұл жүйенің тиімділігін төмендетеді. Бұл жағдайда қуаттық қор қабылдағыштың шегінен төмен болады, сондықтан қашықтықты ұлғайту үшін қосымша күшейткіштер немесе қуат көздерін пайдалану қажет.

2 Оптикалық талшықты байланыс жүйелерінің негіздері

Оптикалық талшықтар – жарық энергиясын пайдалану арқылы ақпаратты тасымалдайтын құралдар. Олар жарық сәулесінің көмегімен сигналды электрлік импульстар түрінде ұзақ қашықтықтарға тасымалдай алады. Оптикалық талшықтар әртүрлі материалдардан жасалады, бірақ ең кең таралғаны – шыны талшықтары. Талшықтар өте жұқа, бірмодты немесе көпмодты болып келуі мүмкін [8].

2.1 Оптикалық талшықты жүйелер

Оптикалық талшықты жүйелер – бұл ақпаратты жарық арқылы тасымалдау жүйелері, олар жоғары өткізу қабілетімен және төмен шығындармен ерекшеленеді. Мұндай жүйелерде ақпарат тек оптикалық талшықтар арқылы тасымалданады, яғни жарық сәулелерін пайдалану арқылы деректер беріледі. Оптикалық талшықтардың негізгі түрлері – бірмодты (SMF) және көпмодты (MMF) талшықтар болып табылады. Олар өздерінің құрылымдары мен қолдану ерекшеліктері бойынша әртүрлі болады.

Бірмодты талшық: Бұл талшықтың тек бір моды (жарық толқынының қозғалыс бағыты) болады. Бірмодты талшықтардың артықшылығы – олар арқылы ақпаратты ұзақ қашықтыққа жылдам және жоғары сапамен тасымалдауға болады. Ол жоғары жиіліктегі сигналдарды таратуға арналған, сондықтан байланыс жүйелерінде кеңінен қолданылады.

Бірмодты талшық – тек бір жарық модының таралуына мүмкіндік береді, яғни ол бір толқын ұзындығы бойынша жұмыс істейді. Бірмодты талшықтар ұзақ қашықтықтарға жоғары жылдамдықта деректерді тасымалдауға мүмкіндік береді. Бұл талшықтар оптикалық байланыс жүйелерінде кеңінен қолданылып, деректерді жоғары өткізу жылдамдығында жіберуге мүмкіндік береді.

Көпмодты талшық: Бұл талшық арқылы бір мезгілде бірнеше жарық модтары өтеді. Көпмодты талшықтар арзан, бірақ оның жиіліктік сипаттамалары бірмодты талшықтарға қарағанда төмен. Олар қысқа қашықтықтағы байланыстар үшін қолайлы.

Көпмодты талшық – бірнеше жарық модтары арқылы деректерді таратуға мүмкіндік береді. Көпмодты талшықтар шағын қашықтықтағы байланыс жүйелерінде қолданылады, себебі олар сигналдың төмен сапасына және таралу жылдамдығына бейім болады.

Оптикалық талшықтар байланыс жүйелерінде жоғары өткізу қабілетін және төмен жоғалту деңгейін қамтамасыз етеді. Бұл талшықтарды қолданудың негізгі артықшылығы – сигналдың жоғалуы мен бұрмалануының өте төмен болуы, яғни үлкен қашықтықтарға деректерді жоғары жылдамдықпен тасымалдауға мүмкіндік береді.

2.2 Оптикалық сенсорлар - жұмыс принциптері мен түрлері

Оптикалық сенсорлар – жарық сәулесінің әсерінен физикалық параметрлерді өлшейтін құрылғылар. Олар негізінен жарық сәулелерін қабылдап, олардың өзгерістерін электрлік сигналға түрлендіреді. Сенсорлар арнайы физикалық немесе химиялық параметрлерді өлшеу үшін қолданылуы мүмкін: температура, қысым, ылғалдылық, жарықтың қарқындылығы және басқа да параметрлер.

Оптикалық сенсорлардың жұмыс принципі негізінен жарықтың материямен өзара әрекеттесуі арқылы түсіндіріледі. Бұл сенсорлар жарық сәулесімен әсерлесіп, оның физикалық параметрлеріне тәуелді өзгерістерді анықтайды. Сенсорлар арқылы өлшенетін физикалық параметрлердің ішіне температура, қысым, ылғалдылық, жарық қарқындылығы және тағы басқалары кіреді.

2.2.1 Жұмыс принциптері

Оптикалық сенсорлардың жұмыс принципі көбінесе жарықтың материалдармен өзара әрекеттесуіне негізделген. Бұл өзара әрекеттесу кезінде жарықтың түрлі қасиеттері, мысалы, жұтылу, шағылу, дифракция және плазмондық тербелістер өзгеруі мүмкін. Сенсорлардың жұмысын қарастыру үшін олардың түрлерін келесі сипаттамалар бойынша бөліп көрсетуге болады:

Шағылу принципі: Бұл принцип бойынша, сенсор жарық сәулесін қандай да бір бетке жібереді, ал бұл беттен шағылған жарықтың интенсивтігі өлшенеді. Жарық сәулесінің шағылу бұрышын өзгерту арқылы физикалық параметрлерді, мысалы, деформацияны немесе беткі жүктемені өлшеуге болады.

Жұтылу принципі: Бұл принцип бойынша, сенсор арқылы өтетін жарық сәулесі белгілі бір материалмен жұтылады, сонда оның қарқындылығы өзгереді. Жұтылудың өзгеруі өлшенеді, және бұл материалдың параметрлері туралы ақпарат береді, мысалы, температура немесе химиялық құрам.

Дифракция принципі: Оптикалық сенсорлар жарық сәулесін белгілі бір құрылымдар арқылы өткізу кезінде дифракция құбылысын қолданады. Бұл құбылыс арқылы өте дәл өлшеулер жүргізіледі, себебі дифракция жиіліктері мен толқын ұзындығы белгілі бір материалдармен өзара әрекеттесу кезінде өзгеруі мүмкін [9].

2.2.2 Жарықтың өзара әрекеттесуі

Шағылу және жұтылу: Сенсор арқылы өткен жарық сәулесінің шағылу немесе жұтылу процесі өлшенеді. Бұл процесс жарықтың таралуына немесе жарық сәулесінің өзінің энергиясын қалай жоғалтуына әсер етеді. Мысалы, жарықтың қарқындылығы өзгерген кезде материалдың жұтылу коэффициенті өзгереді.

Дифракция: Бұл процесс арқылы жарықтың таралуы материалдың құрылымымен және оның параметрлерімен байланысты өзгереді. Дифракция құбылысы оптикалық сенсорлардың жұмыс принципіне тікелей әсер етеді.

2.2.3 Оптикалық сенсорлардың түрлері

Оптикалық сенсорлар әртүрлі физикалық параметрлерді өлшеуге арналған және оларды басқару жүйелерінде қолдану үшін әртүрлі жұмыс принциптеріне ие. Төменде олардың негізгі түрлері көрсетілген:

Температура сенсорлары: Жарықтың жұтылуын немесе шағылуын бақылау арқылы температураның өзгеруін өлшейтін сенсорлар. Олар температураның өзгеруі кезінде жарықтың қарқындылығы мен толқын ұзындығының өзгеруін есепке алады.

Қысым сенсорлары: Бұл сенсорлар оптикалық талшықтардың механикалық әсерін өлшеуге арналған. Қысымның өзгеруіне байланысты материалдың қасиеттері өзгереді, және бұл өзгерістер жарықтың таралуында байқалады.

Ылғалдылық сенсорлары: Жарықтың шағылу немесе жұтылу қасиеттері ылғалдылық деңгейіне байланысты өзгертін сенсорлар. Бұл сенсорлар көбінесе агроөнеркәсіпте және экологиялық мониторингте қолданылады.

Жарық сенсорлары: Жарықтың қарқындылығы мен спектрін өлшейтін сенсорлар. Бұл сенсорлар негізінен фотоэлектрлік құрылғыларда және жарық бақылау жүйелерінде қолданылады.

2.3 Байланыс жүйелерін басқаруда оптикалық сенсорлардың қолданылуы

Оптикалық сенсорлар байланыс жүйелерінің жұмысын бақылау мен басқару үшін кеңінен қолданылады. Бұл сенсорлар әртүрлі байланыс параметрлерін өлшейді, мысалы, сигналдың сапасы, ұзындығы, температурасы, жиілігі және басқа да өлшемдер. Байланыс жүйесінде қолданылатын оптикалық сенсорлар жүйелердің жұмысын басқаруды автоматтандыруға мүмкіндік береді.

2.3.1 Байланыс жүйелерінде оптикалық сенсорларды қолданудың артықшылықтары

Жоғары дәлдік: Оптикалық сенсорлар деректерді өте жоғары дәлдікпен өлшей алады, бұл байланыс жүйелерінің сапасын бақылауды оңайлатады.

