

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Махатов Ыдырыс Қайратұлы

«Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған Брэгг
торларының дамуы және сипаттамалары»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
ЭТЖҒТ кафедра меңгерушісі
техн.ғыл.кан
Е.Таштай
« 13 » 05 2024 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған
Брегг торларының дамуы және сипаттамалары»

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Орындаған:

Handwritten signature

Ы.Қ. Махатов

Підприємство

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Алматы университеті
кауымдастырылған профессор PhD
А.Ж. Сағындықова
« 05 » 05 2024 ж.



Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ профессоры PhD

Handwritten signature Н.К.Смайлов
« 30 » 05 2024 ж.

Алматы 2024

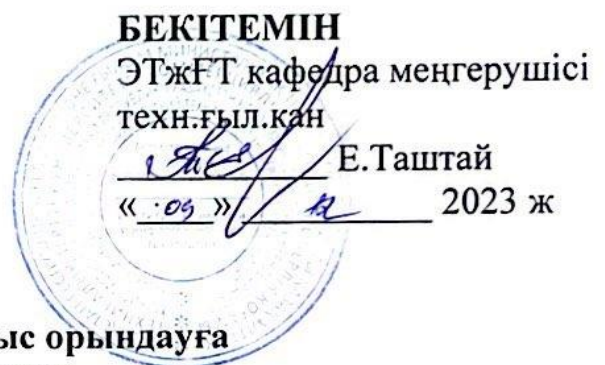
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
коммерциялық емес акционерлік қоғам

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering



**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Махатов Ыдырыс Қайратұлы

Тақырыбы: «Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған
Брэгг торларының дамуы және сипаттамалары».

Университет ректорының « 4 » желтоқсан 2023ж. №548 П/Ө бұйрығымен
бекітілген





Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі « 30 » сәуір 2024ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: 1. МЕМСТ 7601-78 Физикалық оптика
жүйелері.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Нақты жұмыс жағдайында бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларының өнімділігін әзірлеу және бағалау.
- б) ТОС параметрлерін оңтайландыру үшін инженерлік құралдарды пайдаланып модельдеу жасау, соның ішінде Брэгг торының ұзындығы, талшық түрі, сезімталдық деңгейі және т.б.
- в) Бетон деформациясын бақылау талаптарын, құрылымдық сипаттамалар мен жұмыс жағдайларын ескере отырып, талшықты-оптикалық Брэгг торлы сенсорларының тұжырымдамасын жасау.
- г) ТОС өнімділігі туралы есепті құрау, оларды пайдалану және жақсарту бойынша ұсыныстар беру.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Нақты жұмыс жағдайында бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларының өнімділігін әзірлеу және бағалау	07.02.2024	
ТОС параметрлерін оңтайландыру үшін инженерлік құралдарды пайдаланып модельдеу жасау, соның ішінде Брэгг торының ұзындығы, талшық түрі, сезімталдық деңгейі және т.б.	24.03.2024	
Бетон деформациясын бақылау талаптарын, құрылымдық сипаттамалар мен жұмыс жағдайларын ескере отырып, талшықты-оптикалық Брэгг торлы сенсорларының тұжырымдамасын жасау	20.04.2024	
ТОС өнімділігі туралы есепті құрау, оларды пайдалану және жақсарту бойынша ұсыныстар беру	26.04.2024	



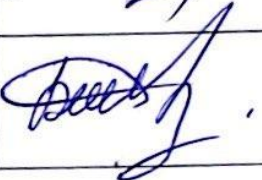
Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:


- Free Space Optical Communication (System Design, Modeling, Characterization and Dealing with Turbulence). cover:10.1515 / 97, year: 2015
- Wireless Optical Link Budget. M.Sc. Vladimir Fadeev, M.Sc. Zlata Fadeeva. Kazan, 2019
- T. H. C. d. Barros, H. P. Alves, R. E. d. Araujo and J. F. M. Filho, "Computational Modeling of D-shaped Optical Fiber Nitrate and Sulfate Sensor," 2022 SBFoton International Optics and Photonics Conference (SBFoton IOPC), Recife, Brazil, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/SBFotonIOPC54450.2022.9993065.
- Kumar, "Design and Modal Analysis of Optical Fibers with Multiple Cores and Multiple Cladding Fiber," 2022 IEEE 2nd International Conference on Mobile Networks and Wireless Communications (ICMNWC), Tumkur, Karnataka, India, 2022, pp. 1-5, doi:10.1109/ICMNWC56175.2022.10031958
- P. X. Neto, A. C. Carneiro, A. P. López-Barbero, V. N. H. Silva, R. M. Ribeiro and A. B. dos Santos, "A Mathematical Model for the Interrogation of LPG Fiber Optical Sensors Based on Electrical Harmonic Analysis," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 8, pp. 4237-4244, 15 April 2020, doi: 10.1109/JSEN.2019.2963275.
- M. A. Urakseev, K. V. Vazhdaev and A. R. Sagadeev, "Fiber-Optical Sensor with an Acousto-Optical Filter for Monitoring the Status of Overhead Power Lines," 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Chelyabinsk, Russia, 2019, pp. 97-101, doi: 10.1109/URALCON.2019.8877632.
- M. A. Kamizi, D. Lugarini, R. Fuser, L. H. Negri, J. L. Fabris and M. Muller, "Multiplexing Optical Fiber Macro-Bend Load Sensors," in Journal of Lightwave Technology, vol. 37, no. 18, pp. 4858-4863, 15 Sept. 2019, doi: 10.1109/JLT.2019.2924142.

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

Қолтаңбалар

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Ғылыми жетекші ЭТЖҒТ каф. профессоры, PhD Н.К.Смайлов	10.12.2023	
Теориялық ақпарат	Ғылыми жетекші ЭТЖҒТ каф. профессоры, PhD Н.К.Смайлов	16.03.2024	
Норма бақылау	ЭТЖҒТ каф. оқытушысы, П. Ақылжан	30.05.2024	

Ғылыми жетекші  Н.К.Смайлов
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Ы.К. Махатов
(қолы)

Күні « 31 » 05 2024 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларының дамуы мен өнімділігін талдауды қарастырады. Температураны өтеуге және деректерді өңдеу алгоритмдеріне ерекше назар аударылады, бұл деформацияны өлшеудің дәлдігін жақсартады. Олардың ықшам өлшемі және көп нүктелі өлшеу мүмкіндіктері оларды үлкен учаскелерді бақылау үшін үнемді шешімге айналдырады. Жұмыс Брэгг торлары бар сенсорлары практикалық қолдану бойынша ұсыныстармен аяқталады, оның ішінде орнату және техникалық қызмет көрсету стандарттарын әзірлеу, сондай-ақ деректерді талдау және интерпретациялау жүйелерді пайдалану. Бұл зерттеу құрылыс индустриясы үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын бетон конструкцияларының қауіпсіздігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ету үшін Брэгг торларын пайдаланудың маңызды әлеуетін көрсетеді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматриваются разработка и анализ характеристик решеток Брэгга для мониторинга деформации бетонных конструкций. Особое внимание уделено температурной компенсации и алгоритмам обработки данных, повышающим точность измерений деформации. Их компактный размер и возможности многоточечного измерения делают их экономичным решением для мониторинга больших площадей. В заключении статьи приводятся рекомендации по практическому применению датчиков на решетках Брэгга, включая разработку стандартов установки и обслуживания, а также использование систем анализа и интерпретации данных. Данное исследование показывает значительный потенциал использования решеток Брэгга для обеспечения безопасности и долговечности бетонных конструкций, открывая новые возможности для строительной отрасли.

ANNOTATION

This thesis examines the development and performance analysis of Bragg gratings for deformation monitoring of concrete structures. Special attention is paid to temperature compensation and data processing algorithms, which improve the accuracy of strain measurements. Their compact size and multi-point measurement capabilities make them a cost-effective solution for monitoring large areas. The paper concludes with recommendations for the practical application of Bragg grating sensors, including the development of installation and maintenance standards, as well as the use of data analysis and interpretation systems.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Оптикалық байланыстың дамуы	10
1.1 Оптикалық талшықтың түрлері және сенсорлар	11
1.2 Брэгг торларының жұмыс принципі	14
1.3 Брэгг торларын қалыптастыру технологиялары	16
1.4 Брэгг торларының сипаттамалары	18
2. Нақты жұмыс жағдайларындағы тиімділік	20
2.1 Бетон конструкцияларындағы деформацияларды бақылау қажеттілігі	21
3 Бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларын қолдану мүмкіндіктері	23
3.1 Брэгг торларын қолданудың артықшылықтары мен шектеулері	24
3.2 Деформацияны бақылауда Брэгг торларын қолдану	25
3.3 Бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін нақты жобаларда Брэгг торларын қолдану тәжірибесі	26
4 Зерттеу және практикалық қолдану бойынша ұсыныстар	30
Қорытынды	31
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	32

КІРІСПЕ

Оптикалық талшық - бұл оның құрылымы бойынша жарықты бағыттай алатын материал. Сигналдарды талшық арқылы беру кезінде оның қасиеттері бүкіл ұзындығы бойынша тұрақты болып қалады. Сыну көрсеткішін өзгерту арқылы талшықтың шектеулі бөлігіндегі белгілі бір қасиеттерді өзгерту Брэгг торы деп аталатын сенсорға әкеледі. Бұл сенсор механикалық кернеуге сезімтал және талшық құрылымындағы кернеуді өлшей алады. Соңғы жылдары полимерлі оптикалық талшықтар азаматтық авиацияда, құрылымдық денсаулық мониторингінде, денсаулық сақтауда және биомедицинада қолдануды тапты. Брэгг торларын күйдіру процесі арқылы термомеханикалық сенсорлар ретінде пайдалануға болады, бұл қалдық қос сынуды азырақ азайтады. Фабри-Перо интерферометрінің микроқуыстары негізінде талшықты-оптикалық салыстырмалы ылғалдылық сенсорларын өндіру үшін тиімді шешім ұсынылған. Полимерлі оптикалық талшықтарды кварц аналогтарымен салыстырғанда температура мен қысымға сезімтал Брэгг торлары ретінде пайдалану мүмкіндіктері де зерттелуде. Химияда талшықты Брэгг торлары әртүрлі анион концентрацияларын жеке анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін. Кварц Брэгг торларын фотоникалық қолданбалар үшін оптикалық сүзгілер мен резонаторларда қолдануға болады.

Талшықты-оптикалық технология саласындағы ілгерілеу осы технологияны әртүрлі салаларда қолдану үшін кең перспективалар ашады. Оптикалық талшықтар өздерінің физикалық сипаттамаларына байланысты мыс кабельдерге тән кемшіліктерден босатылады. Оптикалық талшықтардың маңызды қолданбаларының бірі өлшеу болып табылады. Температураны өлшеу үшін Брэгг торларын пайдалануды қоса алғанда, торларға арналған ықтимал қосымшалар әлі де әзірленуде. Дегенмен, барлық тапсырмалар үшін жарамды талшықты-оптикалық Брэгг массивінің идеалды әмбебап үлгісі әлі жоқ. Брэгг торлары хроматикалық дисперсияны өтеу үшін талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде қолданылады және Брэгг тор массивтеріне негізделген талшықты-оптикалық өлшеу жүйелерінің сезімтал элементтерінде сәтті қолданылуы мүмкін.

