ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
«ҒҰМАРБЕК ДАУКЕЕВ АТЫНДАҒЫАЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»
Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
Телекоммуникация және инновациялық технологиялар кафедрасы

«ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ»
ТКИТ каф. меңгерушісі
PhD докторы, доцент
Қадылбекқызы Эльвира
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2021ж.
(қолы)

ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА

Тақырыбы: «Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктердің қолданылуын талдау»
Мамандығы: 5В071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар
Орындаған: Сағындық Жандос Жолболдыұлы Тобы: РЭТ(ИКТ)к-17-1
(Т.А.Ж.
Ғылыми жетекшісі профессор Чежимбаева Катипа Сламбаевна
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
Кеңесшілер:
экономикалық бөлім бойынша:
доцент Салыкова Мадина Салыковна
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2021ж.
(қолы)
өміртіршілігі қауіпсіздігі бойынша:
аға оқытушы Сапаев Тимур Михайлович
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2021ж.
(қолы)
есептеу техникасын қолдану бойынша: профессор Чежимбаева К.С.
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2021ж.
(қолы)
Нормобақылаушы: аға оқытушы, Накисбекова Балауса Рыскожаевна
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2021ж.
(қолы)
Пікір беруші: _____
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2021ж.
(қолы)
Алматы 2021

ҚАЗАҚСАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
«ҒҰМАРБЕК ДАУКЕЕВ АТЫНДАҒЫАЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»
Коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Телекоммуникация және ғарыштық инженерия институты
Телекоммуникация және инновациялық технологиялар кафедрасы
5В071900–Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар мамандығы

Дипломдық жобаны орындауға берілген

ТАПСЫРМА

Студент: Сағындық Жандос Жолболдыұлы_____

Жобаның тақырыбы «Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктердің қолданылуын талдау»

2020 ж. «27» қазан № 217университет бұйрығымен бекітілді.

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «25» мамыр2021 ж.

Жобаға алғашқы деректер (талап етілетін зерттеу (жоба) нәтижелерінің параметрлері және зерттеу нысанының алғашқы деректері): ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктердің негізгі теориялық тұжырымдамалары мен жұмыс принципін талдау.

Диплом жобасындағы әзірленуі тиіс мәселелер тізімі немесе диплом жобасының қысқаша мазмұны:
Кіріспе_____
1. Сенсорлық желілер және Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктер туралы түсінік_____
2. Сенорлық желінің құрылымы _____
3.ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктерге негізделген сенсорлық желіні жобалау_____
4. Өміртіршілік қауіпсіздігі_____
5. Экономикалық бөлім_____
Қорытынды_____
Әдебиеттер тізімі_____
_____
_____
_____

Графикалық материалдардың (міндетті түрде дайындалатын сызбаларды көрсету) тізімі:
1. Талшықты-оптикалық кабельді жобалау
2. ТБТ құрылғысы

Негізгі ұсынылатын әдебиеттер:
1. М.Н.Терентьев. Беспроводные сенсорные сети. Маи-Принт. 2008-95 с.
2. С.А. Васильев, О.И. Медведков, И.Г. Королев, А.С. Божков, А.С.Курков, Е.М. Дианов. Волоконные решетки показателя преломления и их применения// Квантовая электроника, 35, No12 (2005), с. 1085-1103
3. Т.С. Санатова, С.Е. Мананбаева. Безопасность жизнедеятельности «Расчет зануления» Методические указания к выпускной работе для студентов - бакалавров всех специальностей и всех форм обучения - Алматы: АУЭС, 2011 - 26 с.
4.Датчики коррозии. [Электронный ресурс]: https://www.viam.ru/public/files/2009/2009-205435.pdf 12. Г.И. Леонович, С.В. Олешкевич. Гибридные датчики на волоконнооптических брэгговских решетках.Самара-20.11.2016г.

Жоба бойынша жобаның бөлімдеріне қатысты белгіленген кеңесшілер

Бөлімдері	Кеңесшілері	Мерзімі	Қолы
Экономика	Салыкова М.С.	13.04. 2021ж.	
Ө.Т.Қ.Н.	Сапаев Т.М.	13.04. 2021ж.	
Негізгі бөлім	Чежимбаева К.С.	14.03. 2021ж.	
Есептеу техникасы	Чежимбаева К.С.	16.04. 2021ж.	
Нормабақылаушы	Накисбекова Б.Р.	10.06. 2021ж.	

Диплом жобасын дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, әзірленетін мәселелердің тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
1. Кіріспе	14.03. 2021ж.	
2. Сенсорлық желілер және Брегг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктер туралы түсінік	17.03. 2021ж.	
3. Сенорлық желінің құрылымы	20.03. 2021ж.	
4.ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктерге негізделген сенсорлық желіні жобалау	23.03. 2021ж.	
5. Өміртіршілік қауіпсіздігі	01.04. 2021ж.	
6. Экономикалық бөлім	07.04. 2021ж.	
7. Қорытынды	06.05. 2021ж.	

Тапсырманың берілген уақыты «01» ақпан 2021 ж.

Кафедра меңгерушісі _____Қадылбекқызы Эльвира

(қолы) (Т.А.Ж.)

Жобаның

Ғылыми жетекшісі _____Чежимбаева Катипа Сламбаевна

(қолы) (Т.А.Ж.)

Орындалатын тапсырманы

қабылдаған студент _____Сағындық Жандос Жолболдыұлы

Аңдатпа

Дипломдық жобаның тақырыбы: Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктердің қолданылуын талдау. Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктерді талдау жасау үшін сіз осы датчиктер қалай жұмыс істейтінін және датчиктердің қандай түрлері бар екенін түсінуіңіз керек. Осы ақпарат негізінде осындай датчиктерді қолданылуын қарастыру және оларды қолдануды техникалық негіздеу үшін есептеулер жүргізу қажет.

Аннотация

Тема дипломного проекта: анализ применения волоконно-оптических данных на основе решетки Брэгга. Для того, чтобы провести анализ волоконно-оптических датчиков на основе решения Брэгга необходимо понять каким образом работают данные датчики, основные виды датчиков. На основе данной информации необхоимо рассмотреть применение таких датчиков и произвести расчеты для технического обоснования их применения.

Annotation

The topic of the thesis project: analysis of the application of fiber-optic data based on the Bragg lattice. In order to analyze fiber-optic sensors based on the Bragg solution, it is necessary to understand how these sensors work, the main types of sensors. Based on this information, it is necessary to consider the use of such sensors and make calculations for the technical justification of their use.

Мазмұны

Кіріспе 7
1 Сенсорлық желілер және Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктер туралы түсінік 8
1.1 Сенсорлық желілер 8
1.2 Сенсорлық желілер топологиялары 13
1.3 Талшықты-оптикалық датчиктер туралы жалпы түсінік 15
1.4 Брэгг талшықты торы 18
1.5 Негізгі мақсаттар туралы ақпарат 20
2 Сенорлық желінің құрылымы 20
2.1 Қолдану туралы бойынша датчиктердің жіктлеуі 20
2.2 Сенсорлық желі жобасына арналған жабдыққа шолу 32
3 ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктерге негізделген сенсорлық желіні жобалау 36
3.1 ТБТ негізінде электр параметрлерінің талшықты-оптикалық датчигін есептеу 37
3.2 Талшықты-оптикалық байланыс желілері үшін сымның салбырау бойын есептеу 43
3.3 Температура мәндерінің өзгеруімен талшықты-оптикалық кабельді есептеу 48
3.4 Cisco Packet Tracer симуляторында талшықты-оптикалық датчиктердің қолданылуын талдау 50
4 Еңбекті қорғау және өміртіршілік қауіпсіздігі 56
4.1 Жұмысты талдау 56
4.2 Электр жабдығымен жұмыс істеу кезіндегі шаралар кешені 56
4.3 Жерге қосудың есептеу 58
5 Бизнес жоспарлау 63
5.1 Дипломдық жоба бойынша қысқаша түйіндеме 63
5.2 Маркетинг жоспары 63
5.3 Осындай датчиктерді енгізу үшін клиенттік секторды талдау 64
5.4 Ұйымдастыру жоспары 64
5.5 Өндірістік жоспар 65
5.6 Инвестицияларды есептеу және жобаның өзектілігі 66
Қорытынды 74
Қысқартулар тізімі 75

Кіріспе

Бүгінгі таңда технологиялық нарық әрдайым кеңейіп келеді және әр түрлі салалар бойынша жаңа шешімдер пайда болуда. Жоғары өнімділігі мен тамаша технология сапасын қамтамасыз ету үшін бүкіл әлемде үлкен корпорациялар жұмыс істейді.

Технологиялардың қарқынды дамуы датчиктер жүйесін де қалдырмады. Соңғы әзірлемелердің бірі – Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктер. Мұндай датчиктер ерекшеленеді жоғары дәлдікпен өлшеу барлық параметрлерін. Жоғары сапа талшықты-оптикалық технологияларды қолдану арқылы қамтамасыз етіледі. Өлшенетін параметрлердің дәлдігі шамамен 99-100 пайызды құрайды-бұл өте жоғары көрсеткіш. Өлшеу кезінде 0,1-1 пайызға дейін қателер болуы мүмкін.

Бүгінгі таңда көптеген талшықты-оптикалық датчиктер бар. Мұндай датчиктер қысым, ылғалдылық, температура, электр сипаттамалары, коррозия деңгейі, деформация және басқа элементтердің параметрлерін өлшей алады.

Мұндай сенсорлардың қалай жұмыс істейтінін, сондай – ақ олардың негізгі қолданылуын түсіну үшін есептеулер мен талдаулар жасау қажет. Осындай талдау негізінде бұл сенсорлардың қалай жұмыс істейтінін түсінуге болады. Датчиктердің қолданылуын талдау негізінде қорытынды жасау керек: оларды әртүрлі салаларда қалай қолдануға болады?

Дипломдық жобада талшықты-оптикалық датчиктердің негізінде электр желілері мен талшықты-оптикалық байланыс желілерінің параметрлерін бақылау қарастырылған. Мұндай жүйелерде ауа-райының жағдайын, деформацияны, қысымды, электрлік сипаттамаларды бақылау қажет. Датчиктердің қолданылуын көрсету және олардың өлшеу дәлдігін бағалау қажет. Осы өлшеулер негізінде әртүрлі параметрлерді бақылау үшін осындай жүйелерді енгізу жоспарлануда.

Өміртіршілік қауіпсіздігі бөлімінде осындай жүйелермен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін шаралар кешенін қарастыру қажет. Сондай-ақ, мұндай жобада жерге қосуды қамтамасыз ету қажет.

Бизнес-жоспар бөлімінде қолданылатын сенсорлардың түрлері туралы мәліметтер келтірілген. Бөлімде электр беру жүйелерінде Брагг торлары негізінде талшықты-оптикалық бергіштер жүйесін және оларды ЭБЖ-де ілу кезінде оптикалық желілерді енгізу бойынша есептеулер орындалды. Осы есептеулер негізінде осындай сенсорлық жүйелерді енгізудің тиімділігі туралы қорытынды жасау қажет.