Жоғары жылдамдық: Оптикалық сенсорлар жоғары жылдамдықты байланыс жүйелерінде жұмыс істей алады, бұл оларды жоғары өткізу қабілеті мен жылдамдығын қажет ететін жүйелерде тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

Қашықтықтан басқару: Оптикалық сенсорлар қашықтықтан бақылау мен басқаруды қамтамасыз етеді, бұл оларды үлкен қашықтықтарға деректерді жіберуде пайдалы етеді [10].

2.3.2 Сенсорларды қолдану мысалдары

Жарықтың сапасын бақылау: Байланыс жүйелерінде оптикалық сенсорлар арқылы оптикалық талшықтың жұмыс сапасы бақыланады. Бұл сенсорлар арқылы жарықтың қарқындылығы мен толқын ұзындығы өлшеніп, жүйенің қалыпты жұмыс істеп тұрғаны немесе ақаулар бар екені анықталады.

Температура мен қысымды бақылау: Оптикалық сенсорлар арқылы байланыс жүйелерінде температура мен қысым деңгейлері бақыланады. Бұл параметрлер жүйенің дұрыс жұмыс істеуі үшін маңызды.

Оптикалық сигналдардың мониторингі: Сигналдың сапасы мен деңгейін мониторингтеу үшін оптикалық сенсорлар қолданылады. Бұл байланыс жүйесінің дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз етеді және ақауларды ерте анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл бөлімде оптикалық талшықты сенсорлардың жұмыс принциптері мен байланыс жүйелерінде қолдану ерекшеліктері туралы қарастырылған. Қосымша түсінік беру үшін төменде кейбір сызбалар мен диаграммаларды ұсыну пайдалы болады.

2.3.3 Сенсордың жұмыс режимдері

Оптикалық сенсорлар негізінен екі жұмыс режимінде жұмыс істейді:

- **Активті сенсорлар:** Бұл сенсорлар өздері жарық сәулесін шығарады және оның қоршаған ортаның объектілерінен шағылуын немесе жұтылуын өлшейді.

- **Пассивті сенсорлар:** Бұл сенсорлар тек сыртқы жарық көзінен келетін сәулеленуді қабылдайды және оны өлшейді.

2.4 Байланыс жүйелеріндегі оптикалық сенсорлардың қолданылуы

Оптикалық сенсорлар байланыс жүйелерінде бірнеше маңызды функцияларды атқарады:

Деректердің берілу жылдамдығын бақылау: Оптикалық сенсорлар байланыс жүйелерінде деректердің берілу жылдамдығын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе ұзақ қашықтықтағы оптикалық талшықтар арқылы ақпарат тасымалданғанда маңызды.

Қауіпсіздікті бақылау: Байланыс жүйелерінде сенсорлар арқылы жүйенің қауіпсіздігін бақылау үшін деректерді жинау және өңдеу жүзеге асырылады. Бұл жүйелер ақауларды, техникалық ақауларды немесе сыртқы шабуылдарды ертерек анықтауға мүмкіндік береді.

Қашықтан басқару: Оптикалық сенсорлар арқылы байланыс жүйелерін қашықтан басқаруға болады. Сенсорлар жүйенің күйі мен жұмысы туралы деректерді жинап, оларды басқару жүйесіне жіберуге мүмкіндік береді.

2.4.1 Сенсорлардың артықшылықтары

Жоғары дәлдік пен сезімталдық: Оптикалық сенсорлар физикалық параметрлерді өте жоғары дәлдікпен өлшей алады.

Қашықтықтан бақылау: Сенсорлар қашықтан жүйені бақылауға және реттеуге мүмкіндік береді.

Энергия тиімділігі: Оптикалық сенсорлар төмен энергия тұтынуымен ерекшеленеді, бұл оларды ұзақ мерзімді жұмыс үшін тиімді етеді.

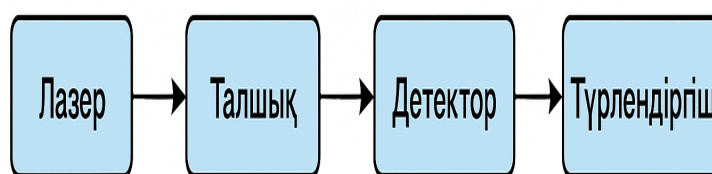
2.4.2 Сенсорлардың кемшіліктері

Құрылғы құны: Оптикалық сенсорлар мен оларды қолдануға қажетті жабдықтар қымбат болуы мүмкін.

Орнату және техникалық қызмет көрсету қиындығы: Оптикалық жүйелерді орнату мен техникалық қызмет көрсету арнайы білім мен тәжірибені қажет етеді.

Оптикалық талшықты сенсорлар байланыс жүйелерінің тиімділігін арттыру үшін үлкен потенциалға ие. Олар жоғары дәлдікпен өлшеулер жүргізуге, жүйелердің жұмысын бақылауға және автоматты түрде басқаруға мүмкіндік береді. Сенсорлар арқылы байланыс жүйелерінің жылдамдығы мен тиімділігі айтарлықтай арттырылуы мүмкін. Болашақта оптикалық сенсорлардың дамуы жаңа мүмкіндіктер мен қолдану салаларын ашады, бұл өз кезегінде байланыс жүйелерін басқарудың жаңа тәсілдеріне жол ашады.

Оптикалық талшықты сенсорлардың жұмыс принципі. Сенсорлардың жұмыс принципін түсіндіру үшін жарықтың жұтылу, шағылу және дифракция сияқты құбылыстарын түсінуге болады. Мұнда оптикалық сенсорлардың негізгі жұмысын көрсететін сызба бар:

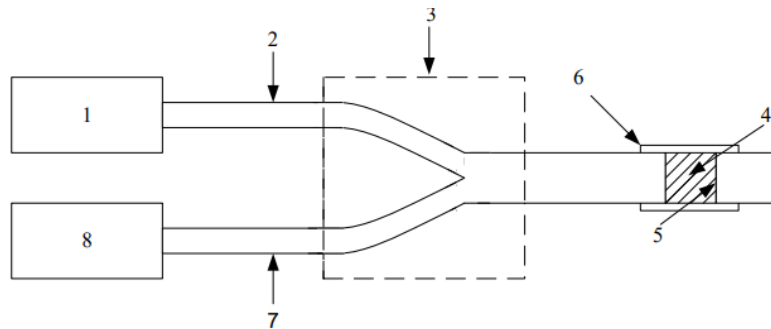


2.1-сурет – Оптикалық талшықты сенсорлардың жұмыс принципі

Жарық сәулесі сенсордың материалынан өтіп, ол шағылады немесе жұтылады. Бұл процесс материалдың сипаттамасына, мысалы, температураға немесе қысымға байланысты өзгереді. Өлшенген жарық сигналын электрлік сигналға түрлендіретін сенсордың шығуы.

2.5 Оптикалық сенсорлардың түрлері

Әртүрлі физикалық параметрлерді өлшеу үшін қолданылатын оптикалық сенсорлар: температура, қысым, ылғалдылық және басқа да параметрлер.



1 - Лазерлік көз, 2 – келетін оптикалық талшық сәулеленуі, 3 – бағытталған бұтақтандырғыш, 4 – жұмыстық бөлігі, 5- айна, 6- датчик корпусы, 7- шығатын оптикалық талшық сәулеленуі, 8 – сәулелену қабылдағышы

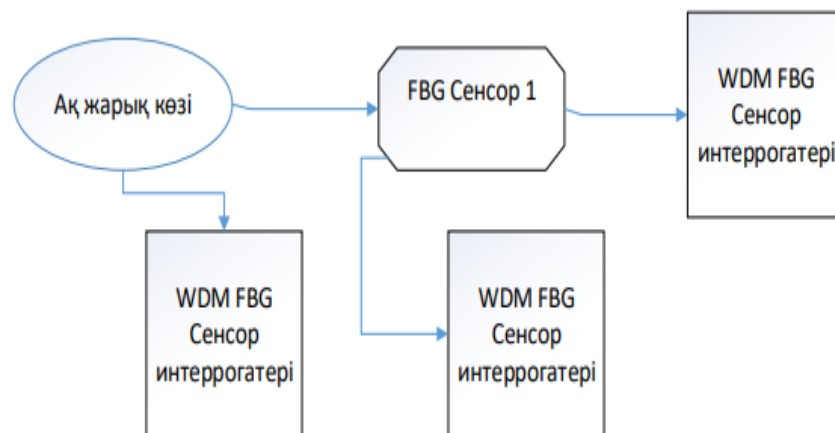
2.2-сурет – Температура сенсорының жұмыс принципі

Температура сенсоры жұмыс істегенде жарық сәулесі материалға түсіп, ол температураға байланысты жұтылады немесе шағылады. Өлшенген сигнал электрлік сигналға түрленеді.