Брэгг торлары арнайы оптикалық талшықтың өзегіндегі сыну көрсеткішін дәйекті өзгерту арқылы қалыптасады. Бұл процесс ультракүлгін сәулелер сияқты қарқынды кедергі әдісін қолдана отырып жүзеге асырылады. Әдісті таңдау тордың нақты түріне байланысты. Бұл мақсатта негізінен кремний диоксиді мен германий бар оптикалық талшық қолданылады, өйткені ол фотосезімтал. Бұл ультракүлгін сәулелену әсерінен талшық өзегінің сыну көрсеткіші өзгеретінін білдіреді. Маңызды фактор - әсер етудің қарқындылығы мен ұзақтығы, сондай-ақ талшықтың фотосезімталдығы. Жоғары сыну көрсеткіштері бар Брэгг торларын жасау үшін жарық қарқындылығының жоғары деңгейі қажет.

1 Оптикалық байланыстың дамуы

Оптикалық байланыс – оптикалық талшықтар арқылы жарық сигналдарын пайдалана отырып ақпаратты беру технологиясы. Ол мыс кабельдер сияқты дәстүрлі байланыс құралдарымен салыстырғанда жоғары жылдамдық пен үлкен сыйымдылықты қамтамасыз ететін деректерді беру саласындағы елеулі серпіліс болып табылады.

Оптикалық байланыстың тарихы бірнеше ондаған жылдарға созылады. Бұл саладағы алғашқы тәжірибелер ХХ-ғасырдың ортасында жүргізілді, содан бері технология айтарлықтай дамудан өтті. Ең маңызды сәттердің бірі жарық сигналдарын ұзақ қашықтыққа минималды жоғалтумен беруге қабілетті талшықты-оптикалық кабельдерді құру болды.

Технологияның дамуымен оптикалық байланыс компоненттері мен құрылғыларында айтарлықтай жақсартулар болды. Бұл неғұрлым тиімді жарық көздерін, сигнал күшейткіштерін, оптикалық модуляторларды және қабылдағыштарды әзірлеуді қамтиды. Мұндай технологиялық жаңалықтар оптикалық желілердің өткізу қабілеті мен өткізу ауқымын айтарлықтай арттырды.

Оптикалық байланыстар әртүрлі салаларда, соның ішінде телекоммуникация, медицина, ғылым және өндірісте кеңінен қолданылады. Ол бүкіл әлем бойынша сенімді деректерді беруді қамтамасыз ететін заманауи ақпараттық инфрақұрылымның ажырамас бөлігіне айналды.

Елеулі жетістіктерге қарамастан, оптикалық байланыс тиімділікті арттыру, шығындарды азайту және сенімділікті арттыру қажеттілігі сияқты қиындықтарға тап болады. Бұл технологияның одан әрі дамуы оның сипаттамаларын жақсартудың жаңа әдістерін іздеумен және оны өмірдің әртүрлі салаларында қолдануды кеңейтумен байланысты [1].

Оптикалық байланысты одан әрі дамыту оның деректерді одан да жоғары жылдамдықпен және аз кідіріспен берудегі мүмкіндіктерін жақсартуға бағытталатын болады. Бұл жаңа оптикалық талшықты материалдарды пайдалануды, анағұрлым тиімді компоненттер мен құрылғыларды әзірлеуді, басқару мен сигналдарды өңдеудің инновациялық әдістерін құруды қамтуы мүмкін.

Дамудың негізгі бағыттарының бірі – бұлттар, заттар интернеті (IoT) және мобильді қосымшалар сияқты әртүрлі технологияларды пайдалану кезінде жоғары өткізу қабілеттілігін және сенімді деректерді беруді қамтамасыз етуге қабілетті жаңа буын оптикалық желілерін дамыту.

Оптикалық желілерді кибершабуылдардан және басқа қауіптерден қорғау және қорғау әдістерін әзірлеу де маңызды аспект болады. Бұл жаңа криптографиялық хаттамалар мен алгоритмдерді құруды, сондай-ақ желілерге шабуылдарды анықтау және алдын алу әдістерін жетілдіруді қамтиды.

Тұтастай алғанда, оптикалық байланысты одан әрі дамыту қазіргі әлемдегі деректерді берудің өсіп келе жатқан қажеттіліктерін қанағаттандыра алатын

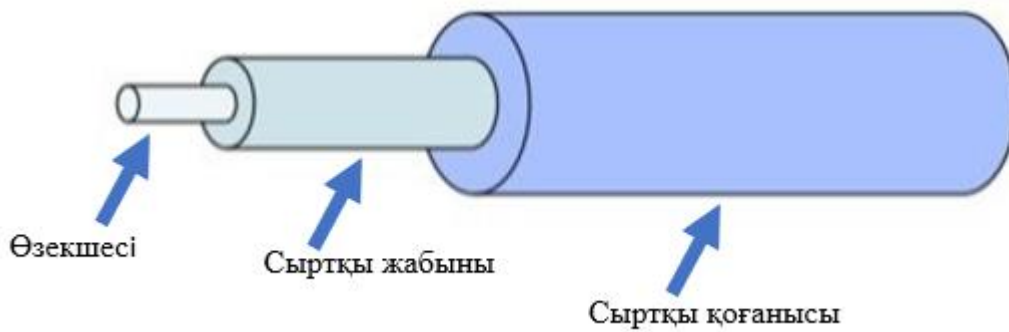
тиімдірек, жылдамырақ, сенімді және қауіпсіз желілерді құруға бағытталатын болады.

Оптикалық коммуникациялар жаңа мүмкіндіктер мен қолданбаларды жасау үшін жасанды интеллект, блокчейн және кванттық есептеулер сияқты басқа озық технологиялармен біріктіре алады. Сонымен қатар радиожилік желілер немесе спутниктік желілер сияқты оптикалық және басқа байланыс түрлерін біріктіретін гибридік желілер кеңірек қамтуды және байланыс сенімділігін арттыруды қамтамасыз ете алады. 5G және желілердің болашақ ұрпақтары сияқты мобильді желілерде пайдалануға арналған оптикалық технологияларды дамыту ұялы байланыс пайдаланушылары үшін байланыс сыйымдылығы мен тұрақтылығын арттыруы саласында да дамуы мүмкін. Оптикалық материалдарды зерттеу оптикалық желілердің өнімділігі мен тиімділігін арттыратын оптикалық талшықтардың, оптикалық құрылғылардың және компоненттердің жаңа түрлеріне әкелуі мүмкін. Тағы бір қоса кетер болсақ оптикалық жабдық пен инфрақұрылымға арналған экологиялық тұрақты өндіріс әдістерін дамыту қоршаған ортаға жағымсыз әсерлерді азайтуға және оптикалық байланысты ұзақ мерзімді перспективада тұрақты және тиімді етуге көмектеседі.

Бұл тек даму салары мен қоймай оптикалық желінің бір қатар кемшіліктерін айта кетсек жаңбыр, шаң, қар, тұман және бұлт сияқты атмосфералық жағдайлар оптикалық байланыс арқылы деректерді берудің көрінуін және сапасын айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Бұл факторлар лазерлік байланыстың сенімді жұмысына жер атмосферасында кедергі жасайды [2].

1.1 Оптикалық талшықтың түрлері және сенсорлар

Талшықты-оптикалық технологияға негізделген байланыс желілері ақпаратты арнайы оптикалық толқын өткізгіштер арқылы береді. Оларда 30-40 Гбит/с дейінгі деректерді берудің жоғары жылдамдығы және сигналдың минималды жоғалуы бар. Мұндай байланыс желілерінің негізі - арнайы жабынмен оқшауланған өткізгіштерді қамтитын талшықты-оптикалық кабель. Талшықты-оптикалық кабельдің негізгі айырмашылығы - ол электрондарды пайдаланатын мыс өткізгіштерге қарағанда, деректерді беру үшін фотондарды пайдаланады. Оптикалық сәулеленудің толқын ұзындығы 100 нм-ден 1 мм-ге дейін болады, бірақ талшықты-оптикалық байланыс желілері үшін негізінен көрінетін (380–760 нм) және жақын инфрақызыл (760 – 1550нм) диапазондар қолданылады [3].



1.1-сурет – Талшықты-оптикалық байланыс сымының ішкі құрылымы

Оптикалық талшықтар оларда тарала алатын режимдер санына байланысты жіктеледі. Бір режимді талшық бір ғана жарық сигналын тасымалдауға қабілетті, ал мультимодалық талшық бірнеше осындай сигналдарды тасымалдауға қабілетті. Оптикалық талшықта таралатын кеңістіктік режимдердің саны оның өзегінің диаметріне байланысты: 9 микрометр (бірмодалы талшық үшін) немесе 50/62,5 микрометр (көпмодалы талшық үшін), сонымен қатар қаптаманың және сыну сипаттамаларының индекс болып табылады.

Оптикалық талшықтар 2 типке бөлінеді:

Бірмодалы оптикалық талшық

Мультимодалы (көпмодалы) оптикалық талшық



1.2-сурет – Талшықты-оптикалық байланыс сымының ішкі құрылымы

Оптикалық талшықтардың түрлері және олардың заманауи технологияларда қолданылуы.

Оптикалық талшық қазіргі заманғы деректерді беру технологияларының маңызды құрамдас бөлігі болып табылады [4]. Түрлі түрлері мен сипаттамалары оны әртүрлі салаларда қолдануға мүмкіндік береді: телекоммуникациядан

ғылыми зерттеулерге дейін. Оптикалық талшықтардың негізгі түрлері және олардың заманауи технологияларда қолданылуы қарастырылады.

Көпмодалы оптикалық талшық жарықтың бірнеше режимдерінің бір уақытта таралуына мүмкіндік береді. Бұл бір режимді оптикалық талшықпен салыстырғанда жоғары өткізу қабілеттілігін және ұзақ төзімділікті қамтамасыз етеді. Көпмодалы талшықтар жергілікті желілерде және үйді автоматтандыру жүйелерінде жиі қолданылады.

Бірмодалы оптикалық талшық бір режимді оптикалық талшық жарықтың тек бір режимін таратуға мүмкіндік береді. Бұл ұзақ қашықтықтарда жоғары деректер жылдамдығын және аз кедергілерді қамтамасыз етеді. Бір режимді оптикалық талшық телекоммуникация желілерінде және байланыс жүйелерінде сигналдарды ұзақ қашықтыққа жіберу үшін кеңінен қолданылады.

Поляризацияға тәуелді оптикалық талшық анизотропты қасиеттерге ие, бұл оны белгілі бір поляризациямен жарықты өткізу үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Ол жарықтың поляризациясын өлшеу үшін лазерлік жүйелерде және сенсорлық құрылғыларда қолданылады. Фотонды кристалды оптикалық талшық фотонды диапазондар сияқты арнайы оптикалық әсерлерді жасауға мүмкіндік беретін ерекше кристалдық құрылымға ие. Ол оптикалық құрылғыларда және кванттық есептеулерде кеңінен қолданылады [5-6].