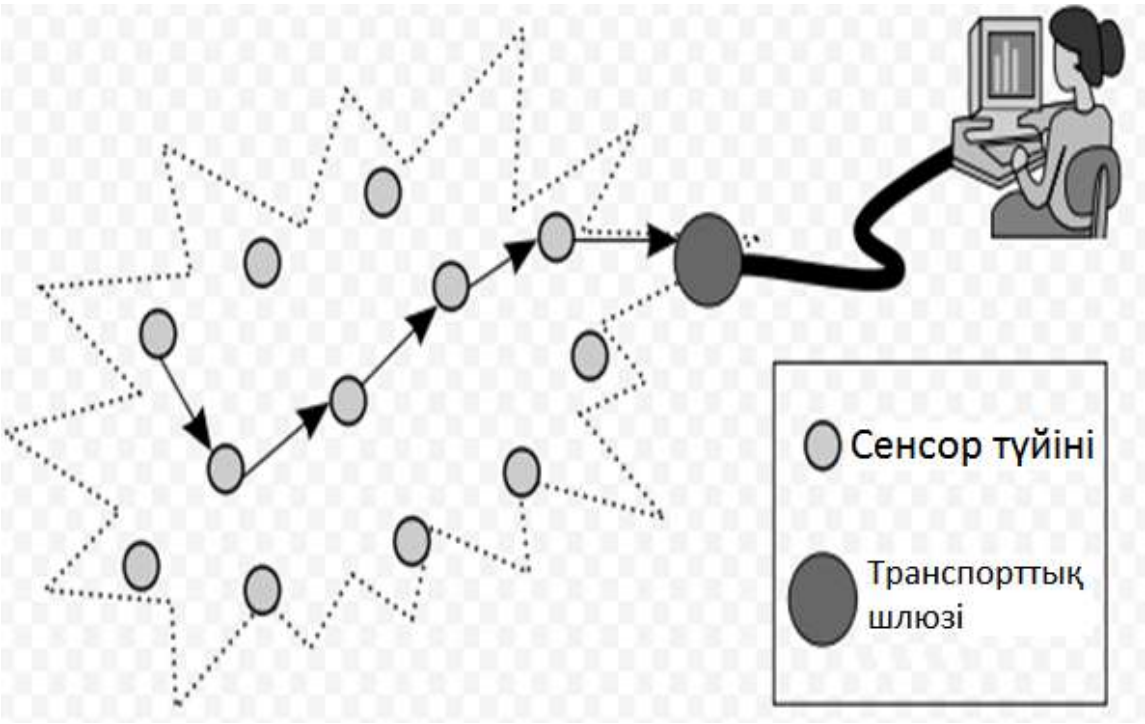
1 Сенсорлық желілер және Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктер туралы түсінік

1.1 Сенсорлық желілер

Датчик немесе сенсор - бұл физикалық процесс түріндегі мәліметтерді жинап сенсордың түріне байланысты жарық немесе электр сигналдарын түрлендіру үшін қолданылатын құрылғы. Жиналған мәліметтер негізінде бұл сигналдарды өлшеуге, талдауға, өңдеуге болады. Физикалық процестер кез-келген нақты деректер мен қоршаған ортаның параметрлерін білдіреді. Оларға температура, қысым, дыбыс, қозғалыс, позиция, ағын, ылғалдылық және қоршаған ортаның басқа параметрлері жатады.

Датчиктік желі - бұл көптеген сенсорлардан (датчиктерден), есептеу қондырғыларынан, мәліметтер мен ақпараттарды жазуға, әртүрлі компоненттерді, параметрлерді бақылауға сонымен қатар әртүрлі оқиғаларға жауап беруге арналған желілік элементтерден тұрады. Оқиғалар физикалық әлемге қатысты, өндіріске, биологиялық жүйелерге, ақпараттық технологияларға байланысты әр түрлі болуы мүмкін. Сенсорлық желілердің тұтынушылары мемлекеттік, азаматтық және әскери ұйымдар мен өнеркәсіптік кәсіпорындар болып табылады. Мұндай жүйелерді медициналық жүйелердің, мониторингтің, мәліметтерді жинаудың және басқаларының телеметриясы үшін қолдануға болады.

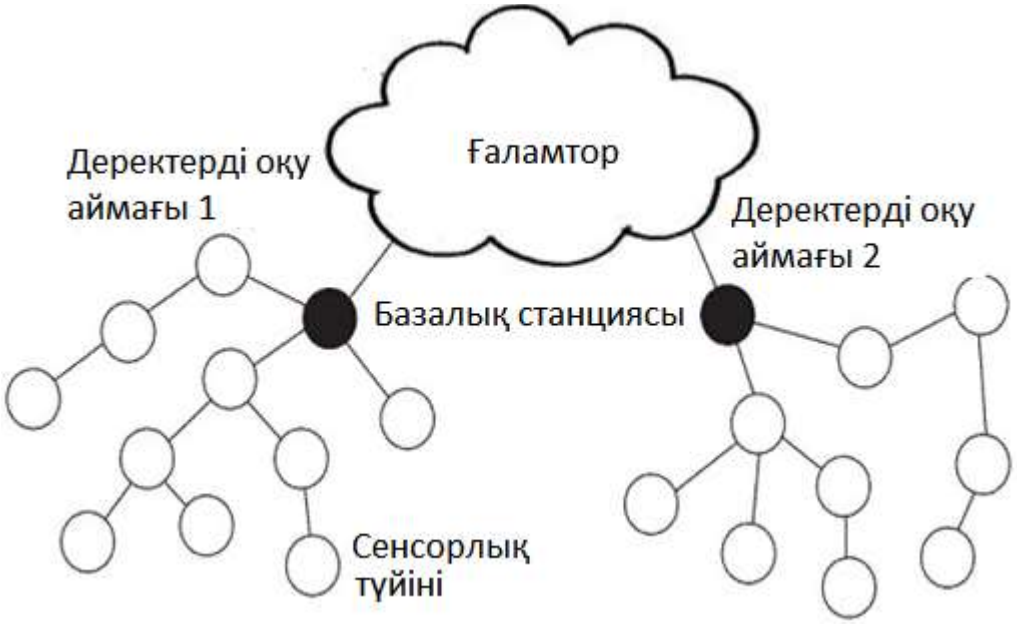
1.1 суретте сенсорлық желінің мысалы келтірілген. Суретте сенсорлар қолданушыларға арналған Интернет байланысы бар түрлі-түсті дөңгелек нысандар түрінде көрсетілген.



1.1 сурет – Типтік сенсорлық желіге мысал

Әдеттегі сенсорлық желі - бұл датчиктердің, контроллердің және байланыс жүйелерінің (маршрутизатор, коммутатор, байланыс желілері өзара байланысы. Егер мұндай желілерде байланыс жүйелерінің арналары сымсыз болса, онда оларды сымсыз сенсорлы желілер немесе ағылшын тілінде WirelessSensorsNetworks деп атайды.

1.2 суретте сымсыз сенсорлық желінің блок сұлбасы көрсетілген.



1.2 сурет – WSN сымсыз сенсорлық желісі

WSN 21 ғасырда қабылданып, тез таралуда. Бұл телекоммуникацияны дамытудың заманауи бағыттарының бірі. Бұл жаңа технологиялар мен ғылымды зерттеуге мүмкіндіктер туғызады. Кішігірім өлшемдер, қуаты төмен, құны төмен сенсорлық жүйелер кең ауқымды жүйелерде оңай орналастырылады.

WSN жоғары тығыздықта орналасқан және тануды, ақпаратты өңдеуді қолдайтын көптеген сенсорлардан тұрады, сонымен қатар байланыс жүйесінде орнатылған есептеу функционалдығы бар.

Заманауи датчиктер физикалық және цифрлық әлем арасындағы көпір болып табылады.

Әдеттегі WSN 2 элементке бөлінеді: сенсорлық түйін және желілік архитектура.

Датчиктің құрамына 4 негізгі компонент кіреді: қуат көзі, сенсор, өңдеу блогы және байланыс жүйелері.

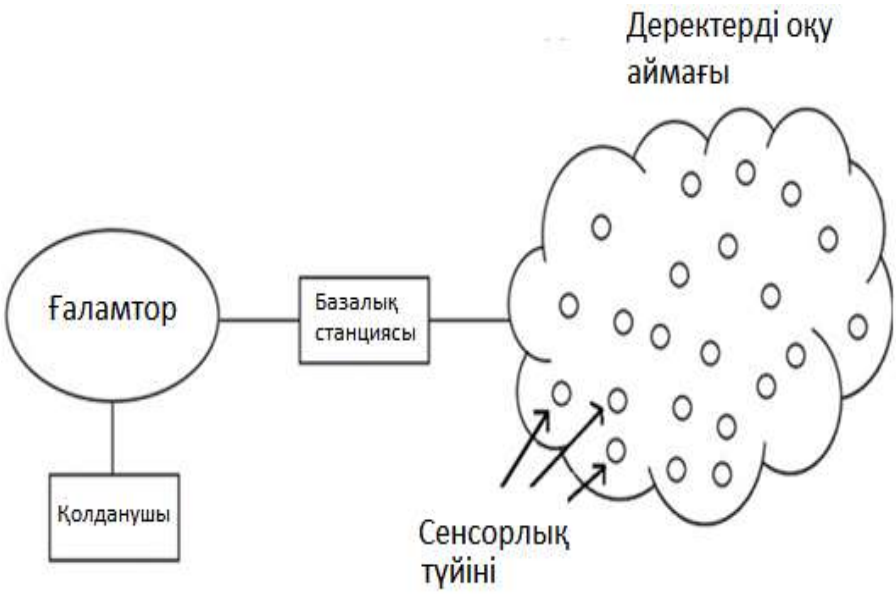
Негізгі процессор - ақпаратты өңдейтін және басқаратын микропроцессор немесе микроконтроллер.

Байланыс жүйесіне деректерді беру және қабылдау мүмкіндігі бар сымсыз арналық жүйелер кіреді. Барлық құрылғыларда электр қуаты аз болғандықтан, қуатты ұстап тұру үшін қуаты аз батарея қажет.

Датчик түйіні ақпаратты өңдеу, байланыс және деректерді сақтау функцияларын орындайды. Датчик түйінінің компоненттері арқасында сенсор мәліметтерді жинауға, желіні талдауға, басқа датчиктерден алынған ақпаратты өз ақпаратымен байланыстыруға жауап береді.

Мұндай желідегі сенсор басқа сенсорлармен де, базалық станциямен де байланысады.

1.3 суретте сенсорлық желінің архитектурасы көрсетілген. Суретте сенсор түйіндерінің бір-біріне қосылуын және оларды деректерді оқу аймағына топтастыруды, олардың базалық станцияға қосылуын бейнелейді және пайдаланушылардың сенсорлық желіге қалай қол жеткізетінін көрсетеді .