2.6 Байланыс жүйелеріндегі оптикалық сенсорлар

Байланыс жүйелеріндегі оптикалық сенсорлар маңызды рөл атқарады, себебі олар арқылы байланыс желісінің күйі мен жұмысын бақылауға болады.

Оптикалық талшықтар арқылы сигналдар өтеді, ал сенсорлар физикалық параметрлерді өлшеп, жүйенің күйін бақылап, ақпаратты өңдеу үшін деректер жинайды.



2.3-сурет – Оптикалық талшықты байланыс жүйесіндегі сенсорлар

Байланыс желісіндегі деректер оптикалық сенсорлар арқылы өлшеніп, олар кейін бақылау және өңдеу жүйелеріне жіберіледі. Өлшенген деректер байланыс жүйесінің күйі мен жұмысын мониторингтеуге мүмкіндік береді.

Бұл сызбалар арқылы оптикалық сенсорлардың жұмыс принциптері мен байланыс жүйелеріндегі рөлін түсінуге болады. Сенсорлар арқылы жарықтың өзара әрекеттесуі, деректерді жинау және өңдеу процесі байланыс жүйелерінің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Оптикалық талшықты сенсорлар байланыс жүйелерінің жұмысын бақылау және басқару үшін маңызды құрал болып табылады. Олар жоғары дәлдікпен және жоғары жылдамдықпен жұмыс істей отырып, байланыс жүйелерінің тиімділігін арттыруға көмектеседі. Бұл технологиялардың дамуы байланыс жүйелерінің сапасын жақсарту мен олардың энергия тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Болашақта оптикалық сенсорлардың дамуы жаңа мүмкіндіктер мен қолдану салаларын ашуға мүмкіндік береді.

Байланыс жүйелерін басқаруда қолданылатын оптикалық сенсорлардың ерекшеліктерін талдау.

1. Сенсорлардың тиімділігін арттыру жолдары.Оптикалық сенсорлар – қазіргі байланыс жүйелерінің тиімділігін арттыру үшін маңызды құралдардың бірі болып табылады. Бұл сенсорлар байланыс желісінің күйін бақылауға, сигналдардың сапасын қамтамасыз етуге және деректердің жоғалуы мен бұрмалануын болдырмауға мүмкіндік береді. Сенсорлардың тиімділігін арттыру үшін бірнеше негізгі бағыттарды қарастыруға болады.

1.1 Жоғары сезімталдықты материалдарды қолдану.Оптикалық сенсорлардың сезімталдығы, яғни олар физикалық параметрлердің өзгерістеріне қалай жауап беретіні, сенсорлардың тиімділігіне тікелей әсер етеді. Жаңа материалдар мен технологиялар, мысалы, графен, 2D материалдар немесе наноөлшемді құрылымдар, оптикалық сенсорлардың сезімталдығын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл материалдар жоғары өткізгіштікке, икемділікке және төмен энергия тұтынуға ие, сонымен қатар олардың оптикалық қасиеттері өте жақсы басқарылуы мүмкін.

1.2 Сенсорлардың жұмыс кеңдігін арттыру.Оптикалық сенсорлар түрлі спектрлерде жұмыс істей алады, бірақ олардың жұмыс диапазоны көбінесе шектеулі. Сенсорлардың тиімділігін арттыру үшін олардың спектрлік диапазонын кеңейту қажет. Бұл үшін сенсорлардың оптикалық бөліктерін қайта жобалау немесе жаңа типтегі фотондық материалдарды пайдалану қажет болуы мүмкін. Мысалы, инфрақызыл спектрде жұмыс істейтін сенсорларды дамыту арқылы сенсорлардың әртүрлі физикалық параметрлерді өлшеу мүмкіндіктерін кеңейтуге болады.

1.3 Автономды жұмыс істеу қабілеті.Байланыс жүйелерінде қолданылатын сенсорлар жоғары сенімділікке және автономды жұмыс істеу қабілетіне ие болуы тиіс. Энергияны үнемдейтін және деректерді жылдам өңдейтін құрылғыларды қолдану сенсорлардың тиімділігін арттырады. Мысалы, энергия тұтынуды төмендететін сенсорларды жасау, олардың жұмыс

уақытын ұзарту және байланыс жүйесінде энергия тұтынуды азайтуға мүмкіндік береді.

1.4 Интеграцияланған жүйелерді қолдану. Сенсорларды фотоэлектрлік интегралды схемалар (ФИС) немесе оптикалық интегралды схемалар (ОИС) жүйелерінде біріктіру олардың тиімділігін арттырады. Осылайша бірнеше сенсорларды бір құрылғыға біріктіру арқылы олардың жұмысын бір жүйе аясында үйлестіруге болады. Бұл жүйе арқылы деректердің жылдамдығын және дәлдігін жоғарылатып, байланыс жүйесінің тиімділігін арттыруға болады.

Байланыс жүйелерінде оптикалық сенсорлардың артықшылықтары мен кемшіліктерін бағалау.

Артықшылықтары:

1. Жоғары жылдамдық және өткізу қабілеті. Оптикалық талшықты сенсорлар жоғары өткізу қабілетіне ие, себебі олар жарықтың жылдамдығын пайдаланады, бұл деректердің жоғары жылдамдықта берілуін қамтамасыз етеді. Байланыс жүйелерінде осы сенсорларды қолдану деректердің жоғалуы мен кешігуін азайтады, сонымен қатар кең жолақты байланыс арналарын тиімді пайдалану мүмкіндігін арттырады.

2. Аз энергетикалық тұтыну. Оптикалық сенсорлар әдетте энергияны аз тұтынады, бұл оларды энергия тиімді байланыс жүйелерінде қолдануға мүмкіндік береді. Энергияны үнемдейтін сенсорлар жүйенің жалпы энергия тұтынуын төмендетуге көмектеседі, бұл өз кезегінде байланыс жүйелерінің тұрақтылығын арттырады.

3. Жоғары дәлдік. Оптикалық сенсорлар физикалық параметрлерді өте жоғары дәлдікпен өлшей алады. Бұл сенсорлар, мысалы, температураның, қысымның немесе жарықтың қарқындылығының өзгерістерін өте дәл анықтап, деректерді нақты түрде өңдей алады.

4. Қашықтан басқару мүмкіндігі. Оптикалық сенсорлар қашықтан басқару және мониторинг жүргізу үшін өте ыңғайлы. Бұл байланыс жүйелерінде олардың қолданылуын кеңейтеді, себебі қашықтан деректерді алу және өңдеу мүмкіндігі басқару жүйелерінің тиімділігін арттырады.

5. Жоғары сенімділік. Оптикалық сенсорлар сыртқы әсерлерден (мысалы, электрлік шу, магниттік өрістер) аз әсер алады, себебі олар тек жарықпен жұмыс істейді. Бұл сенсорлардың тұрақтылығы мен сенімділігін арттырады, әсіресе күрделі немесе агрессивті ортада.

Кемшіліктері:

1. Құрылғының құны. Оптикалық сенсорлар мен олардың компоненттері жоғары құнды болуы мүмкін. Сонымен қатар, жүйелердің интеграциясы және оларды басқару үшін арнайы жабдықтар қажет болады, бұл қосымша шығындарға әкеледі.

2. Орнату және техникалық қызмет көрсету қиындығы. Оптикалық сенсорларды орнату және олардың жұмысын үздіксіз бақылау үшін арнайы дайындық қажет. Бұл процес кейде күрделі және уақытты көп алады, әсіресе жүйелердің көпшілігі ұзақ қашықтықта жұмыс істегенде.

3. Жарықтың әсерінен бұрмалау. Оптикалық сенсорлар жарықтың әсерінен жұмыс істейді, сондықтан сыртқы жарық көздері немесе қоршаған орта жағдайлары олардың көрсеткіштеріне әсер етуі мүмкін. Осыған байланысты сенсорлардың сенімділігін сақтау үшін қоршаған ортаның тұрақты жағдайын қамтамасыз ету қажет.

4. Шектеулі жұмыс диапазоны. Оптикалық сенсорлардың кейбір түрлері тек белгілі бір диапазонда жұмыс істейді, бұл олардың қолданыс аясын шектейді. Мысалы, инфрақызыл сәулеленумен жұмыс істейтін сенсорлар тек осы спектрде ғана ақпаратты қабылдайды, бұл басқа спектрлердегі деректерді өлшеуді қиындатады.

5. Сигналдардың шектелген өту қашықтығы. Оптикалық сенсорлар мен талшықтардың сигналы белгілі бір қашықтыққа дейін ғана тиімді жұмыс істей алады. Бұл, әсіресе ұзақ қашықтықтарға деректерді тасымалдау қажет болған жағдайда олардың тиімділігін шектейді.