Сенсорлар оптикалық талшықтарды қолдану бойынша Брэгг торлары оптикалық талшықтағы сыну көрсеткішінің мерзімді өзгерістерін білдіреді. Олар деформацияны, температураны және қоршаған ортаның басқа параметрлерін өлшеу үшін сенсорларда қолданылады. Сондай-ақ Майкельсон интерферометрлері талшықтың оптикалық жолындағы шағын өзгерістерді өлшеу үшін пайдаланылады, бұл қысымды, кернеуді және басқа параметрлерді өлшеу үшін жоғары сезімтал сенсорларды жасауға мүмкіндік береді.



1.3-сурет – Оптикалық сенсорлар

Оптикалық сенсорлардың жұмысы полиэтилен ораммен қапталған және полимерлі қабықпен қорғалған жіп тәрізді өзектен тұратын оптикалық талшықтың қасиеттеріне негізделген. Өзекте жарықтың сынуын жақсартатын арнайы қоспалар бар. Орам жарық ағыны үшін өткізгіш ретінде қызмет етеді. Оптикалық талшық екі функцияны орындайды: сезімталдық элементі ретінде және сигнал беру арнасы ретінде. Ең танымал оптикалық түрлендіргіші бар

сенсорлар, мұнда сезімтал оптикалық элемент, қабылдағыш және эмитент қабылдау және жіберуші талшықтар арасында орналасқан, ал жарық диодты жарық көзі ретінде әрекет етеді. Анықтау үшін сезімталдығы жоғары рп фотодиод қолданылады. Оптикалық зонд сенсорлары жарық көзі ретінде қызмет ететін жарық диодтары немесе лазерлері бар бір режимді немесе көп режимді талшықты-оптикалық кабельдерді немесе дестелерді пайдаланады. Бұл сенсорлар өте сенімді, сезімтал және дәл.

Конфигурацияға қарамастан, талшықты-оптикалық сенсорлар бірдей принцип бойынша жұмыс істейді, ол оптикалық талшық арқылы жарық толқынының қозғалысына негізделген. Сыртқы факторлардың әсерінен талшықтың параметрлері өзгереді, ал талшықты Брэгг торлары анықтау модульдерінің көмегімен бұл өзгерістерді тіркейді.

Талшықты-оптикалық сенсорлар екі негізгі санатқа тұрады. Сигналды бөлу бойынша мұндай сенсорларда сезгіш элемент тұтас талшықты-оптикалық кабель болып табылады [7]. Жарық ол арқылы өткенде, жарық шашыраңқы болып, бүкіл талшықты-оптикалық арна бойымен температураны өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл құрылғылар көбінесе температураны бақылау үшін қолданылады.

Сигналды дәл бөлу мұндай сенсорларда сезімтал элементтер жеке селективті рефлекторлар болып табылады. Кең жолақты эмитент шығаратын жарық тар жолақ түрінде көрінеді, ал қалған жарық оптикалық талшық арқылы өтеді. Бұл бірнеше контроллерлерге және дәл сигналды жіберуге мүмкіндік береді. Мұндай сенсорлар таратылған датчиктермен салыстырғанда қолдану аясы кеңірек.

Акустикалық сенсорлар дәл осылай жұмыс істейді, оптикалық талшық арқылы өтетін талшықтың пульсациясын анықтайды, бұл дыбыс толқындары мен олардың көздерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл құрылғылар рұқсатсыз кіру әрекеттерін анықтау үшін қол жеткізуді басқару жүйелерінде қолданылады [8].

1.2 Брэгг торларының жұмыс принципі

Брэгг торлары - талшықты-оптикалық байланыс жүйелерін, лазерлік технологияларды және сезгіш қолданбаларды қоса алғанда, әртүрлі салаларда кеңінен қолданылатын оптикалық компоненттер. Олар температура, деформация, қысым және т.б. сияқты әртүрлі параметрлерді өлшейтін датчиктер жасау үшін қолданылады. Брэгг торларының жұмыс принципі жарық дифракциясының оптикалық талшықтағы сыну көрсеткішінің мерзімді модуляцияларына әсер етуіне негізделген.

Оптикалық талшықтағы Брэгг торлары әдетте оптикалық талшықтың сыну көрсеткішіне мерзімді өзгерістер енгізу арқылы жасалады. Бұған әртүрлі жолдармен қол жеткізуге болады, бірақ ең көп таралған әдіс - талшық өзегіндегі мерзімді модуляцияларды үшін ультракүлгін лазерді пайдаланады.

Жарық оптикалық талшықты Брэгг торынан өткенде сыну көрсеткішінің мерзімді модуляциясымен әрекеттеседі және дифракция құбылысын бастан кешіреді. Бұл жарықтың белгілі бір бөлігінің оның көзіне кері шағылысуын тудырады. Бұл шағылған жарық Брэгг торының әртүрлі бөліктерінен шағылған толқындардың интерференциясы нәтижесінде пайда болады.

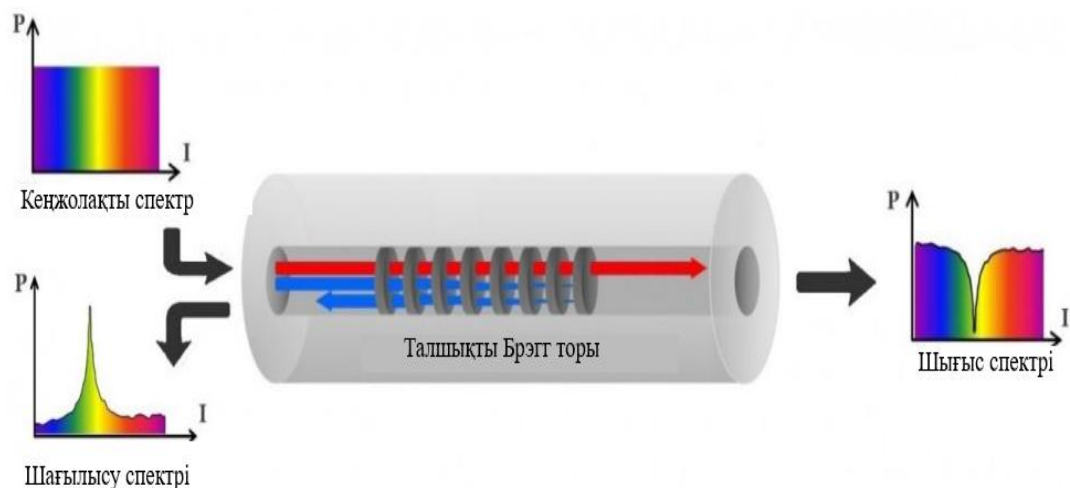
Тиімді Брэгг торын жасау үшін жарықтың максималды шағылысу тиімділігін қамтамасыз ету үшін сыну көрсеткішіндегі мерзімді өзгерістердің периоды мен амплитудасы сияқты модуляция параметрлерін дұрыс таңдау маңызды. Бұл параметрлерді сенсорлар мен талшықты-оптикалық байланыс жүйелерін қоса, нақты қолданбалар үшін оңтайландыруға болады.

Брэгг торларының негізгі артықшылықтарының бірі оптикалық талшықтағы өзгермелі жағдайларға байланысты әртүрлі параметрлерді өлшеу мүмкіндігі болып табылады. Мысалы, сезгіш қолданбалар температураның немесе деформацияның өзгеруін Брэгг торының сипаттамаларын өзгерту және сәйкес параметрлерді анықтау үшін пайдалана алады. Бұл Брэгг торын нақты уақытта әртүрлі процестерді бақылау және басқару үшін маңызды құрал етеді.

Брэгг торларының тағы бір артықшылығы - олардың жинақылығы және қоршаған ортаға ең аз әсер етуі. Оларды талшықты-оптикалық кабельдерге немесе басқа оптикалық құрылғыларға оңай біріктіруге болады, бұл жүйе өлшемін немесе күрделілігін айтарлықтай арттырмай дәл өлшеулерді қамтамасыз етеді. Сондай-ақ Брэгг торларын пайдалану бірқатар шектеулерге ие. Олардың бірі желі тиімділігінің температура мен ылғалдылық сияқты қоршаған орта жағдайларына тәуелділігі. Бұл параметрлерді өзгерту Брэгг торының өнімділігіне, демек, өлшемдердің дәлдігіне әсер етуі мүмкін [9].

Сонымен қатар, Брэгг торларын жасау процесі мамандандырылған жабдық пен тәжірибелі техниктерді қажет етеді, бұл оларды қымбат және өндіруді қиындатуы мүмкін. Дегенмен, заманауи технологиялар мен өндіріс әдістері шығындарды азайтты және Брэгг торларын жасау процесін жеңілдетіп, оларды кең ауқымды қосымшалар үшін қол жетімді етті.

Жалпы, Брэгг торлары әртүрлі технологиялар мен салаларда кеңінен қолданылатын оптикалық компоненттердің маңызды класы болып табылады. Олардың көп өлшемді мүмкіндіктері мен ықшам өлшемі оларды жоғары дәлдік пен сенімділік қажет болатын көптеген қолданбалар үшін тамаша таңдау жасайды.

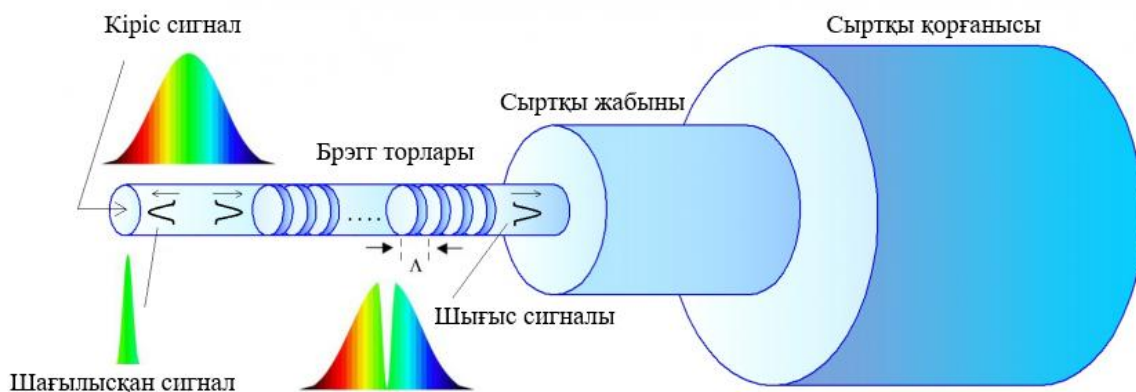


1.4-сурет – Талшықты Брэгг торының құрылымдық сипатты

Брэгг торының сигналдың шағылысып келу принципі бойынша келесідей формуламен қорытындалауға болады:

$$\lambda = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1.1)$$

мұндағы, Λ – тордың периоды;
 λ – толқын ұзындығы;
 n_{eff} – жарықтың идеалды сынуы.



1.5-сурет – Талшықты Брэгг торының кабельдегі құрылымы

1.3 Брэгг торларын қалыптастыру технологиялары

Брэгг тор технологиялары оптикалық құрылғылар мен сенсорларды жасауда шешуші рөл атқарады. Брэгг торлары - жарықтың белгілі бір толқын ұзындығын көрсетуге қабілетті оптикалық талшықтардағы мерзімді құрылымдар

[10]. Бұл құрылымдар әртүрлі әдістерді қолдану арқылы қалыптасады, олардың әрқайсысының өзіндік сипаттамалары мен артықшылықтары бар.