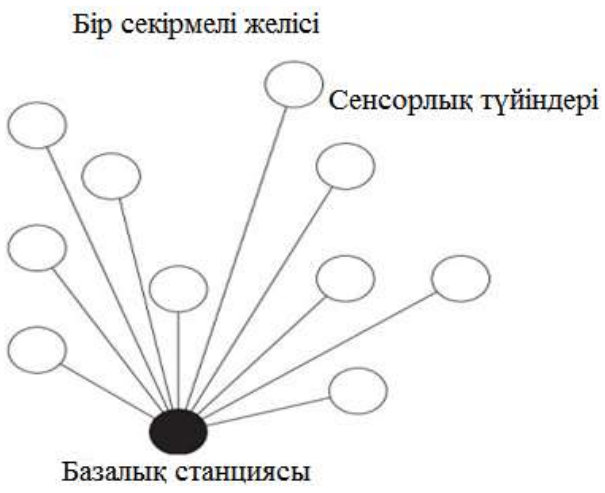
1.3 сурет – Сенсорлық желінің архитектурасы

Базалық станция сенсорлармен арнайы командалар көмегімен өзара әрекеттеседі, және барлық сенсор түйіндері өз міндеттерін орындайды сондықтанолардың арасында өзара әрекеттесу жүреді. Датчик түйіндері ақпаратты жинап, базалық станцияға жібереді.

БС сонымен қатар Интернеттегі үшінші тарап желілері үшін шлюз ретінде қызмет етеді. Сенсор түйіндерінен ақпарат алғаннан кейін БС деректерді өңдейді және олар жаһандық желі арқылы жаңа пайдаланушыларға жібереді.

Сенсорлық желінің архитектурасының бірнеше түрі бар. Әр сенсор станцияға жалғанған архитектура бір секірмелі сәулет деп аталады. Мұндай архитектурада сигнал диапазоны үлкен, бірақ бұл жағдайда байланыс үшін электр энергиясының шығыны үлкен болады.

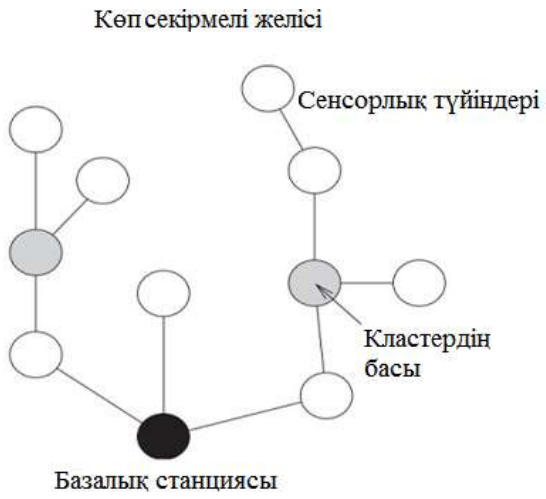
1.4-суретте сенсорлық желінің желілік бір секірмелі архитектурасы көрсетілген. Бұнда барлық желілік түйіндердің базалық станцияға қосылғанын көреміз. Шығыс және кіріс трафик базалық станция арқылы беріледі.



1.4 сурет – Бір секірмелі желінің архитектурасы

Көп секірмелі архитектурасында мәліметтер БС және сенсор түйіндері арасындағы жалғыз каналдар арқылы емес, қалған түйіндерге берілуі мүмкін бірнеше аралық датчик түйіндері арқылы беріледі.

1.5 суретте көп секірмелі желілік архитектурасын көреміз.



1.5 сурет – Көп секірмелі желісінің архитектурасы

Бұл архитектура екі жолмен жүзеге асырылады: тегіс және иерархиялық желілер.

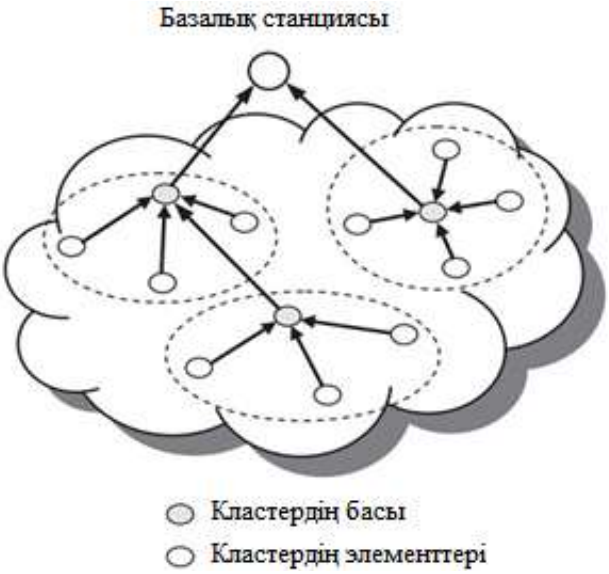
Тегіс желіде сенсор түйіндерінің қосалқы жолдары болады; сенсордың барлық жұмысы сенімді резервтеуімен қамтамасыз етілген. Мұндай архитектурада БС сенсор түйіндеріне командалар жібереді, өз кезегінде, сұраныс жіберілген түйін ең жоғары басымдылық жолымен жауап береді.

1.6-суретте көп секірмелі жалпақ архитектураның схемасы келтірілген [5].

1.6 сурет – Көп секірмелі жазық желі

Иерархиялық желіде желілік түйіндер кластер түрінде топтастырылған, датчиктер барлық ақпаратты кластердің негізгі түйіндеріне жібереді. Соңғысы ақпараттыңтобын БС- ға жібереді.

1.7 сурет - бұл көп секірмелі иерархиялық архитектураның схемалық диаграммасы.



1.7 сурет – Көп секірмелі иерархиялық желілік архитектура

1.2 Сенсорлық желілер топологиялары

Сенсорлық желілерде біріктірілген көптеген түйіндер болуы мүмкін, олар үлкен болуы мүмкін. Мұндай желілердегі түйіндердің көпшілігі жұлдыз, ағаш және mash сияқты топологияларда біріктірілген.

«Жұлдыз» топологиясында орталыққа коммутациялық қондырғы орнатылған және оған барлық сенсор түйіндері қосылған. Жұлдыз топологиясы барлық кезеңдерде, оның ішінде дизайнмен де жүзеге асырудың

қарапайымдылығымен кең таралды. Желінің бүкілінің жұмыс істеуі орталық түйіннің жұмысына байланысты болғандықтан, коммутатордың жұмысындағы ақаулық бүкіл желінің істен шығуына әкеледі. Барлық функционалды жүктеме коммутаторға түседі.

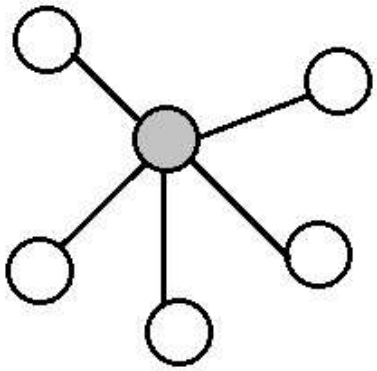
«Жұлдыз» топологиясында келесі артықшылықтарды ажыратуға болады [6]:

- осы топологияның желісі мен жұмысының қарапайымдылығы;
- желілік ақауларды іздеуді және жоюды жеңілдетеді, өйткені желінің орталық компоненті бар және ақауларды диагностикалау оңай;
- деректер жолы минималды, өйткені аралық түйіндер жоқ;
- деректерді беру деңгейінің қауіпсіздігі жоғары.

Бірақ желінің кемшіліктері де бар:

- желі жұмысының желінің орталық түйінінің жұмысына тәуелділігі;
- бүкіл желінің өнімділігі коммутаторға байланысты;
- егер орталық түйін ресурстарды қажет ететін мәліметтерді өңдейтін болса, онда бұл желі барлық сенсорлық түйіндерінің жұмысына әсер етеді.

1.8 сурет сенсорлар желісінің жұлдызды топологиясын бейнелейді. Барлық түйіндердің орталық түйінге комутатор арқылы қосылғанын көреміз [6].



1.8 сурет – «Жұлдыз» топологиясы

Ағаш топологиясы - бұл иерархиялық желі. Ең жоғарғы түйін болып табылатын түбір түйіні ең маңызды түйін ретінде әрекет етеді. Түбір түйіні келесі түйіндерге және т.с.с. иерархияға қосылады. Негізгі түйінде жүктеме мен қуаттың шығыны жоғары болады, ал иерархиядағы түйіндер азайғанда, жүктеме мен қуатты тұтыну деңгейі де төмендейді.

Бұл топология 2 топологияға негізделген - шина және жұлдыз. Ол пайдаланушыларға көптеген серверлерге қол жеткізуге мүмкіндік беретін масштабталатын иерархиялық желіде қолданылады.

Артықшылықтардың ішінде біз келесілерді бөліп көрсетеміз:

- икемділік. Жаңа түйіндерді қосу оңай. Осылайша, бірнеше түйіндердің қосылуын бір уақытта ұйымдастыруға болады;

- бақылауға оңай. Ірі желілерді конфигурациялау оңай, бақылау және басқару оңай;

- масштабтылық. Негізгі түйіндерде жаңа байланыстар болуы мүмкін. Осылайша, жоғарыдан төмен қарай желі тармақталып өседі;

- қол жетімділік. Барлық желілік түйіндер коммутаторлар мен маршрутизаторларға ең қолайлы бағытты алады;

- қателіктерге төзімділік. Егер бұтақтардың біреуі істен шықса, басқа бұтақтарға әсер етпейді;

- мәліметтермен алмасу. Компанияның көлеміне немесе үлкен аумағына қарамастан деректерді беруге болады;

- орнатуды жеңілдетіп, көптеген жабдықтар мен бағдарламалық жасақтама қызметтерін жеткізушілеріне қолайлы;

- трафиктің деңгейі төмендейді.

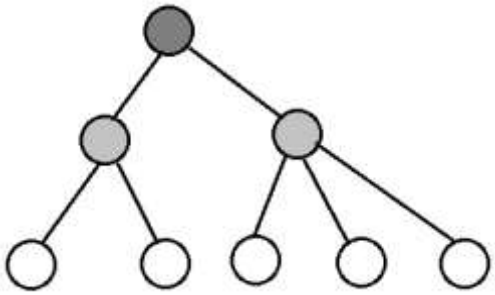
Кемшіліктері:

- егер орталық жабдық немесе магистраль істен шықса, бүкіл желі қол жетімсіз болады;

- кабельдік желілерге көп шығын шығады;

- бақылау. Ағаш топологиясына негізделген желілерге тәулік бойы бақылау қажет.

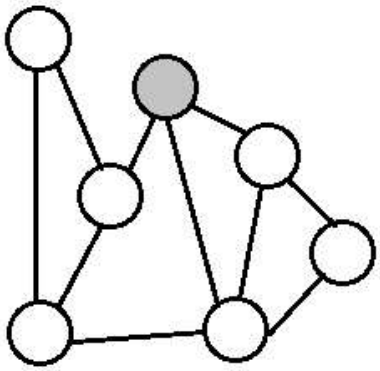
1.9-суретте ағаш топологиясы көрсетілген. Біз иерархияны көреміз, жоғарғы жағында ата-аналық түйіндер, ал төменгі жағында түйіндер бар [6].



1.9 сурет – «Ағаш» топологиясы.