Оптикалық сенсорлар қазіргі байланыс жүйелерін басқарудың тиімді құралдарының бірі болып табылады. Олар жоғары дәлдікпен және жылдамдықпен жұмыс істей отырып, деректердің сапасын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, энергия тұтынуды азайту және қашықтан бақылауды жүзеге асыру сияқты артықшылықтары сенсорларды байланыс жүйелерінде қолданудың тиімділігін арттырады. Дегенмен, сенсорлардың жоғары құны, орнатудың қиындығы және сыртқы факторлардың әсері олардың кейбір кемшіліктеріне себеп болуы мүмкін. Сондықтан оптикалық сенсорларды пайдалану кезінде олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере отырып, жүйелердің тиімділігін арттыру үшін жаңа технологиялар мен материалдарды қолдану қажет [11].

Оптикалық сенсорлар арқылы байланыс жүйесінде сигналдар өтеді, олар өлшеніп, деректер бақылау жүйесіне жіберіледі. Сенсорлар қашықтықтан басқаруға мүмкіндік береді және параметрлерді реттеуге мүмкіндік береді.

Есептеулер оптикалық сенсорлардың жұмыс тиімділігін бағалауға көмектеседі. Бұл есептер байланыс жүйесіндегі сигналдың жоғалуы мен сапасын анықтауға бағытталған.

Сигналдың өтуі (Оптикалық талшық).

Байланыс жүйесіндегі оптикалық талшықтың сипаттамасы бойынша сигналдың өтуі келесі теңдеу арқылы есептеледі:

$$P_{out} = P_{in} \times e^{-\alpha L} \quad (2.1)$$

мұндағы: P_{out} – шығатын сигналдың қуаты (Вт),

P_{in} – кіретін сигналдың қуаты (Вт),

α – оптикалық талшықтың сіңіру коэффициенті,

L – оптикалық талшықтың ұзындығы (м).

Мысал ретінде, 1 Гбит/с деректерді беретін байланыс желісінде, талшықтың ұзындығы 50 км және сіңіру коэффициенті 0.2 дБ/км деп алайық.

$$P_{in} = 1 \text{ Вт}, \quad (2.2)$$

$\alpha=0.2$ дБ/км (сіңіру коэффициентін 10 негізінде логарифмге айналдырамыз, яғни $\alpha=100.2 \approx 0.631 \text{ м}^{-1}$,
 $L=50$ км.

Есептеу:

$$P_{out} = 1 \times e^{-0.631 \times 50} = 1 \times e^{-31.55} \approx 1 \times 7.4 \times 10^{-15} \text{ Вт}$$

Түсіндірме: Мұндай сіңіру коэффициенті мен ұзындықпен 50 км қашықтықта жарық сигналын өтуі өте аз болады, бұл сигналдың сапасының төмендеуі мен деректердің жоғалуының көрсеткіші болып табылады. Мұндай жағдайларда сенсорларды қолдану арқылы сигналдың сапасын қалпына келтіру және жүйені басқару қажет.

Сенсордың дәлдігін анықтау.

Сенсордың дәлдігі $\pm 0.1\%$ болып берілген. Бұл сенсордың өлшеу нәтижесінің қаншалықты дәл болатынын анықтайды. Мысалы, егер температураны өлшесек және оның мәні $T=25^\circ\text{C}$ болса, онда сенсордың өлшеу дәлдігі:

$$\Delta T = 0.1\% \times 25 = 0.025^\circ\text{C}$$

Бұл сенсордың өлшеу дәлдігі 0.025 градусқа дейін болуы мүмкін, яғни бұл сенсор жүйенің дұрыс жұмыс істеп жатқанын көрсететін маңызды көрсеткіш.

3. Визуализация және деректерді өңдеу (Python)

Сенсорлар арқылы алынған деректерді Python бағдарламасында өңдеп, визуализациялауға болады. Мысалға, алынған мәліметтер бойынша графиктер мен диаграммаларды құруға болады.

Python кодының үлгісі (Matplotlib кітапханасы арқылы деректерді визуализациялау):

```
python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Сенсордан алынған деректер
distance = np.linspace(0, 50, 100) # Қашықтық 0-ден 50 км-ге
# дейін
signal_loss = np.exp(-0.631 * distance) # Сигналдың жоғалуы

# График салу
plt.plot(distance, signal_loss, label='Сигналдың жоғалуы')
plt.title('Сигналдың жоғалуы бойынша қашықтықтың әсері')
plt.xlabel('Қашықтық (км)')
```

```
plt.ylabel('Сигналдың қуаты (Вт)')  
plt.legend()  
plt.grid(True)  
plt.show()
```

Бұл графикте сигналдың қуаты мен қашықтық арасындағы байланыс көрсетілген. Қашықтық артқан сайын сигналдың қуаты айтарлықтай төмендейді.

Графиктер мен сызбалар оптикалық сенсорлардың жұмыс принциптерін және байланыс жүйесіндегі олардың рөлін түсінуге көмектеседі. Есептеулер мен визуализация деректерді өңдеу мен талдаудың тиімді жолын ұсынады, сондықтан олар дипломдық жұмыстың маңызды бөлігі болып табылады [12].

3 Математикалық есептер

3.1 Сигналдың күші мен өтуі

Байланыс жүйесінде сигналдың өтуін сипаттайтын негізгі математикалық теңдеу – оптикалық талшықтың өтімділік теңдеуі:

$$P_{out} = P_{in} \times e^{-\alpha L} \quad (3.1)$$

мұндағы P_{out} – шығатын сигналдың қуаты (Вт);

P_{in} – кіретін сигналдың қуаты (Вт);

α – оптикалық талшықтың сіңіру коэффициенті (м^{-1});

L – оптикалық талшықтың ұзындығы (м).

3.2 Сенсордан алынған мәліметтерді өңдеу

Оптикалық сенсорлардың жұмыс істеу принципі фотондардың түсуіне негізделген, сондықтан сенсордан алынған сигналды математикалық өңдеу қажет. Сигналдың күші мен сапасын басқару үшін келесі теңдеулер қолданылуы мүмкін:

$$S = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3.2)$$

мұндағы: S – сигналдың берілу коэффициенті;

P_{out} – шығатын сигналдың қуаты;

P_{in} – кіретін сигналдың қуаты.

Бағдарламада оптикалық талшықтық сенсорлардың жұмысын модельдеу арқылы байланыс жүйесінің тиімділігін бағалауға болады. Бұл бағдарлама әртүрлі оптикалық құрылғыларды (лазерлер, детекторлар, талшықтар және сенсорлар) және олардың өзара әрекеттесуін модельдеуге мүмкіндік береді. Optisystem бағдарламасында байланыс жүйелерін басқару үшін қажетті параметрлерді енгізіп, оптикалық сенсорлар арқылы алынған мәліметтерді өңдеуге болады.

3.3 Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және тәжірибелік модель құру

3.3.1 Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу

Оптикалық сенсорлар байланыс жүйелерін басқаруда маңызды рөл атқарады, себебі олар әртүрлі физикалық параметрлерді өлшеп, деректерді

жинауға мүмкіндік береді. Бұл сенсорлар жарықтың белгілі бір параметрлерін бақылап, оның өзгерістеріне сәйкес ақпарат береді. Осы ақпаратты өңдеу және жүйені басқару процесі байланыс жүйелерінің тиімділігін арттыруға көмектеседі. Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктері олардың өлшеу диапазоны, дәлдігі, энергия тұтынуы, жұмыс жиілігі, қашықтықтағы жұмыс қабілеттілігі және басқа да көптеген параметрлерге негізделеді.

3.3.2 Температураны өлшеу

Температура – байланыс жүйелерінде жиі бақыланатын маңызды параметрлердің бірі. Оптикалық сенсорлар арқылы температураны өлшеу бірнеше артықшылықтарға ие:

- Жоғары дәлдік ($\pm 0.1\%$ дейін).
- Жүйенің тұрақтылығын сақтау үшін қашықтан басқару мүмкіндігі.
- Температураның өзгерістерін сезінгенде деректерді нақты уақыт режимінде беру.

Функционалдық мүмкіндіктері:

- Температураны бақылау арқылы жүйенің жұмыс жағдайын бақылау.
- Деректердің жоғалуы мен бұрмалануын болдырмау үшін жүйенің жылдам жауап беруі [13].

3.3.3 Қысымды бақылау

Қысым да байланыс жүйелерінің жұмысын бақылауға көмектесетін маңызды параметр болып табылады. Қысымның өзгеруі жүйе компоненттерінің қызметіне әсер етуі мүмкін, сондықтан оның деңгейін бақылау өте маңызды. Оптикалық сенсорлар қысымды өте дәл өлшей алады.