Брэгг торларын құрудың ең кең таралған әдістерінің бірі фотоиндукция әдісі болып табылады. Ол оптикалық талшықтағы сыну көрсеткішінде мерзімді өзгерістер жасау үшін ультракүлгін (УК) лазерді қолдануға негізделген. Бұл әдіс торды қалыптастыру процесінің жоғары дәлдігі мен басқарылуын қамтамасыз етеді, бұл оны өнеркәсіптік қолдану үшін өте тиімді етеді. Тағы бір кең таралған әдіс - ультракүлгін лазерді және жасырын әдісін қолдану арқылы Брэгг торларын жазу әдісі бұл белгілі бір аумақтарды қоспағанда, жарық сәулеленуін бұғаттайтын оптикалық талшықта жасырын әдісін қалыптастырады. Содан кейін ультракүлгін лазер осы аймақтардағы сыну көрсеткішінде мерзімді өзгерістерді жасайды, нәтижесінде Брэгг торы пайда болады. Бұл әдіс процестің жақсы басқарылуын қамтамасыз етеді және әртүрлі сипаттамалары бар торларды жасауға мүмкіндік береді.

Брэгг торларын қалыптастырудың тағы бір әдісі - фемтосекундтық лазерлерді қолданатын тор жазу әдісі. Бұл әдіс оптикалық талшықта өте нәзік және дәл мерзімді өзгерістерді жасай алатын жарықтың қысқа импульстарын қолдануға негізделген [11]. Бұл оны әртүрлі қолданбалар үшін жоғары тиімді және дәл Брэгг торларын жасауға қолайлы етеді.

Бұдан басқа, механикалық кесу және гравюра әдістері, химиялық ою және термиялық өңдеу сияқты Брэгг торларын қалыптастырудың басқа әдістері бар. Барлық осы әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері бар және оларды нақты талаптар мен өндіріс жағдайларына байланысты қолдануға болады. Осы әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері қарастыратын болсақ:

Фотоиндукция әдісінің артықшылықтары:

- Торды қалыптастыру процесінің жоғары дәлдігі мен басқарылуы.
- Жоғары қайталанатын параметрлері бар торларды құру мүмкіндігі.
- Периодты, амплитуданы және ұзындықты қоса алғанда, тор сипаттамаларының кең ауқымы.

- Процестің тиімділігі мен жоғары өнімділігі.

Фотоиндукция әдісінің кемшіліктері:

- Ультракүлгін лазерді пайдалануды талап етеді, бұл қымбат болуы мүмкін.

- Сыну көрсеткішінің өте жоғары амплитудалық өзгерістері бар торларды құру мүмкіндігіндегі шектеулер.

Жасырын хэш белгілерін жазу әдісінің артықшылықтары:

- Масканы қолданудың арқасында процесті жақсы бақылау.
- Пішіні мен кезеңін қоса алғанда, әртүрлі сипаттамалары бар торларды құру мүмкіндігі.

- Торды қалыптастыру процесінің тиімділігі және салыстырмалы қарапайымдылығы.

Жасырын хэш белгілерін жазу әдісінің кемшіліктері:

- Сыну көрсеткішінің жоғары амплитудалық өзгерістері бар торларды құру мүмкіндігіндегі шектеулер.

- Жасырын дәл туралауды талап етеді, бұл көп еңбекті қажет ететін және қымбат болуы мүмкін.

Фемтосекундтық лазерлерді қолдану арқылы торларды жазу әдісінің артықшылықтары:

- Қысқа жарық импульстарының арқасында жасалған торлардың жоғары дәлдігі мен рұқсаты.

- Сыну көрсеткішіндегі өзгерістердің өте жоғары амплитудасы бар торларды құру мүмкіндігі.

- Ең аз термиялық әсерлер және талшықтың деформациясы.

Фемтосекундтық лазерлерді қолдану арқылы торларды жазу әдісінің кемшіліктері:

- Арнайы жабдық қажет, соның ішінде фемтосекунд лазері қымбат болуы мүмкін.

- Үлкен өндіріс көлемі үшін процесті кеңейтудегі шектеулер.

Бұл әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері олардың нақты орындалуына байланысты, бірақ жалпы алғанда:

Артықшылықтары: жабдықтың салыстырмалы қарапайымдылығы және қолжетімділігі, талшықты-оптикалық материалдардың жекелеген түрлеріне пайдалану мүмкіндігі.

Кемшіліктері: процестің дәлдігі мен бақылауындағы шектеулер, сыну көрсеткішінің өзгерістерінің жоғары амплитудасы бар торларды құру мүмкін еместігі, алынған торлардың шектеулі сипаттамалары.

Тұтастай алғанда, Брэгг тор технологиялары оптикалық құрылғылар мен сенсорларды дамытуда маңызды рөл атқарады, тор процесінің жоғары дәлдігі мен басқарылуын қамтамасыз етеді және оптикалық байланыстар, зондтау, және басқа салаларда әртүрлі қолданбалар үшін жаңа мүмкіндіктер ашады[12].

1.4 Брэгг торларының сипаттамалары

Брэгг торларының сипаттамалары олардың белгілі бір ұзындықтағы оптикалық толқын ұзындығын сыну және көрсету қабілетін анықтайды. Брэгг торының маңызды сипаттамаларының бірі оның мерзімді құрылымы болып табылады. Период қайталанатын тор элементтері арасындағы қашықтықты білдіреді және дифракцияланатын немесе шағылысатын толқын ұзындығын анықтайды. Период неғұрлым қысқа болса, тор арқылы шағылысу немесе сынуы мүмкін толқын ұзындығы соғұрлым ұзақ болады. Бұл қасиет Брэгг торларын белгілі бір толқын ұзындығын көрсететін немесе беретін оптикалық сүзгілерді жасау үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Брэгг торының тағы бір маңызды сипаттамасы тор ішіндегі сыну көрсеткішінің немесе шағылысу коэффициентінің өзгеру амплитудасын анықтайтын модуляция коэффициенті болып табылады. Бұл параметр дифракция немесе шағылысу тиімділігіне әсер етеді және тор құрылымына немесе оның ортасына өзгерістер енгізу арқылы өзгертілуі мүмкін.

Тағы бір маңызды сипаттама тор арқылы шағылатын немесе сынатын толқын ұзындығының диапазонын анықтайтын жолақ саңылауы болып табылады. Жолақ кеңістігі неғұрлым үлкен болса, тор арқылы шағылысатын немесе берілуі мүмкін толқын ұзындығының диапазоны кеңірек болады. Бұл қасиет жоғары толқын ұзындығы селективті оптикалық сүзгілерді жасау үшін Брэгг торларын пайдалануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, геометриялық торға және оптикалық толқынның түсу бұрышына байланысты дифракция және шағылысу бұрыштары сияқты сипаттамаларды ескеру маңызды. Бұл параметрлер шағылысқан немесе дифракцияланған сәулеленудің бағыты мен қарқындылығын анықтайды және Брэгг торлы оптикалық құрылғыларының жұмысын оңтайландыру үшін реттеледі.

Брэгг торларының өнімділігін олардың период, модуляция коэффициенті, жолақ саңылауы және құрылым геометриясы сияқты параметрлерін өзгерту арқылы нақты қолданбалар үшін оңтайландыруға болатынын атап өту маңызды. Бұл оптикалық құрылғылар мен жүйелердің кең ауқымында қолданылуы мүмкін әртүрлі қасиеттері бар Брэгг торларын жасауға мүмкіндік береді [13].

Негізгі Брэгг торының сипаттамалары:

Орталық толқын ұзындығы - бұл Брэгг торының максималды шағылысу қабілеті бар толқын ұзындығы.

Өткізу қабілеттілігі - тор жарықты тиімді көрсете алатын толқын ұзындығының ауқымы. Бұл диапазоннан тыс жарық тор арқылы өтеді.

Шағылысу - орталық толқын ұзындығында шағылысқан жарықтың пайызы. Бұл мән өте жоғары болуы мүмкін, идеалды жағдайларда шамамен 100% жетеді.

Сыну көрсеткішінің ені - талшықтың сыну көрсеткіші өзгертін, шағылыстыру құрылымын жасайтын аймақтардың физикалық өлшемі.

Тордың ұзындығы - тор жасалған талшық қимасының жалпы ұзындығы. Тордың ұзындығы шағылысу және өткізу қабілетіне әсер етуі мүмкін.

Температуралық және механикалық тұрақтылық - температура мен механикалық әсерлердің өзгеруі кезінде тордың өз сипаттамаларын сақтау қабілеті.

Дисперсия - жарықтың толқын ұзындығына байланысты тор сипаттамаларының өзгеруі, ол тор арқылы сигнал беру жылдамдығына әсер етуі мүмкін.

Брэгг торлары температура мен қысымды өлшеу үшін)және лазерлік жүйелер мен зерттеу қолданбаларын қоса алғанда, әртүрлі салаларда қолданбаларды табады [14].

2 Нақты жұмыс жағдайларындағы тиімділік

Брэгг толқын ұзындығы деп аталатын белгілі бір толқын ұзындығының жарық айнасын жасайды. Шағылысқан жарық түскен жарыққа кедергі жасайды, белгілі бір толқын ұзындығын күшейтеді немесе әлсіретеді.

Талшықты-оптикалық байланыс желілерінде Брэгг торлары әртүрлі толқын ұзындығының сигналдарын бөлу және біріктіру үшін сүзгілер ретінде пайдаланылады. Бұл WDM (Wavelength Division Multiplexing) көмегімен желі сыйымдылығын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл қолданбаның тиімділігі сигналдардың өзара араласуынсыз бір талшық бойынша үлкен көлемдегі деректерді бір уақытта беру мүмкіндігімен расталады.

Брэгг торлары температураны, қысымды және басқа физикалық параметрлерді өлшеуге арналған сенсорлық жүйелерде кеңінен қолданылады. Температураның өзгеруі немесе талшықтың деформациясы сыну көрсеткішіне және сәйкесінше Брэгг толқын ұзындығына әсер етеді. Мұндай сенсорлар экстремалды жағдайларда, мысалы, мұнай-газ өнеркәсібінде жоғары дәлдік пен сенімділікті көрсетеді.

Лазерлік жүйелерде сәулеленудің толқын ұзындығын тұрақтандыру үшін Брэгг торларын қолдандық. Бұл лазерлік материалдарды өңдеу немесе дәл қолданбалар үшін өте маңызды лазер параметрінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Брэгг торларын пайдалану кезінде ескеру қажет кейбір мәселелер мен шектеулер бар оған температураның өзгеруі Брэгг толқын ұзындығының ығысуын тудыруы мүмкін, бұл кемшілік және артықшылық болуы мүмкін. Телекоммуникациялық қолданбалар үшін бұл арнайы өтемақы технологияларын қолдануды қажет ететін мәселе болуы екенін көрсетеді.

Механикалық кернеулер механикалық кернеуге төтеп беру үшін конструкцияларды қажет ететін желінің өнімділігіне де әсер етуі [15].