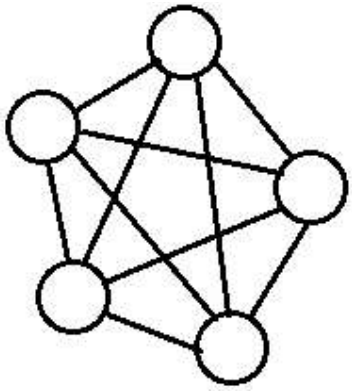
Mesh топологиясында тор сенсор түйіндері бір-бірімен байланысқан ұяшықтардың айналасына салынған. Желілік түйіндер басқа түйіндер үшін коммутация функцияларын орындай алады. Бұл топология конфигурациясы бойынша күрделі, бірақ ақауларға төзімділік деңгейі жоғары. Желілік бөлімдердің біріндегі кабельдің үзілуі бүкіл желі бойынша ақауларға әкелмейді және төзімділігі жоғары болып табылады. Mesh топологиясы толық байланысқан және толық байланыспаған болып бөлінеді. Толық байланысқан топологияда барлық түйіндер бір-бірімен байланысқан, ал екіншісінде барлық түйіндер бір-бірімен байланыспаған.

1.10 суретте толық байланыспаған Mesh топологиясының мысалы келтірілген.



1.10 сурет – Mesh желісінің толық байланыспаған топологиясы

1.11-суретте толық байланысқан Mesh топология көрсетілген.



1.11 сурет – Толық байланысқан Mesh желісінің топологиясы

1.3 Талшықты-оптикалық датчиктер туралы жалпы түсінік

Қазіргі кезде сенсорлық желінің заманауи технологияларына келесі талаптар қойылды [6]:

- ұзаққа жарамдылығы;
- жұмыс процесі үшін төмен энергия шығыны;
- кішкентай өлшем;
- төмен салмақ;
- қорытынды бойынша ең нақты ақпарат;
- төмен баға;
- тұрақтылық.

Қарқын алған талшықты-оптикалық датчиктер жоғарыда келтірілген әдістемелік және телекоммуникациялық жүйелерге қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді.

Талшықты-оптикалық жүйелердің өзектілігін түсіндіру үшін оларды бұрын белсенді қолданылған электр датчиктерімен салыстырайық.

Электр датчиктерінде дыбыс, қысым деформациясы, діріл, көлбеу бұрышын өлшеу кезінде оларды пайдалануға шектеулер бар. Электр

датчиктері электр энергиясы негізінде жұмыс істейді, осыған байланысты оларды жарылыс қаупі бар ортада қолдануға жол берілмейді. Мұндай жүйелердің контактілерде ұшқын пайда болуы қаупі барсол себептен жарылуға әкеліп соғу мөмкін.

Тағы бір үлкен кедергі бар ол сызықтағы сигналдың әлсіреуі және бұрмалануы, ең алдымен бұған сызықтың ұзындығы әсер етеді. Байланыс арналарында сигнал беру ауқымы аз, бұл олардың функционалдығын айтарлықтай шектейді. Сонымен қатар, детектор мен қабылдағыш арасындағы ауысу кезінде импульс айтарлықтай бұрмалануға ұшырайды. Бұл иондану мен сәулеленудің әсерінен болады.

1.12 суретте шамаларды өлшеуге және бекітуге арналған электр сенсоры көрсетілген.

1.12 сурет – Шамаларды өлшеуге және бекітуге арналған электр сенсоры

Талшықты-оптикалық датчиктерде бұл ақаулар жоқ олардың жұмысы сенсор мен хабар беру желісі арқылы жарық түріндегі ақпаратты таратуға негізделген. Мұндай сенсордағы сигналдың бұрмалану ықтималдығы минималды. Датчиктің жұмыс істеу принципі - лазерлік сәулелену спектрінің сипаттамаларын және анықтау құрылғысының кірісіндегі нәтижені салыстыру. Сенсорды реттеу факторларына қарамастан температура, қысым, діріл, сыртқы фактордың әсерінен жарық ағыны қасиеттерді өзгертеді және оны құрылғы өңдейді, ал сипаттамалардың өзгеруін тіркеу ең дәл болып табылады. Сондай-ақ, мұндай жүйе мультиплекстеу процесінсіз көптеген құрылғылардан алынған мәліметтерді бір жолға таратуға мүмкіндік береді.

Талшықты-оптикалық сенсор - бұл деректерді беру үшін оптикалық талшықты қолданатын шағын құрылғы. Оның әртүрлі шамалардың корреляциясын анықтайтын қабілеті бар сезгіш элементтің мүмкіндігі бар.Мұндай сенсордың мақсаты жүйенің индикаторларындағы өзгерістерді (шамалар мен мәндерді) тіркеу және оптикалық талшықтар арқылы сигнал беру.

Талшықты-оптикалық датчиктердің көмегімен сіз заттардың концентрациясын, айналу жылдамдығын, сыну көрсеткішін, сұйықтық деңгейін анықтай аласыз, температура мен механикалық әсердің мәндерін бақылап, қысым, стресс, діріл және басқа да мәндерді бақылай аласыз.

1.13 суретте оптикалық талшықты датчиктердің мысалдары көрсетілген.

1.13 сурет – Оптикалық талшықты датчиктердің мысалдары

Талшықты-оптикалық датчиктердің (датчиктердің) жұмыс істеу принципі - өткізілетін жарық толқынының параметрлерін модуляциялау. Осындай бірнеше параметрлер бар, оларға қарқындылық, фаза, поляризация және жиілік жатады. Бұл қасиеттердің өзгеруі өлшенген физикалық шаманың өзгеруімен бірге жүзеге асырылады.

Талшықты-оптикалық датчиктердің (датчиктердің) дизайны - бұл оптикалық талшықтың, сыртқы қабықтың және сезімтал компоненттің құрамы.

Оптикалық талшық мұндай датчиктердің ең маңызды компоненті, бұл талшық магистралі арқылы жарық толқыны өтетін жұқа шыны жіп. Оптикалық талшық өз кезегінде 3 бөліктен тұрады: ядро, ішкі қаптама, сыртқы қаптама.

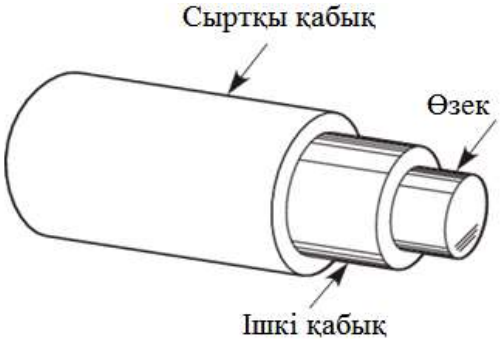
Өзек - бұл оптикалық талшықты кабель бойымен жарық толқынының таралуына жауап беретін талшық компоненті. Талшықтың осы бөлігінің абсолютті сыну көрсеткіші ішкі қаптамаға қарағанда үлкен. Бұл жарық толқынының толық ішкі шағылуына жағдай жасайды. Олар көбінесе шыныдан жасалады, ал диаметрі бір режимді оптикалық талшық жағдайында әдетте 9 мкм, ал көп режимді жағдайда 50, 62,5 мкм құрайды. Қабықтың

диаметрі 125 мкм. Өзек бойымен таралатын жарық толқыны қабықтан бірнеше рет шағылысып, межелі жерге жетеді.

Ішкі қабық жарық толқынының шағылыстырылуына, бірнеше рет шағылысып, межелі жерге жетуге және жарық сәулесінің траекториясын түзетуге арналған. Бұл қаптама сыну көрсеткішіне байланысты жарық сәулелерінің өзектен кетпеуіне жағдай жасайды. Ішкі қаптаманың шағылысу қабілеті жоғары болған кезде, жарық сәулесі талшық арқылы тезірек өтеді.

Сыртқы қабықтың мақсаты - сыртқы физикалық әсерлерден қорғау. Қаптама қоршаған орта факторларынан, химиялық және физикалық әсерлерден қорғайды. Қаптаудың максималды қалыңдығы 250 микронға дейін.

1.14 суретте оптикалық талшықтың дизайны көрсетілген, біз оның ішкі және сыртқы қаптамаларын, өзегін көреміз.



1.14 сурет – Талшықты-оптикалық кабельді жобалау

Түрлендіргіштің ең көп таралған түрі - Брэгга торлы талшықты-оптикалық түрлендіргіш. Келесі бөлімде талшықты-оптикалық датчиктердің осы түрінің жұмыс істеу принципін қарастырамыз.

1.4 Брэгг талшықты торы

Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктер кеңінен қолданылады. Мұндай сенсор құрылғысындағы торлар жарық толқындарын көрсетеді, онда спектрлік сипаттама, атап айтқанда толқын ұзындығы қарастырылатын сипаттаманың өзгеруімен (температура, деформация) бірге ауысады.

Тордың дизайны керемет, өйткені өзектың ішінде мезгіл-мезгіл уақыттағы сыну көрсеткіші өзгеретін аймақ бар. Тор дизайнындағы бұл аймақ Брэгг торы деп аталады.

Талшықты-оптикалық кабель арқылы таралатын сәуле бірнеше режимдердің тіркесімі болып табылады: басқарылатын және радиациялық. Оптикалық талшықтың сәулелік режимдері үздіксіз функцияны жасайды, ал басқарылатын режимдер беріліс тұрақтылығының дискретті жиынтығымен корреляциялануы мүмкін. Егер сыну көрсеткіші өзгермесе, режимдер бір-бірімен әрекеттеспейді. Осыған байланысты сыну көрсеткішінің модуляция

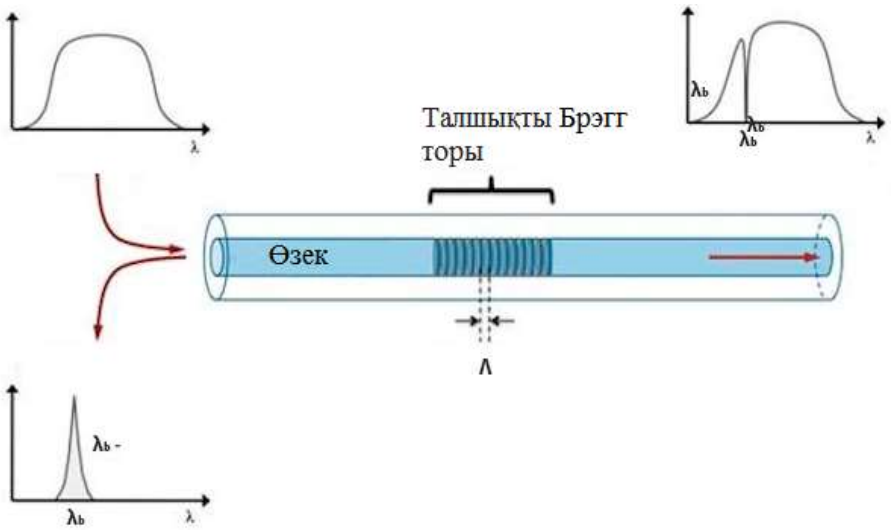
кезеңі оптикалық талшықтың белгілі бір режимдерінің арасында резонанстық өзара әрекеттесуді қамтамасыз етуге жағдай жасау үшін таңдалады. Сыну көрсеткішінің таңдалған модуляциясы қарама-қарсы бағытта берілетін оптикалық талшықтың режимімен байланыстыруды ұйымдастырады.