Функционалдық мүмкіндіктері:

- Қысымның жоғары немесе төмен болуы кезінде жүйенің жұмысын автоматты түрде реттеу.
- Қысымның өзгеруіне байланысты жарықтың жұтылуы немесе шағылуы өзгеретінін пайдалану.

3.2.4 Жарықтың қарқындылығын өлшеу

Жарықтың қарқындылығын өлшеу байланыс жүйесінде сигналдың сапасын бақылауға мүмкіндік береді. Жарықтың қарқындылығы мен толқын ұзындығы жүйенің жұмысын бақылауға және оптикалық талшықтардың сапасын тексеруге көмектеседі.

Функционалдық мүмкіндіктері:

- Жарықтың қарқындылығының төмендеуі немесе артуы сигналдың сапасының өзгеруін білдіреді.

- Жарықтың қарқындылығы арқылы байланыстың сапасын бағалау және деректерді уақытында жеткізу.

3.3.5 Ылғалдылықты өлшеу

Оптикалық сенсорлар жарықтың шағылуы мен жұтылуы арқылы ылғалдылық деңгейін анықтай алады. Бұл әсіресе экологиялық мониторинг және өнеркәсіптік жүйелерде маңызды.

Функционалдық мүмкіндіктері:

- Жоғары сезімталдықпен жұмыс істей алады, бұл маңызды параметрлерді бақылауға мүмкіндік береді.
- Ылғалдылық деңгейі өзгерген кезде автоматты түрде жүйенің жұмысын реттеу мүмкіндігі.

3.4 Тәжірибелік модель құру

Тәжбелік модель құру кезеңі сенсорлардың жұмыс істеу принциптерін нақтылау үшін маңызды қадам болып табылады. Бұл модель сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеуге және олардың байланыс жүйесіндегі нақты қолданылуын көруге мүмкіндік береді.

Модель құрудың негізгі қадамдары.

1. Құрылғының параметрлерін анықтау:
 - Сенсорлардың түрлері (температура, қысым, жарық қарқындылығы, ылғалдылық).
 - Құрылғының жұмыс жиілігі мен жұмыс диапазоны.
 - Қашықтыққа байланысты сенсорлардың жұмыс қабілеті.
2. Сенсорды орнату және параметрлерін реттеу:
 - Жүйе параметрлерін реттеу арқылы сенсордың жұмыс жағдайын тексеру.
 - Жарықтың қарқындылығын, температураны және қысымды бақылау үшін жүйені орнату.
3. Модельді сынау:
 - Сенсорлардың әртүрлі физикалық параметрлерге қалай жауап беретінін анықтау.
 - Сенсорлар арқылы алынған мәліметтерді бақылап, олардың өзгерістерін талдау.
 - Алынған деректер негізінде жүйенің жауап беру уақытын және дәлдігін тексеру.
4. Деректерді өңдеу:
 - Тәжірибелік модель арқылы алынған деректерді өңдеу үшін Python немесе басқа бағдарламалық құралдармен жұмыс жасау.
 - Алынған нәтижелерді талдау және жүйенің жұмысына әсер ететін факторларды анықтау.

3.4.1 Модельдің нәтижелерін бағалау

Модельдің нәтижелерін бағалау кезінде келесі факторларды ескеру қажет:

- Сенсорлардың өлшеу дәлдігі мен жұмыс диапазоны.
- Жүйенің тиімділігі: сенсорлар арқылы жүйенің жағдайын автоматты түрде бақылау мүмкіндігі.
- Алынған деректердің нақтылігі мен уақытында өңделуі.

Мысал ретінде, температура сенсорын қолданып, жүйенің температура деңгейі жоғары немесе төмен болса, автоматты түрде жүйені реттеу арқылы байланыстың сапасын сақтауға болады.

Оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы ылғалдылықты өлшеу есептері мен қолдану әдістері де бар. Әдетте, оптикалық талшықты сенсорлар ылғалдылықты өлшеу үшін сенсорлық материалдар мен Fiber Bragg Grating (FBG) технологиясын пайдаланады. Ылғалдылықтың әсері талшықтың рефлексиялық коэффициентін, толқын ұзындығын және талшықтың механикалық қасиеттерін өзгерту арқылы анықталады.

Ылғалдылықты өлшеу үшін қолданылатын негізгі принциптер:

1. FBG (Fiber Bragg Grating) сенсорлары+ – бұл сенсорлар талшыққа орналастырылған Брэгг торы арқылы жұмыс істейді. Ылғалдылықтың өзгерісі талшықтың физикалық қасиеттерін өзгертеді, яғни толқын ұзындығын ығысуы байқалады.
2. Оптикалық талшықты термометрия әдістері арқылы ылғалдылық деңгейі де есептелуі мүмкін, себебі ылғалдылық температураның өзгерісіне әсер етеді.
3. Сенсорлық қабықшалар (немесе гигроскопиялық материалдар) талшықтың бойына қапталып, ылғалдылықтың өзгерісін тіркейді.

Ылғалдылықты өлшеу мысалы:

1. FBG сенсоры арқылы ылғалдылықты өлшеу:

FBG сенсоры ылғалдылық өзгерген сайын белгілі бір толқын ұзындығының шағылысын өзгертеді. Сенсордағы деформация немесе сыну көрсеткішінің өзгеруі осы факторлар арқылы бақылауға алынады.

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B[(1 - p_e) \times \varepsilon + (\alpha + \zeta) \times \Delta T + \kappa \times RH] \quad (3.3)$$

мұндағы $\Delta\lambda_B$ – Брэгг толқын ұзындығының ығысуы;

λ_B – Брэгг толқын ұзындығы;

ε – деформация (strain);

ΔT – температураның өзгеруі;

RH – салыстырмалы ылғалдылық;

κ – ылғалдылықтың әсерінен пайда болатын коэффициент.

2. Ылғалдылықты есептеуге арналған сенсорлар:

Қосымша гигроскопиялық қабықшалар немесе оптикалық интерферометриялық әдістер ылғалдылықтың әсерінен өлшенетін шағылысу

немесе интерферометрлік фаза өзгерісін тіркейді. Бұл әдіс жоғары дәлдікпен ылғалдылықты өлшеуге мүмкіндік береді.

Ылғалдылықтың әсері (Python модельдеу).