Брэгг торының дәлдігі оның жұмысы үшін өте маңызды. Өндіріс процесіндегі шағын вариациялар құрылғының жұмысына айтарлықтай әсер етеді.

Брэгг торының сигналдың шағылысып келу принципі бойынша (1.1) формулананы қорыта отырып біз талшықтағы Брэгг торының термооптикалық коэффициентін анықтап алу керек ол келесідей формуламен анықталады:

$$\alpha_n = \frac{1}{n_{eff}} \times \frac{\lambda n_{eff min}}{T}, \quad (1.2)$$

Тиімділікті арттыру мақсатында біз бірмодалы талшықты оптикалық байланыс желісін температуралық салыстыру барысында мынандай тұжырымға келсек болады келесідей формуламен қорытындыласақ:

$$\Delta T = T \times \frac{\alpha}{\alpha_{opt}} \times \Delta T_{сырт \ әсер}, \quad (1.3)$$

мұндағы T - тордың температураға сезімталдығы;

α - талшықты термооптикалық коэффициент;

$\alpha_{\text{опт}}$ - талшықтағы торды термооптикалық коэффициент;

$\Delta T_{\text{сырт әсер}}$ - сыртқы әсер температурасының өзгеруі.

Бізде бірмодалы кабельдің сипаттамасы бойынша T - тордың температураға сезімталдығы $= 10 \text{ пм}/^\circ \text{C}$ тең, талшықты термооптикалық коэффициент $\alpha = 0,55 \times 10^{-6}$ ал талшықтағы торды термооптикалық коэффициент $\alpha_{\text{опт}} = 8,6 \times 10^{-6}$ [16].

$$\Delta T = 10 \times \frac{0,55 \times 10^{-6}}{8,6 \times 10^{-6}} \times \Delta 38^\circ \text{C} \approx 23,3^\circ \text{C} \quad (1.4)$$

Брэгг шартын пайдалана отырып біз температуралық өзгерістерді бақылай отырып минималды орташа яғни температуралық мәні $23,3^\circ \text{C}$ тең болды.

Осы шартты пайдалана отырып бетонның деформациялық жағдайда тиімділігін Пуассон коэффициентін пайдаланамыз негізгі материалдың бетонның сырттан түскен күш кезінде созылу кезінде бойлық ұзындық артады, ал көлденең қимасы кезінде азаяды осы көлденең бағыттағы ұзындықта оптикалық кабелінің сезімталдық коэффициенті $S=0,1$ ал сыртқы әсердің көмегімен бойлық бойлық ұзындығы деформация $l = 0,5$ осыған сәйкес:

$$\vartheta = \frac{S}{l} \times 100\% = \frac{0,1}{0,5} \times 100\% = 20 \quad (1.4)$$

Нақты жұмыс жағдайында бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларының өнімділігін 20% -ға тең болды.

2.1 Бетон конструкцияларындағы деформацияларды бақылау қажеттілігі

Брэгг торлары бетон конструкцияларының күйін бақылауда маңызды рөл атқарады, әсіресе дәстүрлі өлшеу әдістері тиімсіз немесе мүмкін емес орталарда. Олар нақты уақытта штаммдарды және басқа құрылымдық өзгерістерді үздіксіз, дәл және сенімді бақылау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Осы тұрғыда бетон конструкцияларында Брэгг торларына негізделген талшықты-оптикалық сенсорларды пайдалану қажеттілігі мен артықшылықтарын толығырақ қарастырайық.

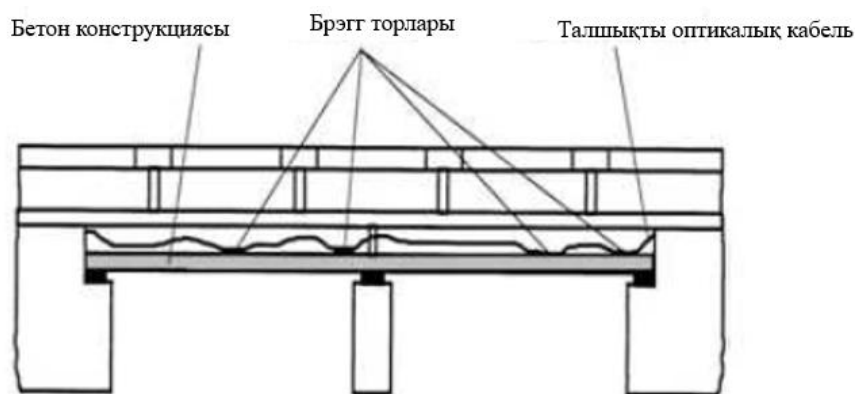
Жоғары дәлдік пен сезімталдық қарастыра отырып Брэгг торлары микродеформациялар тәртібі бойынша деформацияның өте аз өзгерістерін анықтай алады (ұзартудың миллионнан бір бөлігіне тең деформация бірлігі). Бұл құрылымдағы ықтимал проблемаларды олар сынға ұшырамай тұрып ерте анықтауға мүмкіндік береді. Үздіксіз бақылау талшықты-оптикалық сенсорлар

нақты уақытта жұмыс істей алады, бұл құрылымның денсаулығы туралы үздіксіз деректерді қамтамасыз етеді. Бұл әсіресе көпірлер, бөгеттер және көпқабатты ғимараттар сияқты маңызды және жүктелген құрылымдарды бақылау үшін өте маңызды. Қатты орталарға төзімді Брэгг торлары тот баспайды, электромагниттік кедергілерге сезімтал емес және кең температура диапазонында жұмыс істей алады. Бұл қасиеттер оларды химиялық орталар мен ылғалдылық сенсорлардың басқа түрлеріне теріс әсер етуі мүмкін бетон конструкцияларында қолдануға өте ыңғайлы етеді. Біріктіру жағынан тиімді әрі оңай талшықты-оптикалық сенсорлар құрылыс немесе жөндеу кезінде бетон құрылымдарына оңай біріктіріледі. Талшықты материалдың құрылымдық сипаттамаларына әсерін барынша азайта отырып, тікелей бетонға салуға болады.

Осыған байланысты әлемде зерттеушілер көпірді бақылау сияқты Брэгг торының сенсорлары көпір тіректері мен аралықтарындағы деформацияларды өлшеу үшін эксперименттік зерттеулер жүргізген, бұл ықтимал қауіптерді ерте анықтауға және апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Тек қана көпірлермен ғана шектелмей бетондалған бөгеттер бақылау басты назарға алынып отыр. Сенсорлар бөгеттердің бетон құрылымдарындағы су қысымы мен деформациясын бақылай алады, бұл күтпеген жүктемелер немесе су деңгейінің өзгеруі салдарынан сәтсіздіктерді болдырмауға көмектеседі.

Ал көп шоғырланған адамдар бар қалаларда тұрғын үй тапшылығына сәйкес көпқабатты тұрғын үй кешендері салынуда. Осыған сәйкес құрылыс жұмыстары көпқабатты үйлерді салу кезіндегі бетонның беріктігін және көлемді салуы, табиғи факторларға төзімді сейсмо тұрақты қалыпты нысандардың тұрғызылуы басты назарда. Осы жағдайлардың алдын алу мақсатында оптикалық сенсорларды бетонға интеграциялау нәтижесінде бетонның шөгуді бақылай алады деген тұжырымдар бар [17].



1.6-сурет – Талшықты Брэгг торының кабельдегі құрылымы

3 Бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларын қолдану мүмкіндіктері

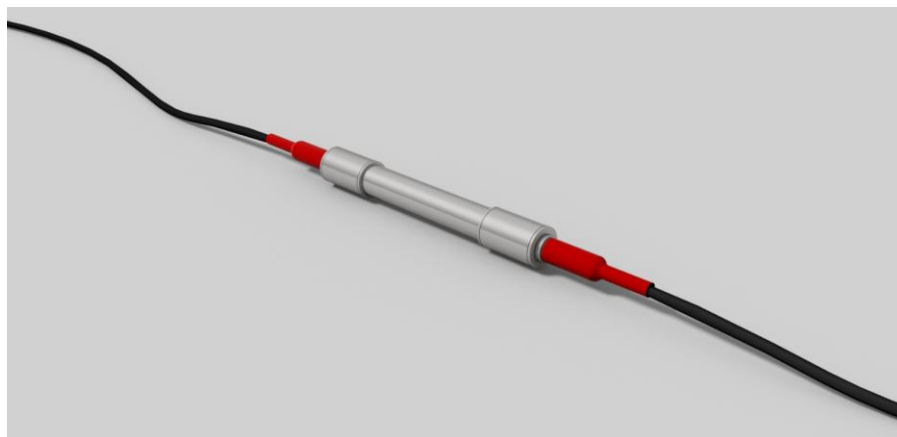
Қазіргі уақытта өндірісте бар сенсорларды техникалық сипаттамаларын салыстыра өтсе болады:

Талшық-оптикалық деформация сенсоры T1050/T1050k

T1050/T1050K сенсоры құрылымдардың бетіндегі салыстырмалы деформацияны бақылауға арналған. Ол сезгіш элемент ретінде талшықты Брэгг торын пайдаланады және тот баспайтын болаттан жасалған корпусы бар. T1050K модификациясы екі сезімтал элементтердің - талшықты Брэгг торларының (FBG) болуын қамтамасыз етеді. Олардың бірі деформация әсеріне әрекет етеді, ал екіншісі температураның өзгеруін өтеуге қызмет етеді. Сенсор әртүрлі бекіту түрлерімен жабдықталуы олар дәнекерлеу, болттау немесе желімдеу(1.7-суретте).

Техникалық сипаттамалары:

- Жұмыс толқын ұзындығы диапазоны: 1510 – 1590 нм;
- Деформацияны өлшеу диапазоны: ± 1500 мкм/м;
- Деформацияны өлшеу дәлдігі: 1%.



1.7-сурет – Талшық-оптикалық шезілген сенсорлар T1050/T1050k

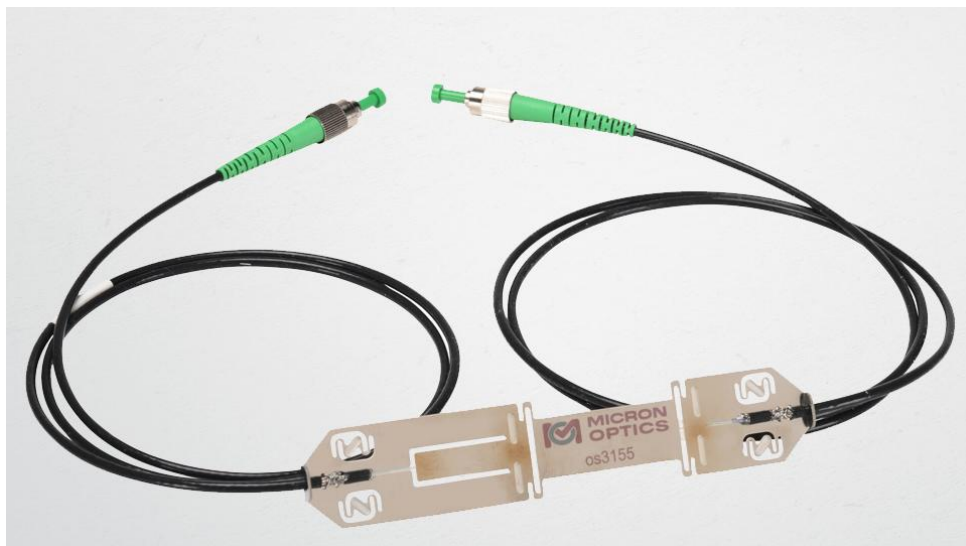
OS 3155 талшық-оптикалық деформация сенсоры. Талшықты-оптикалық технологияны пайдаланатын OS 3155 деформация сенсоры металл конструкцияларға сыртқы орнатуға арналған. Ол сезгіш элемент ретінде талшықты Брэгг торына негізделген, ал корпус ұзаққа созылатын баспайтын болаттан жасалған. Бұл сенсорды нүктелік дәнекерлеу арқылы орнату оны орнатқаннан кейін бірден пайдалануды бастауға мүмкіндік береді.