Кең жолақты сәулелену Брэгг торы арқылы беріледі, онда барлық аймақтардан шағылысатын сыну көрсеткіші бар шағылысулар белгілі бір толқын ұзындығына ғана кедергі келтіреді, оны Брагга толқын ұзындығы деп атайды. Брагга толқынының формуласы (1.2) формулада келтірілген.

Соңымен, Брэгг торы кейбір толқын ұзындығын шағылыстыруға қабілетті, ал басқалары талшық арқылы беріледі.

Брэгг толқынының ұзындығы тордың периодына байланысты болғандықтан, әртүрлі толқындар өте алатын талшықты Брэгг торларын жасауға болады.

Төмендегі 1.16-суретте Брэгг талшықты торының орналасуы көрсетілген. Суретте толқындардың оптикалық талшық өзегінен өтуі көрсетілген. Брэгг торының өзі қалай орналасқанын, тор кезеңдері, сигнал спектрі қалай өтетінін көреміз.



1.16 сурет – ТБТ құрылғысы

Оптикалық талшық арқылы берілетін жарық сәулесі сыну көрсеткішінің торының барлық беттері бойынша шашыраңқы. Егер Брэгг шарты орындалмаса, барлық беттерден шағылған жарық сәулелері фазаға түспейді, бұл жарық сигналының әлсіреуіне әкеледі.

Тордың шетінен шағылысатын жарық сәулелері бүктеліп, талшық бойымен кері бағытта беріле бастайтын Брэгг шартына сәйкес келетін ұзындықтар үшін.

Қазіргі уақытта ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктердің технологиясы айтарлықтай инновациялық болып табылады және физикалық шамалардың талшықты-оптикалық датчиктерінің жоғары сезімталдығына

байланысты қолданушылардың әр түрлі санаттары тарапынан сұранысқа ие. Қазірдің өзінде Брэгг талшықты торына негізделген сенсорлар телекоммуникация, электр энергетикасы, құрылыс, түсті және қара металлургия, медицина өнеркәсібі және т.б. сияқты әртүрлі салаларда және салаларда кеңінен қолданылады.

Оптикалық талшықты датчиктердің осы түрінің артықшылықтарына мыналар жатады:

- сезімтал элементтердің шағын өлшемдері;
- ЭҚК-тен иммунитеттің жоғарылауы;
- ТБТ сенімділігі;
- радиацияға төзімділік;
- әр түрлі салаларда өлшеуді қолданудың кең спектрі;
- жүйе компоненттерінің сезімталдығын мультиплекстеу мүмкіндігі.

1.5 Негізгі мақсаттар туралы ақпарат

Брэгг талшықты-оптикалық датчиктеріне негізделген сенсорлық желіні ұйымдастыру үшін келесі әрекеттерді орындау қажет:

- Брэгг торына негізделген датчиктердің түрлерін сипаттаңыз;
- Брэгг торына негізделген қажетті трансивер жабдықтарын, байланыс желілерін, базалық станцияларды, датчиктерді таңдаңыз.
- датчиктер желісінің жобасын жүзеге асыру;
- сәйкес есептеулерді орындау;
- тіршілік қауіпсіздігі бойынша есептеулер жүргізу;
- маркетинг жоспарын, бизнес-жоспар құру және сәйкес есептеулер жүргізу.

2 Сенорлық желінің құрылымы

2.1 Қолдану туралы бойынша датчиктердің жіктлеуі

Алдыңғы тарауда біз Брэгг торларына негізделген талшықты-оптикалық датчиктердің негізгі түсініктері мен жұмыс принципін талқыладық. Бұл тарауда датчиктердің қолданылуына байланысты жіктелуі қарастырылады. Датчик құрылғысының мақсатына байланысты оларды сенсорлық желіде қолдану нұсқаларын талдауға болады.

2.1.1 ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық температура датчиктері

ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктер температураны өлшеу үшін сезімтал компоненттер ретінде кеңінен қолданылады. Температураны өлшеу үшін сенсор термоптикалық әсер принципін қолданады. Бұл принциптің мәні мынада: сыртқы температураға ұшыраған кезде, талшықтың құрылымы талшықтың Брэгг торымен бірге өзгереді. Сыртқы температураны өзгерткеннен кейін орталық толқын ұзындығы өзгереді. Орталық толқын ұзындығының температураға тәуелділігіне байланысты жоғары дәлдіктегі температура сенсоры жасалады.

Сыртқы температура әсерінен толқын ұзындығының салыстырмалы өзгеруін табу үшін 2.1 формуланы қолдануға болады:

$$\frac{\Delta\lambda_{BG}T}{\lambda_B} = \frac{1}{\lambda_B} \cdot \frac{d\lambda_B}{dT} = \left(\frac{1}{n_{eff}} \cdot \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} - \frac{\partial n_{eff}^2}{2} \cdot (p_{11} + 2p_{12})\alpha T + \alpha T\right) \quad (2.1)$$

мұндағы, $\Delta\lambda B$ - 1 Кельвин температурасының сыртқы әсерінен БТТ шағылысының толқын ұзындығының өзгеруі;

$\partial n_{eff}/\partial T$ - термооптика коэффициенті;

p_{11} және p_{12} - бұл Pockels тұрақтылары (0.113 және 0.252);

αT - Брагг негізіндегі талшықтың жылулық кеңею коэффициенті.

Қапталмаған талшық сенсоры 300 °C дейінгі температураны өлшеу үшін қолданылады. Бұл ауқымды кеңейту үшін композиттік материалдарға негізделген оптикалық талшықты жабыны қолданылады.

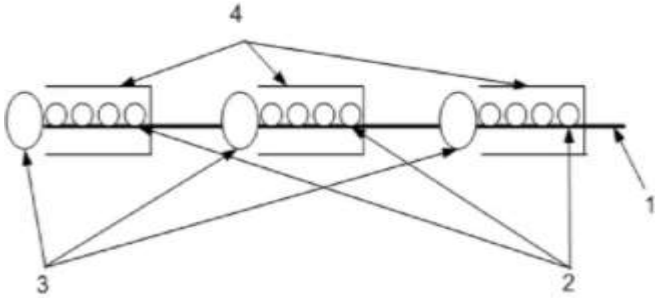
Жоғары температураға ұшыраған кезде датчиктердің тұрақты жұмысы үшін ТБТ термиялық күйдіру орындалады. Талшықты-оптикалық температура датчиктері сенсорлық желілерде кішігірім өлшемдерге және датчиктердің көп мөлшерін бір оптикалық талшыққа көбейту мүмкіндігіне байланысты кеңінен қолданылады. Мұндай датчиктердің кішкентай мөлшері оларды бір құрылымға біріктіруге мүмкіндік береді.

Мысал ретінде температураны өлшеуге арналған роликті подшипникті пайдаланып, Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктерді қолдануды қарастырайық (2.1-сурет).

Ал 2.2-суретте біз ТБТ талшықты-оптикалық сенсорының дизайнын көрсетеміз.

2.2 суреттегі: 1 - оптикалық талшық, 2 - ТБТ, 3 - механикалық кернеулік концентратор, 4 - қорғаныс қабығы.

2.1 сурет – Брэгг торы негізінде температура талшықты-оптикалық датчиктерін қолдануы



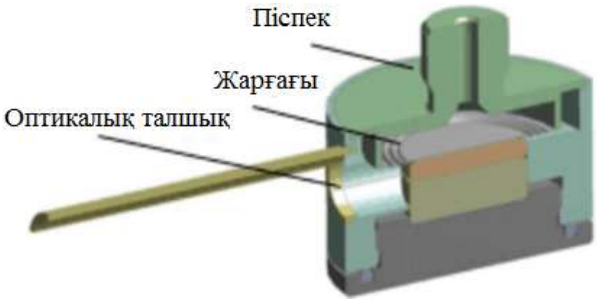
2.2 сурет – Талшықты-оптикалық температура датчигінің құрылысы

2.1.2 Талшықты Брэгг торларын қолданатын талшықты-оптикалық қысым датчиктері

Бүгінгі таңда қысым деңгейін бақылауға арналған шешімдер саны өте көп. Нарықта әр түрлі талшықты Брэгг торлы қысым датчигі жүйелері бар.

Оптикалық сәулелердің қарқындылығын өлшеуге негізделген қысым датчиктерімен салыстырғанда, Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық қысым датчиктерінің бірнеше артықшылығы бар. Талшықты-оптикалық Брэгг торының сенсорына келетін деректер сәулеленудің толқын ұзындығына кодталады. Бұл процесс ажыратылатын және ажыратылмайтын қосылыстардағы шығындарға, оптикалық сигналдар көзінің қуатына және басқа параметрлерге байланысты емес. Мұндай датчиктерді пайдалануы кедергі мен шуды азайтуға мүмкіндік береді, жүйенің сенімділік деңгейін жоғарылатады. Қысым датчигі Брэгг торында негізделген жүйелерінің өлшемдері аз болғандықтан, олар әртүрлі салалардағы, мысалы, тұрғын үй құрылысы, мұнай-газ және машина жасау салаларындағы параметрлерді бақылау үшін кеңінен қолданылады.

Мұндай датчиктердің жұмысы келесі принципке негізделген - Брэгг торының талшығына қысым орталық шағылысқан толқын ұзындығының ығысуына әкеледі. Орталық толқын ұзындығының ығысуы Брэгг торының периодының механикалық өзгеруінен болады. Орталық толқын ұзындығының осы ығысуын басқара отырып, қолданбалы механикалық әсерлесуді сыртынан бағалауға болады. 2.3 суретте ТБТ бекітілген мембранасы бар капсуланың құрылымы көрсетілген.

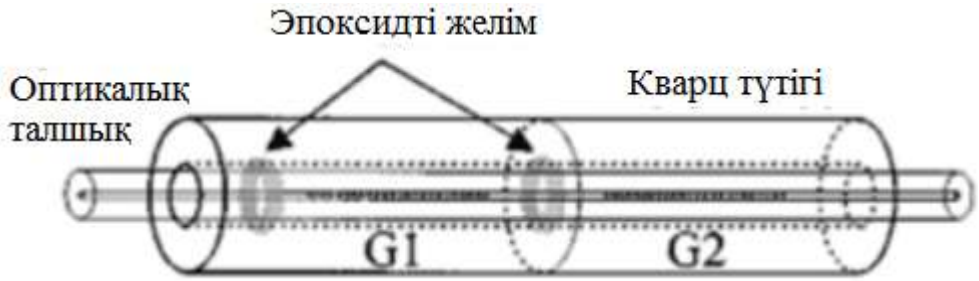


2.3 сурет – Брэгг торы негізінде талшықты-оптикалық қысым датчигінің құрылысы

Бұл құрылымның ерекшелігі - сыртқы механикалық әсерді оптикалық талшықтың барлық аймақтары бойынша біркелкі бөлу. Осының арқасында Брагг тор спектрінің біркелкі емес жылжуын және оның бұрмалануын болдырмауға болады. Бұл талшықты датчиктерді әртүрлі параметрлерді анықтауда ең дәл етеді. Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық сенсорлық жүйелерді құру - бұл үлкен процесс. Қиындық Брагг торының сыртқы ортаның температуралық диапазонының өзгеруіне сезімталдығында. Бұл пайда болған сигналдың температурасының өзгеруіне әкеледі. Бұл мәселені шешу үшін температураның қосымша өтемақысы енгізіледі, бұл сенсор жүйесін қиындатады. Қосымша температуралық компенсация ретінде келесі технологиялар қолданылады: екі ең жоғары шағылысумен бар ТБТ-ні құру, аралас ТБТ-ні қолдану. Температураны өтеудің ең көп қолданылатын әдісі - бұл екі ТБТ механизмі. Мұндай жүйеде бірінші тор сыртқы әсер ету факторын өлшеуге арналған, ал екіншісі температураны өтеу үшін қолданылады.