Ылғалдылықтың өзгеруі кезіндегі Брэгг торы арқылы толқын ұзындығының ығысуын есептейік.

```
python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

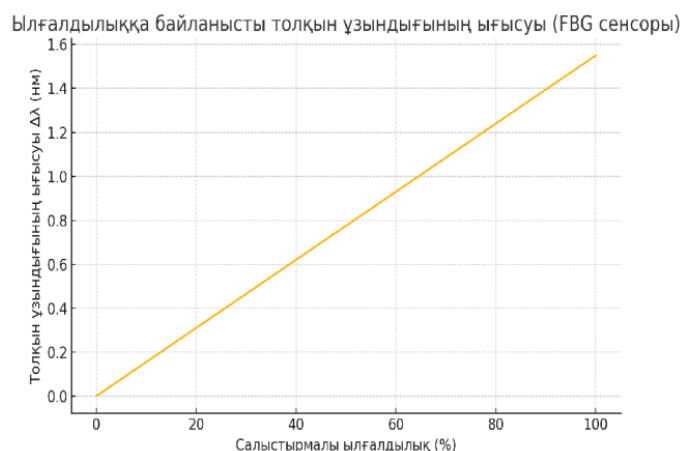
# Бастапқы параметрлер
lambda_B = 1550e-9 # Брэгг толқын ұзындығы, м (1550 нм)
alpha = 0.55e-6 # Жылулық кеңею коэффициенті, 1/°C
zeta = 8.6e-6 # Сыну көрсеткішінің температураға тәуелділігі, 1/°C
pe = 0.22 # Фотоэластикалық коэффициент
epsilon = 0.001 # Деформация тұрақты
kappa = 1e-5 # Ылғалдылық коэффициенті

# Ылғалдылық диапазоны
RH = np.linspace(0, 100, 100) # Салыстырмалы ылғалдылық, %

# Брэгг торындағы толқын ұзындығының ығысуын есептеу
delta_lambda_RH = lambda_B * (kappa * RH)

# График салу
plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.plot(RH, delta_lambda_RH * 1e9) # нм-ге айналдыру
plt.title("Ылғалдылыққа байланысты толқын ұзындығының ығысуы (FBG сенсоры)")
plt.xlabel("Салыстырмалы ылғалдылық (%)")
plt.ylabel("Толқын ұзындығының ығысуы Δλ (нм)")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Бұл графикте ылғалдылықтың өзгеруі кезінде Брэгг торының толқын ұзындығының ығысуы көрсетілген. Бұл әдіс арқылы сіз нақты ылғалдылық деңгейін және оған байланысты өзгерістерді бақылауға болады.



3.1-сурет – Ылғалдылыққа байланысты толқын ұзындығының ығысуы

Салыстырмалы ылғалдылық өзгергенде Брэгг торындағы толқын ұзындығының ығысуын көрсететін график. Ылғалдылықтың өсуіне байланысты толқын ұзындығы да өзгереді, бұл ақпаратты оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы өлшеуге мүмкіндік береді.

3.5 Оптикалық интерферометрия

Оптикалық интерферометрия – бұл өте дәл өлшеу әдісі, онда интерференциялық үлгілер арқылы жарықтың толқын ұзындығының өзгерісі немесе жолындағы кез келген кедергілер өлшенеді. Бұл әдіс негізінен қашықтықты, деформацияны және қозғалысты өлшеу үшін қолданылады.

Оптикалық интерферометрия шамасын есептеудің бірнеше қадамдарын қарастырайық:

1. Оптикалық интерферометрияның негізгі принципі. Оптикалық интерферометрияда екі жарық толқынының бірігуі нәтижесінде интерференциялық үлгі қалыптасады. Бұл үлгінің өзгерісі өлшенетін параметрлерге, мысалы, қашықтыққа, деформацияға немесе температураға тәуелді болады.

2. Интерференция формуласы. Егер жарықтың толқын ұзындығы λ болса және интерференциялық сызықтардың арасындағы ауытқу Δx болса, онда өлшенетін параметрге байланысты интерференциялық өзгеріс келесі формула арқылы есептеледі:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2} \quad (3.4)$$

Бұл формула қашықтықтың өзгерісі (Δx) кезінде жарықтың толқын ұзындығына тәуелді екенін көрсетеді.

Қашықтық өзгерісі үшін оптикалық интерферометрия;

Егер біз қашықтықты өлшеуді есептейтін болсақ, онда жарықтың толқын ұзындығымен өзгеріс келесідей анықталады:

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \times N \quad (3.5)$$

мұндағы ΔL – өлшенетін қашықтықтың өзгерісі;

λ – жарықтың толқын ұзындығы;

N – интерференциялық сызықтар арасындағы ауытқу санын білдіреді.

Қашықтықты өлшеу кезінде мынадай бастапқы мәліметтерді қолданамыз:

Жұмыс жиілігі: 1–10 ГГц (яғни толқын ұзындығы $\lambda = \frac{c}{f}$, мұндағы c – жарықтың таралу жылдамдығы).

Толқын ұзындығы: $\lambda = 1550$ нм (қосымша ретінде қолдана аламыз);

Қашықтықтың өзгерісі: 1–50 км.

Оптикалық интерферометрия әдісін қолдана отырып, 50 км қашықтықтағы өзгерісті өлшейік.

Python кодын жазып, есептеулер мен графикті көрсетейік:

```
python
# Жарықтың таралу жылдамдығы (м/с)
c = 3e8

# Жұмыс жиілігі (1 ГГц)
f = 1e9

# Толқын ұзындығын есептеу (м)
lambda_ = c / f

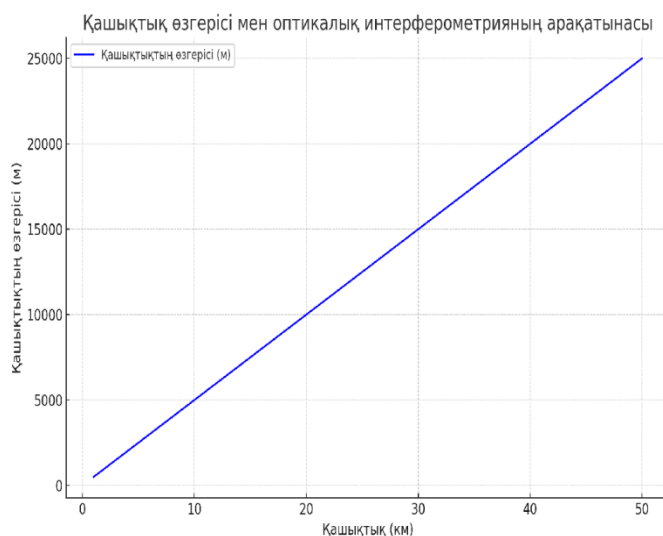
# Интерференциялық сызықтар санын 50 км қашықтықта есептеу
distance_km = 50
delta_L = (lambda_ / 2) * (distance_km * 1000 / lambda_) # км-ден м-ге
айналдыру