Талшықты-оптикалық деформация датчиктерінің дәстүрлі электрлік датчиктерден басты артықшылығы - олардың электромагниттік кедергілер мен кедергілерге төзімділігі, сондай-ақ олардың жоғары шаршау беріктігі. Тағы бір артықшылығы - орнатуды жеңілдететін және функционалдылықты кеңейтетін бірнеше сенсорларды бір схемаға қосу мүмкіндігі.

Сонымен қатар, сенсорда қосымша температуралық датчиктердің қажеттілігін жоққа шығаратын қосымша термиялық торы бар (1.8-суретте).

Техникалық сипаттамалары:

- Жұмыс толқын ұзындығы диапазоны: 1516 - 1588 нм;
- Деформацияны өлшеу диапазоны: ± 2500 мкм/м;
- Сезімталдық : $1,2 \text{ pm}/\mu\text{m}/\text{m}$;
- Температурасының диапазоны: $40-80^{\circ} \text{ C}$ [18].



1.8-сурет – OS 3155 талшық-оптикалық деформация сенсоры

3.1 Брэгг торларын қолданудың артықшылықтары мен шектеулері

Брэгг торына (FBG) пайдаланудың қазіргі оптикалық желінің негізгі құрамдас бөлігіне айналды торлардың жоғары сезімталдығы және өлшеу дәлдігінің жоғары болуы артықшылығын айқындай түседі. Брэгг торына негізделген сенсорлардың құрылымдық өзгерістерді дәл бақылауға мүмкіндік беретін деформация мен температураның өзгеруіне жоғары сезімталдықты қамтамасыз етеді. Талшықты-оптикалық сенсорлар электромагниттік кедергілерге сезімтал емес, бұл оларды дәстүрлі электрлік сенсорлар сенімді жұмыс істемейтін орталарда пайдалану үшін өте қолайлы етеді. Сонымен қатар оптикалық талшықтардың диаметрі мен салмағы аз, бұл олардың массасын немесе көлемін айтарлықтай арттырмай, әртүрлі конструкцияларға біріктіруді жеңілдетеді. Сол оптикалық бір талшыққа бірнеше Брэгг торларын жазу мүмкіндігі бір сызық бойымен көп нүктелі өлшеулерге мүмкіндік береді, шығындарды азайтады және бақылау жүйесін жеңілдетеді. Брэгг торына негізделген сенсорлар коррозияға және химиялық әсерлерге төзімді, бұл оларды агрессивті ортада пайдалануға мүмкіндік береді.

Брэгг торы негізіндегі жүйелер деректерді айтарлықтай сигнал жоғалтпай ұзақ қашықтыққа жібере алады, бұл қашықтағы объектілерді бақылау үшін

маңызды жұмыс атқарады. Оптикалық сенсорлар параметрлердің өзгеруіне жоғары жауап беру жылдамдығына ие, бұл нақты уақытта бақылауға мүмкіндік береді яғни осының барлығы Брэгг торының негізгі артықшылықтарын айқындай түседі. Сонымен қатар оптикалық талаптарға қойылатын талаптармен шектеулерде бірге жүреді. Брэгг торларын температураға тәуелділік себебі оптикалық талшық қызған кезде өзінің сезімталдығын төмендей бастайды. Температураның өзгеруі деформацияны өлшеудің дәлдігіне әсер етуі мүмкін, сондықтан температура әсерлерін түзету немесе бастапқы қалыпқа келтіру қажет. Сонымен қатар экономикалық жағдайы Брэгг торларының нарықтағы бағаларының қымбат болуы бұл жарық көздерін, детекторларды және өңдеу жүйелерін қоса, Брэгг торы сенсорларының аппараттық құны дәстүрлі сенсорлармен салыстырғанда жоғары болуы. Экономикалық жағдайы мен қатар Брэгг торлы сенсорларын орнату және калибрлеу процесі күрделі болуы және арнайы жабдық пен дағдыларды қажет етеді.

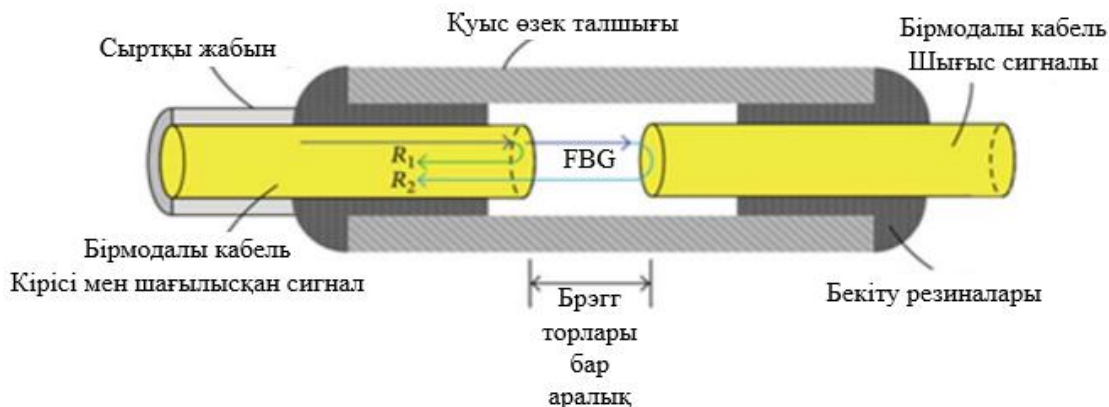
Брэгг торларын жазу үшін пайдаланылатын толқын ұзындығының диапазоны шектеулі, бұл бір талшықтағы сенсорлардың санын және өлшемдердің дәлдігін шектей алады [19].

Талшықты-оптикалық кабельдер нәзік және орнату және пайдалану кезінде зақымдануды болдырмау үшін механикалық қорғауды қажет етеді. Брэгг торы бар сенсорлардан алынған деректерді дәл түсіндіру күрделі бағдарламалық жасақтаманы және білікті мамандарды қажет етуі мүмкін.

Брэгг торлары бірқатар артықшылықтары мен қойылатын талаптар мен шектеулерді пайымдадық. Нақты уақытта және ұзақ қашықтықта деформация мен температура сияқты әртүрлі параметрлерді бақылауға арналған қуатты құрал.

3.2 Деформацияны бақылауда Брэгг торларын қолдану

Деформация құрылымдар мен жабдықтардың жағдайын бағалаудың маңызды параметрі болып табылады. Электрлік сенсорлар құрылымдық деформацияны бақылау үшін жиі пайдаланылады, бірақ олар күшті магнит өрістері, коррозия және жоғары жылдамдықты айналу сияқты қатал ортада дәлдікті өлшеуде қиындықтарға тап болады. Электрлік сенсорлардан айырмашылығы, талшықты-оптикалық сенсорлар (FOS) бірнеше артықшылықтарды ұсынады, соның ішінде ықшам өлшемді, пассивті сезінуді және электромагниттік кедергілерге қарсы иммунитетті деформацияны анықтау үшін перспективалы етеді. Бұл шолуда талшықты-оптикалық деформация сенсорлары (FOS) бақыланатын объектілерге қатысты орналасуына байланысты контактілі және байланыссыз түрлерге жіктеледі. Толқын ұзындығы, фаза және қарқындылық модуляциясы сияқты (FOS) өлшеудің негізгі принциптері сипатталған. Контактілі және контактісіз саласындағы соңғы әзірлемелер қарастырылады, сонымен қатар олардың ағымдағы шектеулері мен даму перспективалары талданады [21].



1.9-сурет – Қазіргі уақыттағы қолданыстағы EFPI сенсорының өлшеу принципі

3.3 Бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін нақты жобаларда Брэгг торларын қолдану тәжірибесі

Біз экспериментті бастамас бұрын қазіргі қолданыста жүрген Портланд цементін қолдануды жөн көрдім. Себебі сенімді және сипаттамасы мен пікірлері жақсы

Аязға төзімділігі материал төмен температурада деформацияланбайды және жарылып кетпейді. Су өткізбейтін ерітінді су мен ылғалға төзімді.

Қатаю кезеңі бойынша қоспа 40-45 минутта қатады. Орнату жылдамдығына минералды құрам, ұнтақтау ұсақтығы және жұмыс температурасы әсер етеді. Су қажеттілігі цемент дайындау үшін қоспаның салмағы бойынша 25%-дан аспайтын су қажет. Суға сұранысты азайту үшін пластификаторларды қолдануға болады. Суды бөлу бұл ауыр цемент бөлшектерінің шөгуіне байланысты ерітіндідегі суды алу. Судың бөлінуін азайту үшін минералды қоспалар қосылады. Коррозияға төзімділік ұнтақтаудың ұсақтығына және бетонның кеуектілік дәрежесіне байланысты. Жылудың бөлінуі бетон қатайған кезде жылу шығарады, оны белсенді минералды компоненттерді қосу арқылы басқаруға болады.

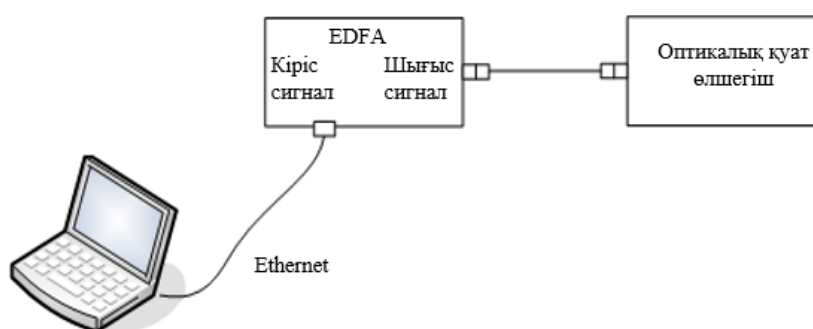
Сонымен қатар бетонның беріктігі үшін арматуралар қолданылды (2-суретте).