Талшықты-оптикалық сызықтарды қолданатын және шыны кварц түтігінде орналасқан сенсорлық құрылымды қарастырайық. Сенсорда 10 мм аралықта орналасқан екі талшықты Брэгг торы бар. Осы типтегі сенсордың құрылымы 2.4 суретте көрсетілген.

Кварц түтігінің келесі параметрлері бар: оның ішкі диаметрі 650 мкм, сыртқы диаметрі 2950 мкм, ал ұзындығы 30 мм. Брэгг талшығының торы осындай кішкентай өлшемдерге ие. Брэгг торының шағылысуы әдетте 80 пайызды құрайды .

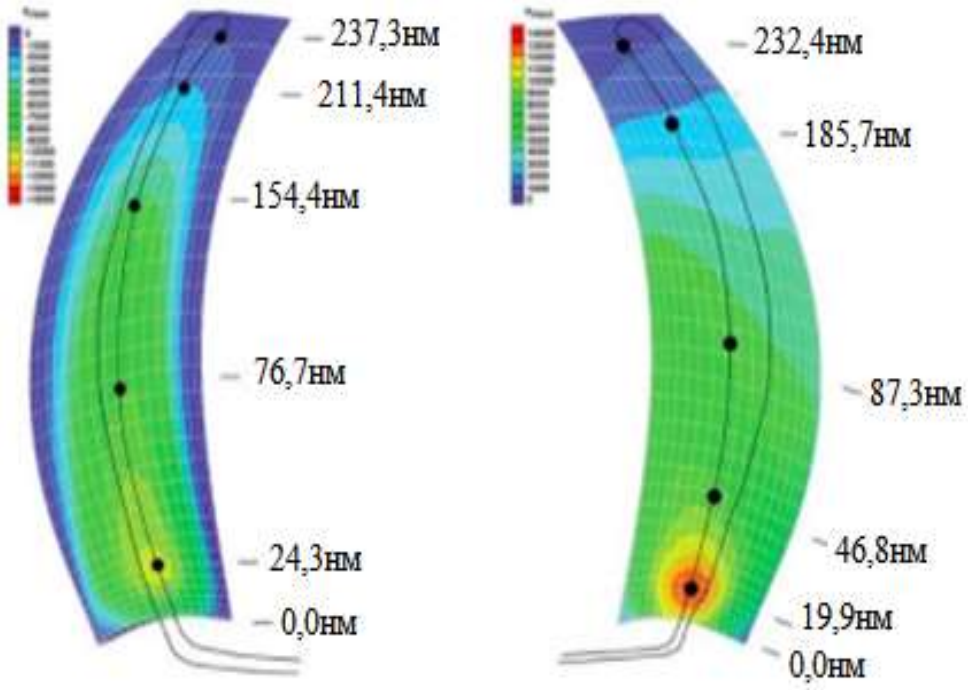


2.4 сурет – Кварц түтігі негізінде температура компенсациясын қамтамасыз ету үшін Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктің құрылымы

G1 талшығының торы ешқандай жағдайда қысымның өзгеруіне тәуелді емес, оның сезімталдығы температураның өзгеруіне байланысты. G2 талшықты торы температура мен қысымның өзгеруіне байланысты. Температураны өтеудің бұл түрінің артықшылығы оның ықшам мөлшері мен қарапайым құрылымында. Кемшілігі - температураның эпоксидті желімнің параметрлеріне тәуелділігі. Мұндай түтік 1000 мкм / м жететін сыртқы қысымға төтеп бере алады. Сырттан Брэгг торына қысым күшейген кезде G1 ауысады, соның салдарынан өлшеу қателігі жоғарылайды. Мұндай сенсорды қолдануға мысал ретінде материалды деформацияны бақылау құрылғысы

алуға болады. Брэгг талшықты торын пайдаланудың мысалы ретінде материалды деформацияны бақылау құралы келтіруге болады.

2.5 суретте ТБТ орналасқан жері және кернеулер диаграммасын ұйымдастыру нәтижелері көрсетілген.



2.5 сурет – ТБТ негізінде датчиктің механикалық кернеуінің сызбасы

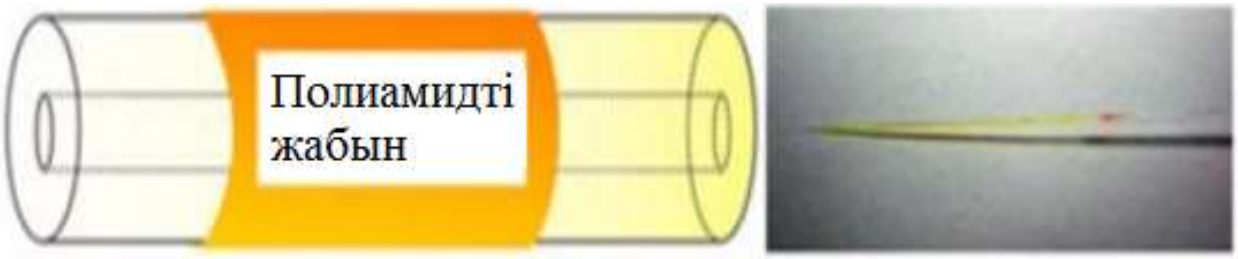
2.1.3 ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық ылғалдылық датчиктері

Ылғалдылық деңгейін бақылау үшін талшықты Bragg торларына негізделген сенсорлық желілер белсенді қолданылады.

Бұл талшықты-оптикалық датчиктерде салыстырмалы мән көбінесе ылғал деңгейін өлшеу үшін қолданылады. Талшықты-оптикалық ылғал датчиктер өнеркәсіпте, ауыл шаруашылығында, фармацевтика мен медицинада, әртүрлі метеорологиялық қызметтерде кеңінен қолданылады.

Ылғалдылық сақтау қоймаларындағы, серверлік және телекоммуникациялық бөлмелердегі және т.б негізгі сипаттамалардың бірі болып табылады. Кең шеңберлердегі ылғал датчиктері механикалық, гравиметриялық және резистивті болып табылады.

Ылғалдылық датчиктерінің жұмысы қоршаған ылғалдылыққа сезімтал полимер материалының сипаттамаларын бақылауға негізделген. Ең көп тарағандары ыстыққа төзімді полимерлер. Мұндай материалдар оптикалық талшықты жабады және қоршаған ортадағы ылғалдың концентрациясына байланысты не қысқарады, не кеңейеді. Сигналды өңдеуге арналған құрылғы оның кеңеюіне немесе қысылуына байланысты орталық толқын ұзындығының өзгеруін жазады. Осылайша қоршаған ортадағы ылғал өлшенеді. Сенсордың бұл түрі 2.6-суретте көрсетілген.



2.6 сурет – Полимерлі жабыны бар оптикалық талшық және оптикалық ылғал сенсорының сыртқы түрі

Брэгг торы талшықты-оптикалық ылғал сенсорларының басқа датчиктерге қарағанда ерекше артықшылықтары бар. Брэгг торы негізіндегі талшықты-оптикалық ылғал сенсорларының басқа датчиктерге қарағанда айқын артықшылықтары бар. Артықшылықтарына мыналар жатады: ықшам өлшемдер мен коррозиядан қорғау.

Кемшіліктерге діріл, температура, қысым сияқты параметрлердің Брагг торына әсер етуі жатады. Бұл сыртқы әсерлер мәселесін шешу үшін өтемақы механизмі қолданылады. Өтемақы жүйесін енгізудің арқасында сенсор температура мен қысымның әсерін жояды.

2.1.4 ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық коррозия датчиктері

Темір құрылғылардың коррозия дәрежесін талдау үшін осы құрылымдардың үлгілеріне химиялық талдау жасалады. Бұл әдісті іске асыру үшін құрылымды металл шыбықтармен зондтау қолданылады. Бұл әдістің артықшылығы - материалдың коррозия деңгейін бағалаудағы дәлдік.

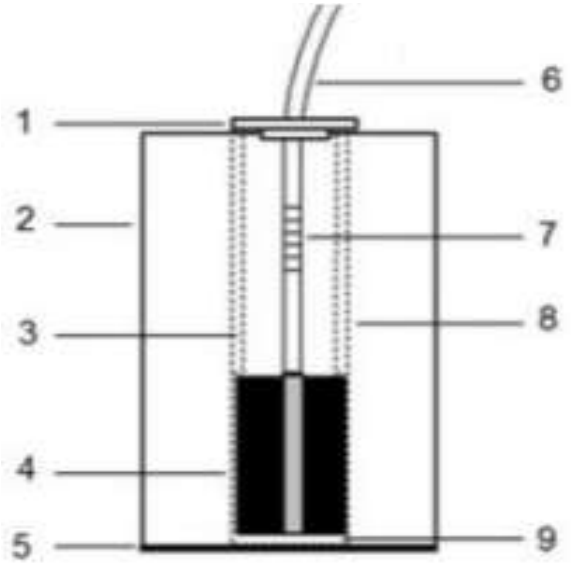
Кемшілігі - зондтау жабдықтың қымбаттығы. Мұндай жүйелердің беріктігі, құрылымдағы қосымша кемшіліктердің қосылуына байланысты, кепілдік берілмейді.

Брэгг торының оптикалық коррозия датчиктері күрделі құрылым болып табылады. Брэгг торы жазылған оптикалық талшық полимер қабатымен жабылған. Мұндай полимер қабаты хлорид концентрациясының өзгеруіне сезімтал. Егер хлорид концентрациясы жоғарыласа, бұл оптикалық талшық қосылған материалдың өлшемдерінің өзгеруіне әкеледі. Осындай механикалық әсер ету кезінде Брегг торының орталық толқын ұзындығы ығысады. Мұндай датчиктер мұнай-газ объектілерінде, газ құбырларында, ыстық отынды сақтауға арналған резервуарларда кеңінен қолданылады. Сондай-ақ, осындай датчиктердің көмегімен көлік және теңіз кемелерінің мәртебесін тексере алуға болады.