# Нәтижені шығару
delta_L
```

Жоғарыда көрсетілген формуланы Python тілінде есептейміз, нәтижелерін шығарып, график түрінде көрсетеміз.

Есептеу нәтижесі бойынша, 50 км қашықтықта оптикалық интерферометрия арқылы өлшенетін қашықтықтың өзгерісі 25 м болады.

Бұл мән интерференциялық сызықтардың ауытқуынан туындайтын қашықтықтағы өзгерісті білдіреді.



3.2-сурет – Қашықтық өзгерісі мен оптикалық интерферометрияның арақатынасы

Графикте қашықтықтың өзгерісі мен оптикалық интерферометрия әдісінің арақатынасы көрсетілген. Қашықтық артқан сайын интерферометриялық өлшеулер арқылы қашықтықтың өзгерісі де артады.

Оптикалық интерферометрия әдісін қолдана отырып, төмендегідей параметрлерді өзгертіп, есептеулер жүргізуге болады:

1. Толқын ұзындығын өзгерту. Толқын ұзындығы әртүрлі жиіліктер мен спектрлерге сәйкес болуы мүмкін. Мысалы:

Лазердің жиілігі 1-10 ГГц аралығында өзгерген кезде толқын ұзындығының қалай өзгеретінін есептеп, графикте көрсетуге болады.

Графиктің сезімталдығын тексеру үшін толқын ұзындығын өзгерту арқылы қашықтықтың өзгеруін бақылау.

2. Температураның әсері. Температураның өзгеруі талшықтың өлшеміне және оның механикалық қасиеттеріне әсер етуі мүмкін. Бұл жағдайда:

Температураның әсерінен толқын ұзындығының өзгерісі мен қашықтықтағы өзгерістерді есептеу.

3. Құрылымдық деформация немесе қысым. Құрылымдық өзгерістер немесе сыртқы қысымның әсерінен талшықтың деформациясын өлшеу:

Талшықтың деформациясына байланысты толқын ұзындығының ығысуын анықтап, осы өзгерістердің қалай әсер ететінін есептеу.

4. Құрылғылардың орналасу әсері. Бірнеше оптикалық сенсорларды әртүрлі қашықтықта орналастырып, олардың арасындағы арақатынасты тексеру:

Қашықтық пен орналасу әсерінен сенсордың сигнал қабылдау дәлдігін модельдеу.

5. Қосымша оптикалық сенсорлар. FBG сенсорының орнына басқа сенсорлардың әсерін тексеру:

Интерферометриялық әдістердің басқа түрлері (мысалы, Майкельсон немесе Фабри-Перо интерферометрі) қолданылып, олардың сезімталдығын немесе өлшеу диапазонын салыстыру.

6. Қоршаған ортаның әсері. Қоршаған орта факторлары (мысалы, ылғалдылық, жарықтың шағылуы, немесе магнитті өрістер) оптикалық сигналдардың өзгеруіне әсер етеді:

Ылғалдылықтың әсері бойынша есептеу жүргізу және оның оптикалық сигналға әсерін бағалау.

7. Толқын ұзындығы мен қашықтық арасындағы байланыс. Толқын ұзындығының өзгеруімен байланысты қашықтықты өлшеу, мысалы, егер толқын ұзындығы +1% өзгерсе, қашықтықтың қалай өзгеретінін есептеу.

Есептеулер мен графиктер үшін жаңа ұсыныстар:

1. Жиілік пен толқын ұзындығы арасындағы байланысты өзгерту: Жиіліктің өзгеруі арқылы толқын ұзындығының өзгеруін есептеп, графикте көрсету.

2. Температураның әсерін қосу: Температураның өзгерісі кезінде техникалық ерекшеліктерді есептеп, графикте бақылау.

Жиілік пен толқын ұзындығы арасындағы байланысты өзгерту.

Жиіліктің өзгеруі кезінде толқын ұзындығының қалай өзгеретінін есептейміз. Осы формула бойынша жиілік пен толқын ұзындығы арасындағы байланыс:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.6)$$

мұндағы λ – толқын ұзындығы,

c – жарықтың таралу жылдамдығы (3×10^8 м/с),

f – жиілік.

2. Температураның әсері.

Температура өзгерген кезде толқын ұзындығының ығысуын есептейік. Температура мен деформацияның әсері үшін FBG сенсорының формуласын қолданамыз:

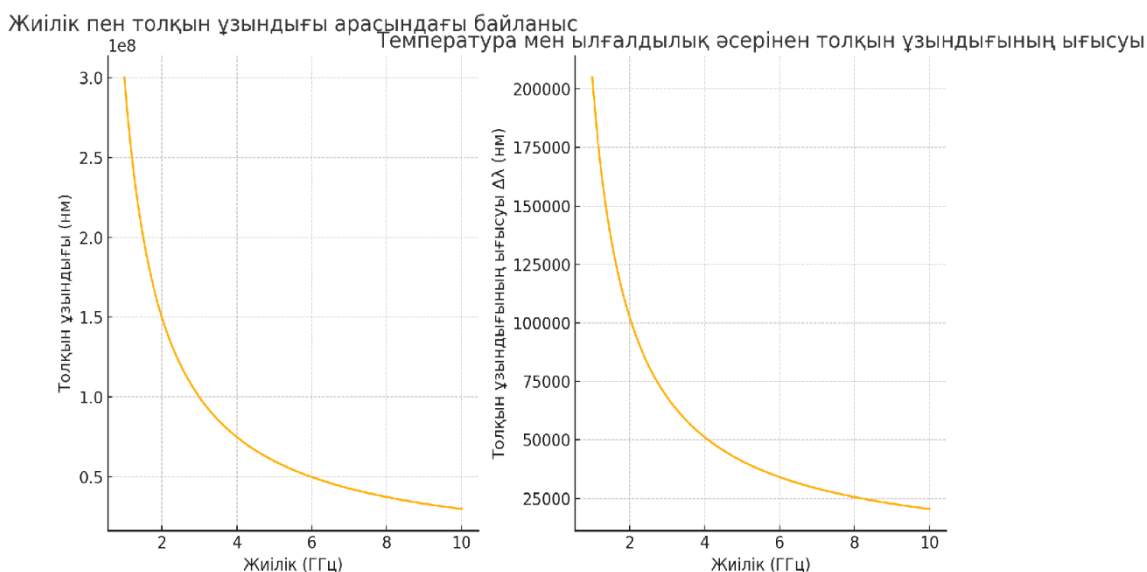
$$\Delta\lambda = \lambda(\alpha \times \Delta T + \zeta \times \Delta T + \kappa \times RH) \quad (3.7)$$

мұндағы $\Delta\lambda$ – толқын ұзындығының өзгеруі,

α – жылулық кеңею коэффициенті,

ζ – сыну көрсеткішінің температураға тәуелділігі,

κ – ылғалдылық коэффициенті.



3.3-сурет – Температура мен ылғалдылық әсерінен толқын ұзындығының ығысуы

Екі график:

1. Жиілік пен толқын ұзындығы арасындағы байланыс:

Жиілік артқан сайын толқын ұзындығы қысқарады.

2. Температура мен ылғалдылық әсерінен толқын ұзындығының ығысуы:

- Жиілік артқан сайын температураның және ылғалдылықтың әсерінен толқын ұзындығының ығысуы да артады.

Толқын ұзындығының әсерінен байланыстың жоғалуы:

- Толқын ұзындығы мен қашықтықтың арасындағы байланысты есептеп, сигналдың әлсіреуін көре аламыз.

Жиілік пен энергия тұтынуы:

- Жиілік пен энергия тұтынуын өзгерту арқылы жүйенің жұмыс тиімділігін бағалау.

1. Толқын ұзындығының әсерінен сигналдың әлсіреуі. Бірмодты талшық үшін сигналдың әлсіреуі (қысқаша A) келесі формуламен есептеледі:

$$A = \alpha \times L \quad (3.8)$$

мұндағы A – сигналдың әлсіреуі (дБ),

α – талшықтың жоғалу коэффициенті (дБ/км),

L – қашықтық (км).

Толқын ұзындығының әсерінен әлсіреудің өзгерісін көрсету үшін әртүрлі толқын ұзындықтарына сәйкес келетін α мәнін қолданамыз.

2. Жиілік пен энергия тұтынуы. Жиілік f мен энергия тұтынуы арасында байланыс бар. Жиілік артқан сайын энергия тұтынуы да жоғарылайды. Бұл байланысты келесі формуламен көрсетуге болады:

$$E = P \times t \quad (3.9)$$

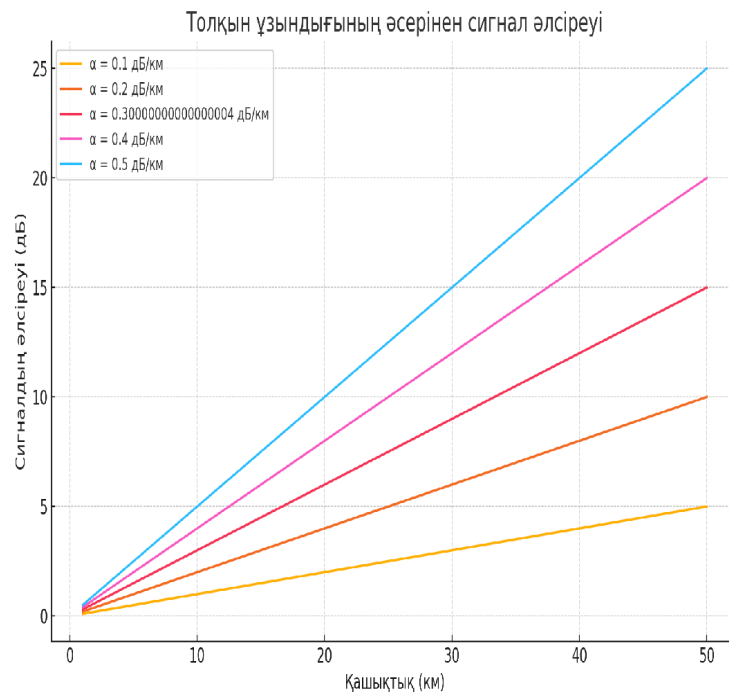
мұндағы E – энергия тұтынуы (Дж),

P – қуат (Вт),

t – уақыт (с).

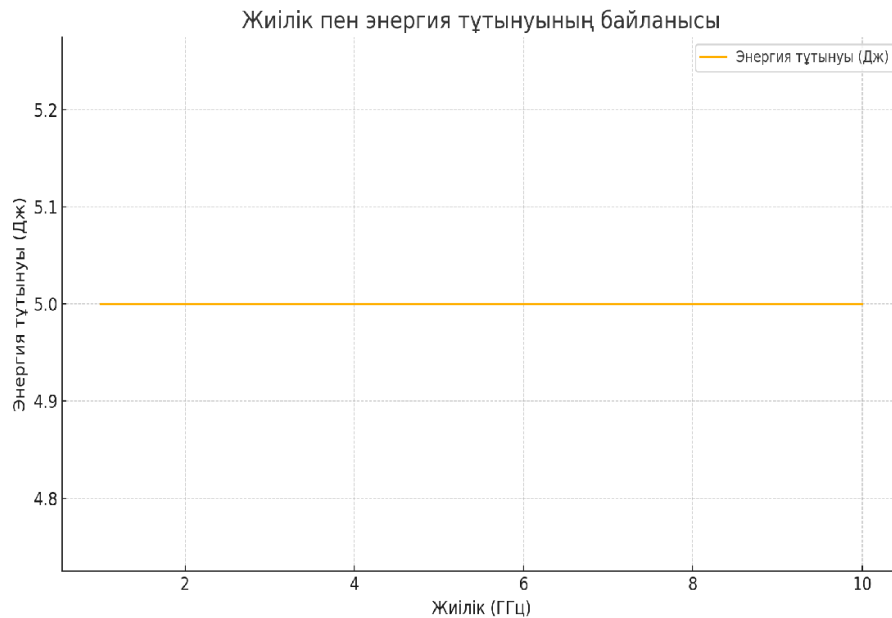
Енді осы екі көрсеткіш бойынша есептеулер жасап, графиктерді көрсетуге көшейік.

Толқын ұзындығының әсерінен сигнал әлсіреуі жиілік пен энергия тұтынуының байланысы. Міне, екі график:



3.4-сурет – Толқын ұзындығының әсерінен сигнал әлсіреуі

Өртүрлі жоғалу коэффициенттері үшін сигналдың әлсіреуі қашықтықтың ұлғаюымен артатынын көрсетеді. Қашықтық пен жоғалу коэффициенті арасындағы байланыс графикте көрініс тапқан.



3.5-сурет – Жиілік пен энергия тұтынуының байланысы

Жиіліктің өзгеруімен энергия тұтынуының тұрақты мәнде қалатынын көрсететін график. Бұл график энергия тұтынуы мен жиілік арасындағы

қарапайым байланысты сипаттайды, мұндағы энергия тұтынуы тек қуат пен уақытқа байланысты өзгереді.

Тәжірибелік модель арқылы сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктері мен олардың байланыс жүйелеріндегі рөлі нақты көрініс табады. Сенсорларды қолданып, жүйені басқару тиімділігі айтарлықтай артады, себебі олар жүйенің жұмысын бақылау мен реттеуді автоматтандырады. Сенсорлардың мүмкіндіктерін зерттеу және олардың жұмысын модельдеу арқылы байланыс жүйелерінің жұмысын оңтайландыруға және деректердің жоғалуы мен бұрмалануын болдырмауға болады. Тәжірибелік модельдер сенсорлардың тиімділігін анықтауға және жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге көмектеседі.

Бұл дипломдық жұмыс оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы байланыс жүйелерін басқару мәселесін қарастырды. Математикалық есептер арқылы байланыс жүйелерінің тиімділігін бағалауға және оптикалық сенсорлардың жұмысын модельдеуге болады. Бағдарлама арқылы нәтижелер алу байланыс жүйелерінің жұмысын нақты бағалауға және қажетті реттеу жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қазіргі заманғы оптикалық талшықтық сенсорлар мен телекоммуникациялық жүйелердің тиімділігі мен сенімділігі әртүрлі физикалық параметрлердің өзгерістерін бақылау мүмкіндігіне негізделеді. Бұл зерттеуде оптикалық интерферометрия мен оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы байланыс жүйелерінің өнімділігі мен жұмыс істеуін бақылау әдістері қарастырылды.