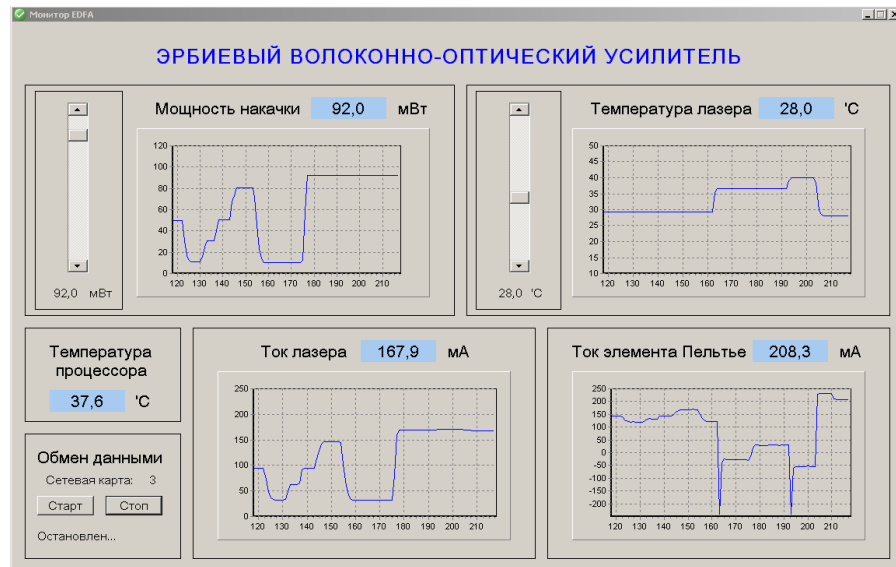
2-сурет – Жалпы бетон контрукциясы

Экспериментік нәтижелерді алу үшін ең алды мен қауіпсіздік ережелері мен танысқан абзал. Оптикалық сәулемен жұмыс істегенде қауіпсіздік ережелерін сақтау!

Өлшеу модулі мен EDFA күшейткішінің қуатын қосамыз. 2.1-суреттегідей көрсетілген өлшеу тізбегін жинаймыз. Бұл схемада Ethernet интерфейсі арқылы қосылған EDFA Monitor бағдарламасы бар дербес компьютер EDFA күшейткішінің сипаттамаларын көрсету үшін пайдаланылады.



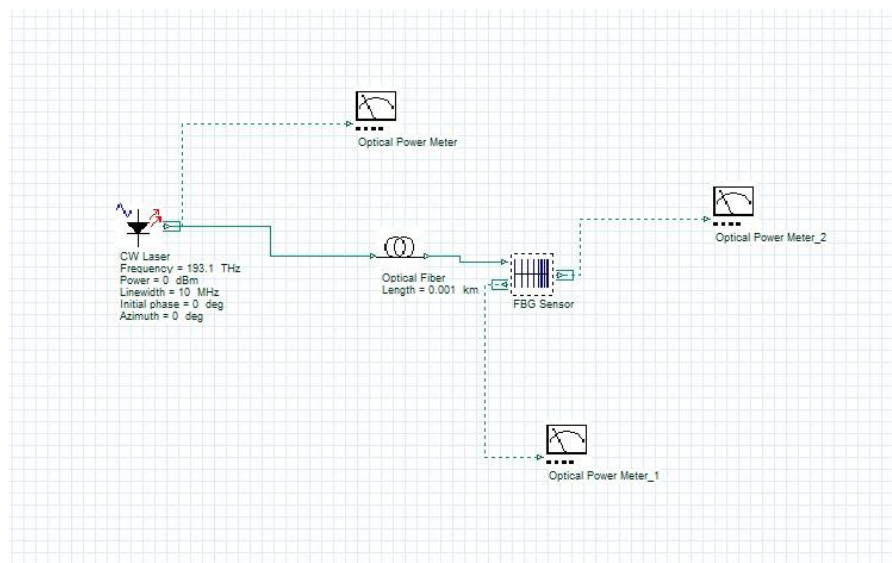
2.1-сурет – Жалпы қосылу схемасы



2.1-сурет – Беріліс интерфейсінің шығыс мәндері

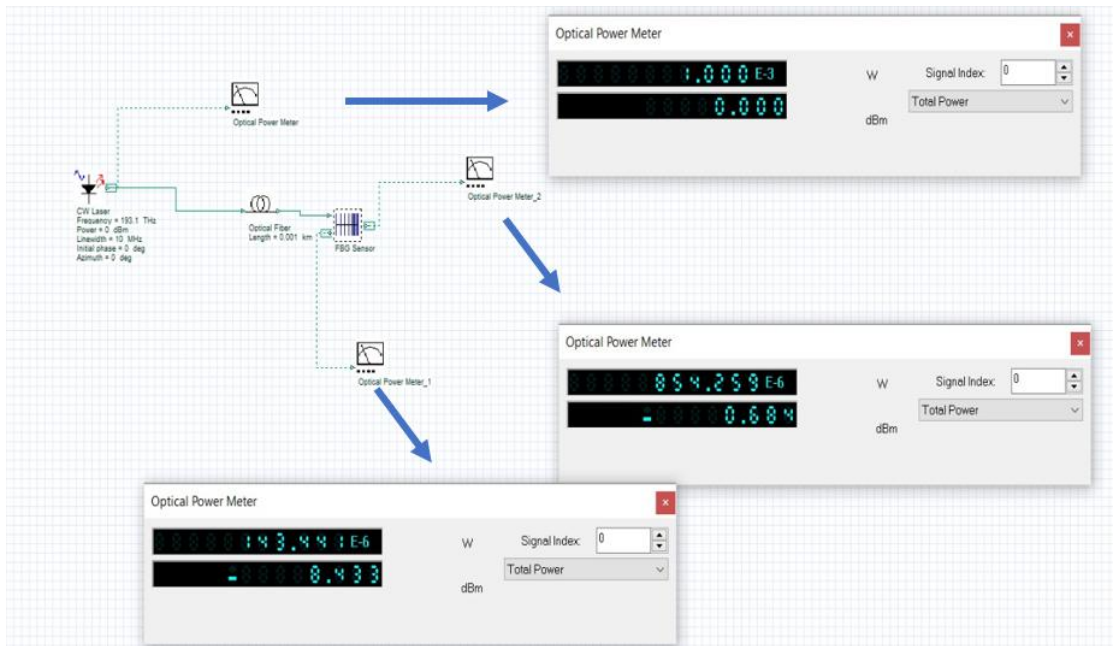
Беріліс интерфейсінің нәтижелеріне сүйене отырып бетондалған оптикалық мәндердің $P_0 = 20,7$ дБм, $P_{max} = 25,7$ дБм тең болды.

Брэгг торлы сенсордың қымбат болуына байланысты оның моделді схемасын Optisystem бағдарламасында жинадым. Берілген мәндерді бәрі эксперименттік мәндермен сәйкес.



2.2-сурет – Жалпы қосылу схемасы

Оптикалық қуат өлшегіштің мәндері тікелей жалғау қуат көзі сәулеленуі бойынша мәндері және оптикалық кабель сонымен қатар Брэгг торлы сенсордан кейінгі оптикалық сигналдың қуатның мәндерін аламыз.



2.3-сурет – Оптикалық қуат өлшегіштердің мәндері

Label:

FBG Design | Material Parameters | Simulation | Custom order

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Index modulation	0.005		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Modal index	1.45		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Center wavelength	1550	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Overlap integral	0.8		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Apodization function	Gaussian		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Apodization parameter	0.5		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Grating length	1	mm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Chirp function	Linear		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Chirp	0	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Average index modulation function	Uniform		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Average index change	0		Normal

2.4-сурет – Брэгг торлы сенсордан алынған мәндер

4 Зерттеу және практикалық қолдану бойынша ұсыныстар

Брэгг торлары бетон конструкцияларының бақылауға арналған перспективалық құралдар болып табылады. Олар құрылымдардың қауіпсіздігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылатын жоғары дәлдік пен сенімді деформацияны өлшеуді қамтамасыз етеді. Бетон конструкцияларында Брэгг торлары бар сенсорларын практикалық қолдану бойынша болашақ зерттеу бағыттары мен ұсыныстар талқыланады.

Жаңа материалдар мен жабындарды әзірлеу саласында агрессивті химиялық ортаға және механикалық зақымға төзімділігін арттырған оптикалық талшықтарға арналған жаңа материалдарды зерттеу жүргізіледі деген ойдамын.

Заманауи технологиялармен интеграциялау кезіндегі ақылды құрылыс құрылымдарын жасау үшін Брэгг торлары бар сенсорларын Интернет заттары (IoT) технологияларымен біріктіру мүмкіндіктерін бақылау жаңашыл бағыт болуы мүмкін. Брэгг торлары бар сенсорларынан алынған деректерді талдау үшін машиналық оқытуды және жасанды интеллект алгоритмдерін әзірлеу қазіргі зерттеліп жатқан салалардың бірі.

Практикалық қолдану бойынша ұсыныстар бетон конструкцияларында Брэгг торлы сенсорлар жобалау және орнатудың типтік әдістерін әзірлеу.

Мониторинг аймағын барынша қамту және ең маңызды деректерді алу үшін сенсорларды тиімді орналастыру ақпаратты нақты беруге көмектеседі. Техникалық қызмет көрсету және калибрлеу жағынан қиындықтар болу мүмкін бірақ нақты ақпаратқа қол жеткізу басты мақсат болып табылады. Ұзақ қызмет ету мерзімі мен дәлдігін қамтамасыз ету үшін Брэгг торлары бар сенсорларын бақылап отыру қажет.

Брэгг торлары бар сенсорларынан алынған деректерді өңдеу және интерпретациялау үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізуді талап етеді.

Ұзақ мерзімді өлшемдерді сақтау және талдау үшін деректер қорын құру, ол құрылымдардың жағдайын болжауға және алдын алу шараларын қабылдауға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақыттағы қолданып жатқан Брэгг торларның көпірлер мен өткелдер қолдануы көпірлер мен эстакадалардың жай-күйін бақылау үшін Брэгг торлары бар сенсорларын пайдалану, бұл жарықтар мен деформацияларды дер кезінде анықтауға, төтенше жағдайлардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Деформациялар мен жүктемелерді үздіксіз бақылау үшін көпқабатты ғимараттарда Брэгг торлары бар сенсорларын орнату, бұл құрылымдардың қауіпсіздігі мен беріктігін арттыруға көмектеседі. Бетон конструкцияларының жағдайын бақылау және ықтимал зақымдануды болдырмау үшін бөгеттер мен дамбалар Брэгг торлары бар сенсорларын пайдалану осы жағдайларды қарастыра отырып болшақ ұсыныстар деп білемін.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыс барысында бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған Брегг торларының сипаттамалары қарастырылды және талдау жүргізілді. Алынған нәтижелер құрылыс индустриясында Брегг торлары бар сенсорларын пайдаланудың жоғары тиімділігі мен нақтылығын көрсетеді.

Нақты жұмыс жағдайында бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брегг торларының өнімділігін зерттелінді.

ТОС параметрлерін оңтайландыру үшін инженерлік құралдарды пайдаланып Optisystem бағдарламасында модельінді

Бетон деформациясын бақылау талаптарын, құрылымдық сипаттамалар мен жұмыс жағдайларын ескере отырып, талшықты-оптикалық Брегг торлы сенсорларының тұжырымдамасы жасалынды.

ТОС өнімділігі туралы есепті құрау, оларды пайдалану және жақсарту бойынша ұсыныстар берілді.