Бактағы коррозия деңгейін тіркеуге арналған сенсордың дәлдігі 1 мм жетуі мүмкін. Мұндай датчиктердің артықшылықтарына дизайнның қарапайымдылығы және арзан баға жатады, егер объект зақымдалған болса, оларды анықтау дәлдігі жеткілікті жоғары деңгейде. Кемшіліктері сканерлеудің ұзақ уақыты және датчиктердің көптігі бар сенсорлық желіні жобалаудың ауыр процесі.

Мұнай мен газ объектілерін бағалауға арналған Брэгг торы бар талшықты-оптикалық датчиктердің саны өте көп. Брэгг талшықты-оптичкалық датчиктерімен коррозия деңгейін өлшеу арқылы материалдың қалыңдығының бұзылуын зерттеуге болады.

2.7 суретте ТБТ негізінде талшықты-оптикалық коррозия датчигі көрсетілген.

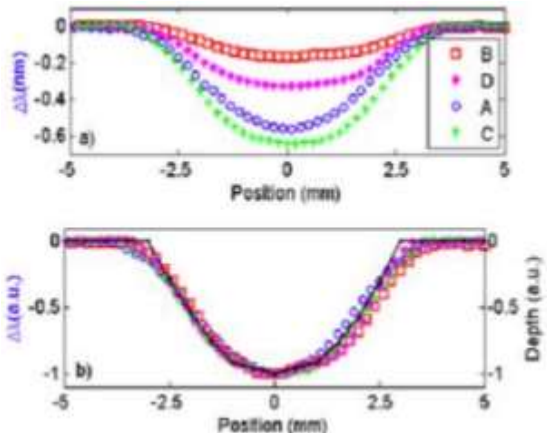


2.7 сурет – ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық коррозия датчигі

Суретте біз сандық белгілерді көреміз, мұндағы 1 - тірек, 2 - корпус, 3 - втулка, 4 - магнит, 5 - сенсордың сезімтал бөлігі, 6 - оптикалық талшық, 7 – талшықты Брэгг торы, 8 - бағыттаушы, 9 - ауа саңылауы.

2.8 суретте коррозия датчиктерінің орналасуына орталық толқын ұзындығының тәуелділігі көрсетілген.

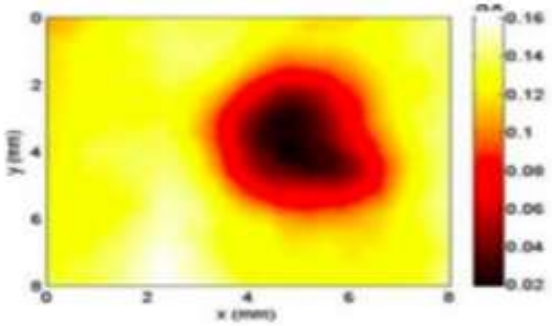
Брэгг торының оптикалық талшығының бір ұшына кішкентай магнит қосылады, содан кейін ол арнайы корпусқа орналастырылады. Жеңнің ішкі бөлігінде магнит қозғалмайды, талшықтың екінші ұшы тіреуішпен ұсталады. Каретканың көмегімен талшықты-оптикалық сенсор зерттелетін объект жазықтығы бойымен қозғалады. Датчик қарастырылып отырған объект жазықтығы бойымен қозғалғанда, барлық ақаулар материал мен сенсордың сезімтал бөлігі арасындағы қашықтықты бұрмалайды. Қашықтықтың мұндай өзгеруі зерттелетін материал мен магниттің бір-біріне әсер ету күшінің өзгеруіне әкеледі. Қашықтықтың өзара әрекеттесуі мен бұрмалану күшінің мұндай өзгеруі талшықты-оптикалық Брэгг торының қысылуына әкеледі. Мұның бәрі сенсордың спектрлік қасиеттерінің өзгеруіне де қатысты.



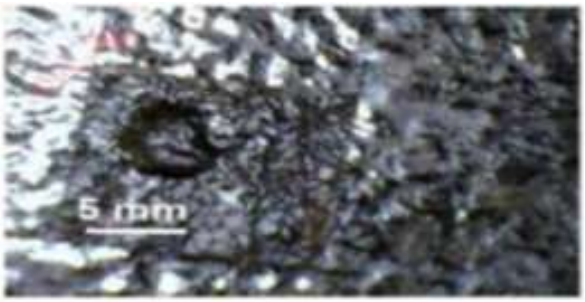
2.8 сурет – Орталық толқын ұзындығының коррозия датчиктерінің орналасуына тәуелділігі

Белгілі бір материалды тексеру кезінде сенсор қарастырылатын материал жазықтығы бойымен автоматты түрде қозғалатын күймеге бекітіледі. Өз кезегінде, материалда бұзушылықтар бар [12].

2.8-суретте қозғалыс осі бойымен әр түрлі пішіндегі магниттері бар күймектің қозғалысының нәтижелері көрсетілген. Суретте материал осі бойынша қосымша қозғалыстардың арқасында сканерленген нүктелердің нәтижелері көрсетілген.



2.9 сурет – Датчик өз осі бойымен қозғалған кезде материалды зерттеу нәтижелері



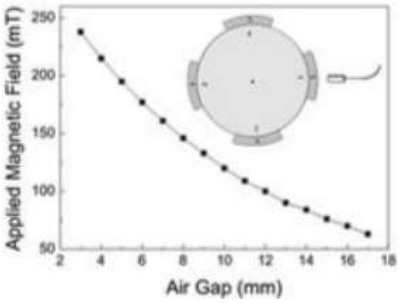
2.10 сурет – Датчик қозғалыс осі бойымен қозғалған кезде сыналатын материалдың сыртқы түрі

Бірінші суретте біз объектінің беткі қабатын зерттеу нәтижесінде алынған суретті көреміз, ал екінші суретте қарастырылып отырған заттың фотосуреті көрсетілген.

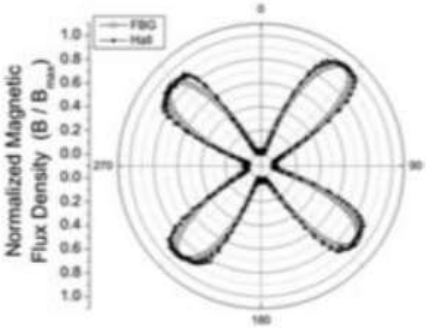
2.1.5 Брэгг талшықты торына негізделген талшықты-оптикалық магнит өрісінің датчиктері

Магнит өрісінің сипаттамаларын тексеру үшін Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктерді пайдалануға болады. Мұндай датчиктер электр жетектері мен электр генераторларының жұмысы кезінде магнит өрісін тексеру үшін қолданылады. Мұндай датчиктер олардың дәлдігімен ерекшеленеді, бұл оларды магнит ағынының тығыздығын өлшеуге мүмкіндік береді және электр құрылғыларының аппараттық ақауларын диагностикалауға мүмкіндік береді. Мұның бәрі датчиктерді өндірістік ақаулар мен подшипниктердің істен шығуын диагностикалау үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, қозғалатын бөліктерді теңгерімсіздендіру мүмкін болады.

ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық магнит өрісінің сенсорының жұмыс істеу принципі магнитострикция әсеріне негізделген. Бұл процесте магниттелуіне байланысты материалдардың көлемі мен мөлшері өзгереді.Оптикалық-талшықты магнит өрісінің сенсоры құрылған кезде оптикалық талшық шағын қабатпен жабылады. Магнит өрісінің әсерінен талшықты-оптикалық сенсор формасын өзгертіп, орталық шағылысқан толқын ұзындығының орнын өзгертетін Брэгг торына қысым жасайды.



2.11 сурет – Датчиктің магниттік полюстерден қашықтығына байланысты магнит өрісінің өзгеруі



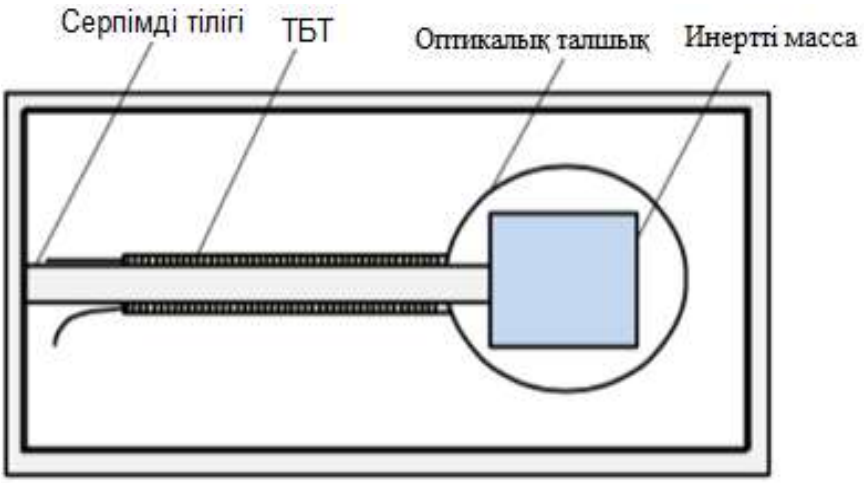
2.12 сурет – Талшықты-оптикалық датчиктің айналуына байланысты магнитострикцияның өзгеруі

2.1.6 Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық діріл датчиктері

ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктер сыртқы факторлардың әсерінен болатын әртүрлі механикалық жүйелерде төмен жиілікті тербелістерді анықтауға қабілетті. Бұл механикалық жүйелерге көпірлер, бөгеттер, теміржолдар, әуе желілері және автомобиль жолдары жатады. Датчиктерді қолдану зерттелетін механикалық жүйенің жұмыс істеу сапасын талдау кезінде дәлдікті арттырудың бірінші кезектегі міндеті болып табылады.

Датчиктің аппараттық құралында Брэгг талшықты-оптикалық жүйелерімен діріл деңгейлерін қамтамасыз ету үшін әр түрлі технологияларды қолданатын әртүрлі құралдар бар. Талшықты-оптикалық датчиктер ретінде діріл деңгейін өлшейтін құрылымдар қолданылады. Олардың жұмыс істеу принципі - қарастырылып отырған объектінің дірілін Брэгг торына негізделген механикалық әрекетке айналдыру, мұның бәрі шағылыстың орталық толқын ұзындығының ығысуына әкеледі. Деректерді өңдеуге арналған жабдық мұндай ауысуларды анықтайды. Мұндай жүйеге қойылатын ең маңызды талап - ақпаратты өңдеу жылдамдығы.

Оптикалық-талшықты датчиктің құрылымы 2.13 суретте көрсетілген.



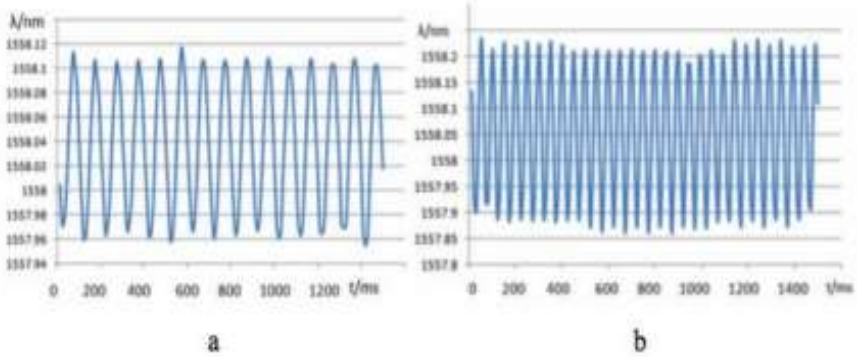
2.13 сурет – ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық діріл сенсоры

Брэггтың екі торы кронштейн жазықтығына бекітілген. Кронштейн серпімді пластинаның негізіне бекітілген, ол құрылғының корпусына бекітілген. Ал инертті масса екінші шетінде ілулі. Осылайша, кронштейн қарастырылып отырған дірілдің сыртқы әсерінен үнемі деформацияланады.