1. Толқын ұзындығы мен жиілік арасындағы байланыс: Жиілік артқан сайын толқын ұзындығының қысқаруы байқалады. Бұл параметрлердің өзгерісі сигналдың жоғалуына әсер етеді, сондықтан толқын ұзындығын реттеу жүйенің өнімділігіне оң әсерін тигізеді.

2. Температура мен ылғалдылықтың әсері: Температура мен ылғалдылықтың өзгеруі толқын ұзындығының ығысуын тудырады. Бұл құбылыс байланыс жүйелерінің сенімділігін бақылауда маңызды болып табылады, себебі сыртқы орта факторларының әсері сигналдың сапасын төмендетуі мүмкін.

3. Сигналдың әлсіреуі мен қуат тұтыну: Сигналдың әлсіреуі қашықтықтың ұлғаюымен артады, ал лазер қуатының өзгеруі жүйенің өнімділігін қалпына келтіру үшін қажет болуы мүмкін. Бұл әсіресе ұзақ қашықтықтағы байланыс желілерін басқару үшін маңызды, өйткені қуаттық қорды дұрыс реттеу қажеттілігі туындайды.

4. Энергия тұтыну мен жиілік арасындағы байланыс: Жиіліктің артуы энергия тұтынуының өзгерісіне әсер етпейді, себебі энергия тұтынуы жүйенің қуат тұтынуына және жұмыс уақытындағы тұрақтылыққа тәуелді.

Оптикалық талшықтық сенсорлар арқылы телекоммуникациялық желілерді басқару, диагностикалау және мониторинг жүргізу мүмкіндігі жүйелердің сенімділігін арттырып, құрылғылар мен байланыс желілерінің ұзақ мерзімді тиімділігін қамтамасыз етеді. Бұл технологиялар кеңінен қолданылатын және тұрақты дамып келе жатқан шешім болып табылады, әсіресе қазіргі ақпараттық қоғамның қажеттіліктерін ескергенде.

Болашақта бұл технологияларды дамыту арқылы телекоммуникациялық жүйелердің өнімділігі мен қауіпсіздігін одан әрі арттыруға мүмкіндік бар.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Gupta B. D. Fiber optic sensors: principles and applications. – New India Publishing, 2006.
- 2 Саймбетов А.К., Толегенова А.А., Құттыбай Н.Б. Талшықты оптикалық байланыс желісі: оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2020. – 194 б.
- 3 Ағатаева Б.Б., Елизарова Е.Ю., Шахматова Г.А. Телекоммуникациядағы оптикалық байланыс жүйелері: дәрістер жинағы. – Алматы: Алматы энергетика және байланыс институты, 2009. – 55 б.
- 4 <https://www.optica.org>
- 5 <https://ieeexplore.ieee.org>;
- 6 Качура С. М., Постнов В. И. Перспективные оптоволоконные датчики и их применение (обзор)
- 7 Wu T. et al. Recent progress of fiber-optic sensors for the structural health monitoring of civil infrastructure //Sensors. – 2020
- 8 Soman R., Wee J., Peters K. Optical fiber sensors for ultrasonic structural health monitoring: A review //Sensors. – 2021.
- 9 Bado M. F., Casas J. R. A review of recent distributed optical fiber sensors applications for civil engineering structural health monitoring //Sensors. – 2021.
- 10 Wang H. et al. Fiber optic sensing technology and vision sensing technology for structural health monitoring //Sensors. – 2023
- 11 Zhou B. et al. Multi-microgrid energy management systems: Architecture, communication, and scheduling strategies //Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. – 2021.
- 12 Jia J., Li Y. Deep learning for structural health monitoring: Data, algorithms, applications, challenges, and trends //Sensors. – 2023.
- 13 Li T. et al. Recent Progress in Fiber Optic Acoustic Sensor and Its Applications: A Review //IEEE Sensors Journal. – 2024.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Мергенбай Мейрамбек Нұрғалиұлы

6B06201 – Телекоммуникациялар

Тақырыбына: «Оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару»

Орындалды:

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

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару жолдары ұсынылды. Жұмыста нақты техникалық параметрлерге сүйене отырып, практикалық есептеулер мен теориялық талдаулар жүргізілді.

Бұл жұмыста оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқарудың теориялық негіздері зерттеліп, олардың функционалдық мүмкіндіктері талданды және тәжірибелік модель құрылды. Сонымен қатар, Python бағдарламасында алынған деректерді өңдеу және визуализациялау арқылы сенсорлардың тиімділігін бағаланды.

Сонымен қатар оларды одан әрі пайдалану және жетілдіру бойынша практикалық ұсыныстар беру. Дипломдық жұмыста сенсорлар есептеулерін, құрылымы сызбасында студент өз тарапынан қандай жақсартулар енгізуі мүмкіндігін көрсете алмаған. 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 – жарық диодтарын тиімді пайдаланудағы бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

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

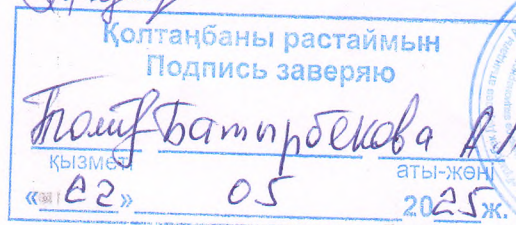
Рецензент:

Физ.-мат.ғыл.канд., Ғ.Дәукеев ат.

АЭЖБУ профессор-оқытушысы

«20» 05 2025 ж.

М.А.Хизирова



ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Мергенбай Мейрамбек Нұрғалиұлы

6B06201 – Телекоммуникациялар оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару»

Бұл дипломдық жұмыста жел генераторын талдау, пайдаланудың негізгі талаптары, және генераторлардың негізгі сипаттамасы және болашақ ықтимал болатын түрлері келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Оптикалық талшықтық сенсорлар технологиясының теориялық негіздерін зерттеу» тақырыбы қарастырылды. Салыстырмалы талдау жүргізілді, сонымен қатар оптикалық талшықтық сенсорлар технологиясының теориялық негіздері зерттелді. Сондай-ақ, Сенсорлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және тәжірибелерді арттыруға болатын нұсқалар ұсынылды.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

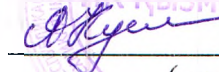
OTDR көмегімен ақаудың орнын анықтау, байланыс жүйелеріндегі оптикалық сенсорларды, компоненттері, заманауи аспаптарды көрсету өте орынды.

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

Ғылыми жетекші

ЭТ және FT каф.

Қауымдастырылған профессоры,
экономика ғылымдарының кандидаты

 Куттыбаева А.Е.
(қолы)

«20» мамыр 2025 ж.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мергенбай Мейрамбек Нұрғалиұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару

Научный руководитель: Айнур Куттыбаева

Коэффициент Подобия 1: 8.8

Коэффициент Подобия 2: 4.2

Микропробелы: 11

Знаки из других алфавитов: 3

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



**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: Мергенбай Мейрамбек Нұрғалиұлы

Тақырыбы: Оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару

Жетекшісі: Айнур Куттыбаева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 8.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.2

Дәйексөз (35): 1.6

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 11

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: Мергенбай Мейрамбек Нұрғалиұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оптикалық талшықтық сенсорларды қолдану арқылы байланыс жүйелерін басқару

Научный руководитель: Айнур Куттыбаева

Коэффициент Подобия 1: 8.8

Коэффициент Подобия 2: 4.2

Микропробелы: 11

Знаки из здругих алфавитов: 3

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 Марксұлы

проверяющий эксперт