Брегг торлары бар сенсорлар бетон конструкцияларының денсаулығын бақылау үшін маңызды әлеуетке ие. Осы саладағы болашақ зерттеулер мен әзірлемелер материалдарды жақсартуға, заманауи технологиялармен интеграциялауға, өлшеу дәлдігі мен үнемділігін арттыруға бағытталуы керек. Брегг торлары бар сенсорларын практикалық қолдану мұқият дизайнды, тұрақты техникалық қызмет көрсетуді және калибрлеуді және деректерді тиімділігі екені анықталды. Осы ұсыныстарды орындау арқылы Брегг торлары бар сенсорлар болашақтың ақылды және қауіпсіз құрылыс құрылымдарының ажырамас бөлігі болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Albert, J., Shao, L.-Y. and Caucheteur, C. (2013), Tilted fiber Bragg grating sensors. *Laser & Photonics Reviews*, 7: 83-108. <https://doi.org/10.1002/lpor.201100039>
2. Dong, Xinyong & Liu, Daniel & Shao, Li-Yang & Kang, Juan & Zhao, Chun-Liu. (2011). Temperature-Independent Fiber Bending Sensor Based on a Superimposed Grating. *IEEE SENSORS JOURNAL*. 11. 10.1109/JSEN.2011.2157124
3. Long Jin, Zhi Wang, Qiang Fang, Yange Liu, Bo Liu, Guiyun Kai, and Xiaoyi Dong, "Spectral characteristics and bend response of Bragg gratings inscribed in all-solid bandgap fibers," *Opt. Express* 15, 15555-15565 (2007)
4. Laffont, Guillaume & Ferdinand, Pierre. (2001). Tilt short-period fiber-Bragg-grating-induced coupling to cladding modes for accurate refractometry. *Measurement Science and Technology*. 12. 765. 10.1088/0957-0233/12/7/302.
5. Junjie Bai, Damei Zhao and Xiuyan Zhang, "Structural health monitoring of smart civil structures based on fiber Bragg grating sensing technology," *2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC)*, Deng Feng, China, 2011, pp. 635-638, doi: 10.1109/AIMSEC.2011.6010269.
6. W. Z. Coetsee, S. van Eck, M. F. Grobler, M. J. Vannucci, R. M. Manuel and J. Bester, "Embedded Fibre Bragg Gratings to measure shrinkage during the early age of concrete," *AFRICON 2015*, Addis Ababa, Ethiopia, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/AFRCON.2015.7331957.
7. O. Almubaied, H. K. Chai, M. R. Islam, K. -S. Lim and C. G. Tan, "Monitoring Corrosion Process of Reinforced Concrete Structure Using FBG Strain Sensor," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 66, no. 8, pp. 2148-2155, Aug. 2017, doi: 10.1109/TIM.2017.2676218.
8. H. Heininger, F. Mohr, U. Hannemann and R. J. Schmidt, "Observation of prestress loss in post-tensioned concrete with FBG and LVDT sensors," *2012 IEEE Conference on Prognostics and Health Management*, Denver, CO, USA, 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPHM.2012.6299518.
9. L. Jamal, S. Ahmad and K. K. Qureshi, "Reinforcement Corrosion Detection by Using Fiber Bragg Grating based Sensors," *2022 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)*, San Jose, CA, USA, 2022, pp. 1-2.
10. A. Theodosiou, P. Savva, E. Mendoza, M. F. Petrou and K. Kalli, "In-Situ Relative Humidity Sensing for Ultra-High-Performance Concrete Using Polymer Fiber Bragg Gratings," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 14, pp. 16086-16092, 15 July 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3075609.
11. M. H. B. Afzal, S. Kabir and O. Sidek, "Fiber optic sensor-based concrete structural health monitoring," *2011 Saudi International Electronics, Communications and Photonics Conference (SIECPC)*, Riyadh, Saudi Arabia, 2011, pp. 1-5, doi: 10.1109/SIECPC.2011.5876903.

12. G. Allwood, S. Hinckley and G. Wild, "Optical Fiber Bragg grating based intrusion detection systems for homeland security," *2013 IEEE Sensors Applications Symposium Proceedings*, Galveston, TX, USA, 2013, pp. 66-70, doi: 10.1109/SAS.2013.6493558.
13. M. Bravo, J. Saenz, M. Bravo-Navas and M. Lopez-Amo, "Concrete Beam Bending Test Monitorization Using a High Strain Fiber Optic Sensor," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 30, no. 8, pp. 1085-1089, April 15, 2012, doi: 10.1109/JLT.2011.2169233.
14. S. J. Spammer and P. L. Fuhr, "Concrete embedded optical fibre Bragg grating strain sensors," *IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Proceedings. ISIE'98 (Cat. No.98TH8357)*, Pretoria, South Africa, 1998, pp. 330-334 vol.1, doi: 10.1109/ISIE.1998.707802.
15. C. Martelli, J. C. C. da Silva, H. J. Kalinowski, J. Canning and N. Groothoff, "Internal temperature measurements of a concrete cantilever beam using high temperature stable fibre Bragg gratings," *ACOFT/AOS 2006 - Australian Conference on Optical Fibre Technology/Australian Optical Society*, Melbourne, VIC, Australia, 2006, pp. 28-30, doi: 10.1109/ACOFT.2006.4519239.
16. A. Kerrouche *et al.*, "Strain Measurement on a Rail Bridge Loaded to Failure Using a Fiber Bragg Grating-Based Distributed Sensor System," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 8, no. 12, pp. 2059-2065, Dec. 2008, doi: 10.1109/JSEN.2008.2006704.
17. Mihailov S. J. Fiber Bragg grating sensors for harsh environments //Sensors. – 2012. – T. 12. – №. 2. – C. 1898-1918.
18. Kreuzer M. Strain measurement with fiber Bragg grating sensors //HBM, Darmstadt, S2338-1.0 e. – 2006. – T. 12.
19. Moyo P. et al. Development of fiber Bragg grating sensors for monitoring civil infrastructure //Engineering structures. – 2005. – T. 27. – №. 12. – C. 1828-1834.
20. Xu C., Li L., Hu R., Wu H., Kong L., Zhong N., Wan B., Wu L., Lai D., He Y., Liu Y., Peng X., Zhao M., Xie Q. In situ detection of spatial distribution information of temperature-pH-strain of sandstone cultural relics (2024) *npj Materials Degradation*, 8 (1), art. no. 31, Cited 0 times. DOI: 10.1038/s41529-024-00438-w
21. P. X. Neto, A. C. Carneiro, A. P. López-Barbero, V. N. H. Silva, R. M. Ribeiro and A. B. dos Santos, "A Mathematical Model for the Interrogation of LPG Fiber Optical Sensors Based on Electrical Harmonic Analysis," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 8, pp. 4237-4244, 15 April 15, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2019.2963275.

ҒЫЛЫМИ ЖЕКТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

дипломдық жұмыс

Махатов Ыдырыс Қайратұлы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тақырыбы: «Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған Брэгг торларының дамуы және сипаттамалары»

Дипломдық жұмыс бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларының дамуы мен өнімділігін талдауды қарастырады. Температураны өтеуге және деректерді өңдеу алгоритмдеріне ерекше назар аударылады, бұл деформацияны өлшеудің дәлдігін жақсартады.

Дипломдық жұмыста Брэгг торлары бар сенсорлары практикалық қолдану бойынша ұсыныстармен аяқталады, оның ішінде орнату және техникалық қызмет көрсету стандарттарын әзірлеу, сондай-ақ деректерді талдау және интерпретациялау жүйелерді пайдалану.

Бұл зерттеу құрылыс индустриясы үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын бетон конструкцияларының қауіпсіздігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ету үшін Брэгг торларын пайдаланудың маңызды әлеуетін көрсетеді.

Студент дипломдық жұмыс жасауда ғылым саласында өздігінен жұмыс істей алу қабілетін көрсете алды.

Жалпы, дипломдық жұмысқа "өте жақсы" (90%) деген баға, ал студент Махатов Ыдырыс Қайратұлы 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering білім беру бағдарламасының бакалавр академиялық дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Ғылыми жетекші:

ЭТЖҒТ каф.

профессор PhD

Смайлов Н.К.

2024 ж.



Дипломдық жұмысқа

СЫН – ПІКІР

Махатов Ыдырыс Қайратұлы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тақырыбы: «Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған
Брэгг торларының дамуы және сипаттамалары»

- а) графикалық бөлімі ____ бет;
б) түсіндірме жазбасы ____ бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Осы дипломдық жұмыста бетон конструкцияларының деформациясын бақылау үшін Брэгг торларының дамуы мен өнімділігін талдауды толығымен қарастырған.

Брэгг торлары бар сенсорларын практикалық қолдану бойынша болашақ зерттеу бағыттары мен ұсыныстар талқыланған.

Жаңа материалдар мен жабындарды әзірлеу саласында агрессивті химиялық ортаға және механикалық зақымға төзімділігін арттырған оптикалық талшықтарға арналған жаңа материалдарды зерттеу жүргізілген.

Заманауи технологиялармен интеграциялау кезіндегі ақылды құрылыс құрылымдарын жасау үшін Брэгг торлары бар сенсорларын Интернет заттары (IoT) технологияларымен біріктіру мүмкіндіктерін бақылау жаңашыл бағыт болуы мүмкін.

Махатов Ыдырыс Қайратұлы дипломдық жұмысты жазу барысында құрылыс индустриясы үшін жаңа мүмкіндіктер ашатынын көрсете алған, дегенмен бетон конструкцияларының қауіпсіздігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ету үшін Брэгг торларын пайдаланудың маңызды әлеуетін толық аша алған.

Махатов Ыдырыс Қайратұлы дипломдық жұмысты жазу барысында болашақта ғылым саласында өздігінен жұмыс істей алу қабілетін көрсетті.

ЖҰМЫС БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмысқа "өте жақсы" (91%) деген баға, ал студент Махатов Ыдырыс Қайратұлы 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering білім беру бағдарламасы бойынша бакалавр академиялық дәрежесіне сай деп есептеймін

Сын-пікір беруші:

Ғ. Дәукеев атындағы

Қазіргі Университеті

қауымдастырылған профессор PhD

А.Ж. Сағындықова

2024 ж.



Ф.И.И.Т.У. 206-17. Рецензия

**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: Махатов Ыдырыс Қайратұлы

Тақырыбы: Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған Брэгг торларының дамуы және сипаттамалары

Жетекшісі: Нуржигит Смайлов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 7.2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.3

Дәйексөз (35): 1.4

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 17

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:

Күні 31.05.2024

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Махатов Ыдырыс Қайратұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған Брэгг торларының дамуы және сипаттамалары

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 7.2

Коэффициент Подобия 2: 4.3

Микропробелы: 17

Знаки из других алфавитов: 0

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:

Дата 31.05.2024

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Махатов Ыдырыс Қайратұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Бетон конструкцияларының деформациясын бақылауға арналған Брэгг торларының дамуы және сипаттамалары

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 7.2

Коэффициент Подобия 2: 4.3

Микропробелы: 17

Знаки из других алфавитов: 0

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:

Дата 31.05.2024


Нуржигит Смайлов
проверяющий эксперт