Брэгг талшықты тор кронштейні металл корпусқа мықтап еніп, қарастырылып отырған объектіге бекітіледі. Брэгг торлары кронштейннің екі жағында орналасқан және деформацияға ұшырайды. Бекітілген Брэгг торлары антифазада деформацияланады. Бұл үстіңгі тор созылған кезде, төменгі жағындағы тордың қысылатындығымен көрінеді. Мұндай жүйеде температураны өтеу қажет. Бұл қоршаған орта температурасының жоғарылауымен немесе төмендеуімен Брэгг торларының екеуінде де

шағылыстың орталық толқынының ығысуымен көрінеді. Осы ерекшелікке байланысты температура мен механикалық әсерлер бөлінеді.

2.14-суретте дірілге ұшыраған кезде Брэгг торының орталық толқын ұзындығының өзгерісі көрсетілген [14].

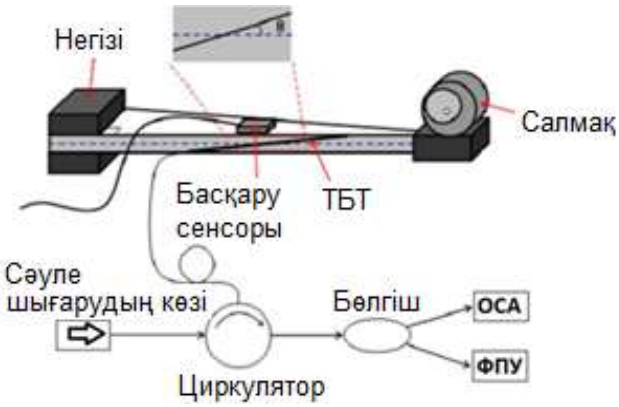


2.14 сурет – Діріл кезінде Брэгг торының орталық толқын ұзындығының өзгеруі

Бірінші графикта 10 Гц жиіліктегі дірілмен орталық толқын ұзындығының өзгеруі, ал екінші графикта - 20 Гц жиілікте көрсетілген.

Мұндай жүйеде максималды жиілік 500 Гц-қа жетуі мүмкін, ал дискретизация үшін - 1200 Гц. Оптикалық-талшықты датчиктердің бұл түрінің артықшылығы қарапайымдылығында және температуралық компенсацияны ұйымдастыруға болады. Мұндай жүйенің жетіспеушілігі - резонанстық жиіліктің төмен деңгейі. Мұның бәрі жиілік диапазонын шектейді.

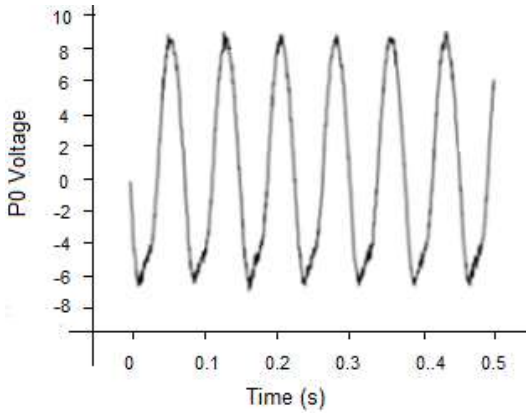
Діріл сенсорының жұмыс принципі 2.15 суретте көрсетілген. Брэгг талшықты торының ұзындығы 30 мм-ге жетеді.



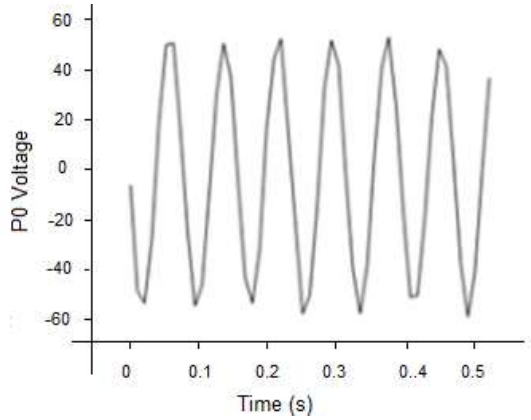
2.15 сурет – Талшықты-оптикалық діріл датчигінің жұмыс істеу принципі

Орталық толқын ұзындығы 1548,42 нм. Кронштейннің келесі параметрлері бар: оның ұзындығы - 320мм, ені - 45мм, қалыңдығы - 4мм. Кронштейн Янг коэффициенті 2022 Паскальға тең материалдан жасалған. Бір жағында кронштейн негізге мықтап бекітілген, ал екінші жағында 100 грамм

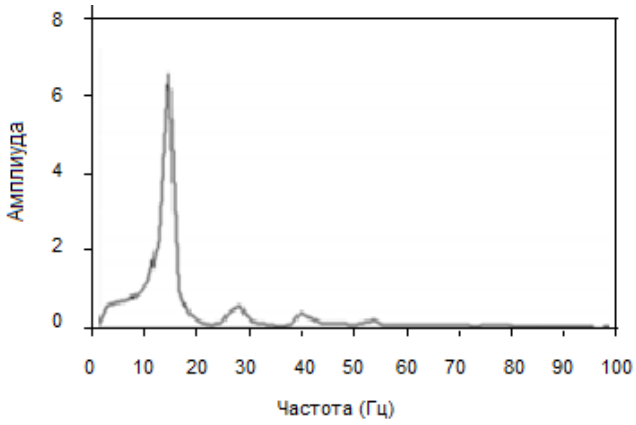
салмақ ілулі. Бір ұшына түсірілген салмақ сыртқы дірілдің арқасында кронштейнді бүгеді. Мұндай жүйеде Брагг торының ұзындығы бойынша біркелкі механикалық әсер ету үшін жағдай жасауға болады. Осыған байланысты сызықтық спектрдің деградация ықтималдығы нөлге жақындайды. 2.16-2.19 суреттерде зерттеу нәтижелері көрсетілген.



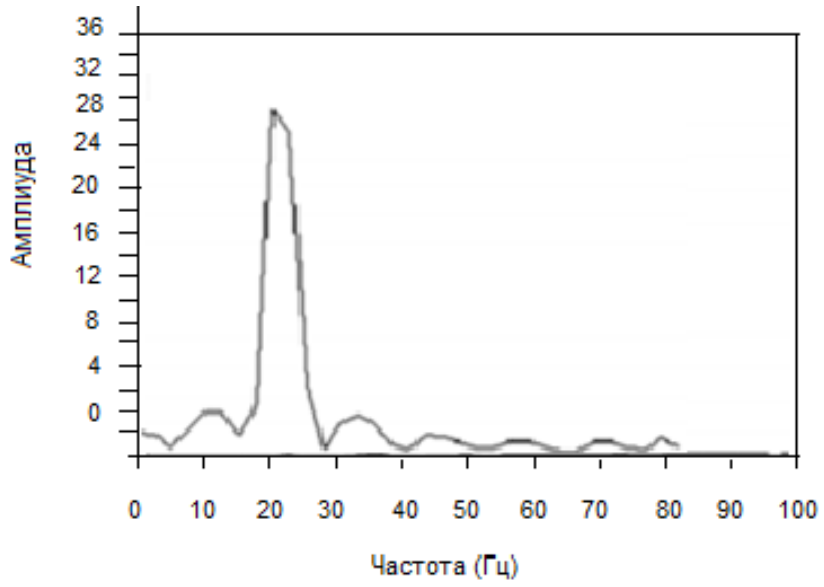
2.16 сурет – Оптикалық талшықты сенсордан сигнал



2.17 сурет – Бақылау өлшегішінен сигнал



2.18 сурет – Оптикалық-талшықты діріл датчигінің сигналының спектрі



2.19 сурет – Басқару талшықты-оптикалық діріл сенсорынан сигналдың сызықтық спектрі

Талшықты-оптикалық діріл датчиктерінің температураның өтелмеуі және жабдықтың жалпы өлшемдері сияқты кемшіліктері бар. Датчиктер Цельсий бойынша 300 градус температурада жұмыс істейді. Брэгг талшықты торын кронштейннің соңына орнату арқылы ол Брэгг торының бүкіл ұзындығы бойынша біркелкі механикалық әсер ету мүмкіндігін ашады. Бұл жағдайда спектрдің деградация ықтималдығы едәуір төмендейді. Нақты мәндер мен басқару мәндері арасындағы қателіктер 1 пайыздан аспайды.

2.2 Сенсорлық желі жобасына арналған жабдыққа шолу

Брэгг торларына негізделген талшықты-оптикалық сенсорлық жүйелердің нарығы әр түрлі. Бүгінгі күні сенсорлық желілерде сенсорлардың бұл түрі белсенді қолданылады және нарықтағы үлкен үлесті иеленді.

Бүгінгі таңда «НЦВО-Фотоника» ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктер өндірушілерінің арасында ерекшеленеді. Бұл өндіруші сенсорлардың алуан түрін шығарады. Осы өндірушінің кейбір датчиктерін қарастырайық.

Температура датчиктері төрт серияда ұсынылған: OSCT, OSMT, OSHT және зонд типіндегі датчиктер. Бұл датчиктердің әрқайсысы белгілі бір температураға арналған.

OSCT талшықты-оптикалық датчиктері Цельсий бойынша 40-тан 150 градусқа дейінгі температураға есептелген.

Осындай датчиктердің көмегімен әр түрлі жүйелердің температураларын өлшеуге болады.

Мұндай датчиктердің 3 нұсқасы бар: оның екеуі - ОССТ-311 және ОССТ-313 криогендік болаттан жасалған, ол іс жүзінде коррозияға ұшырамайды және ОССТ-312 полиамидтен жасалған. ОССТ-312 жоғары

вольтты жүйелерде және қатты ЭҚК-ті жүйелерде қолданылады. Ондай оптикалық талшықтардың механикалық зақымдануынан қорғау үшін жоғары температура диапазонына арналған силикон түтігі қолданылады.

OSCT 313 (сурет 2.20) сенсорлары өндірістік жабдықтың термометрі ретінде қолданылады және цилиндрлік пішінге ие. OSCT 311 датчиктері әртүрлі заттардың сыртқы температурасын өлшеуге арналған.

2.20 сурет – OSCT 311 талшықты-оптикалық датчиктері

Бұл құрылымдағы температура датчиктерінің келесі ерекшеліктері бар:

- өлшенген температура минималды қателікпен 150 градус Цельсийге жетуі мүмкін;
- орнатудың қарапайымдылығы;
- оптикалық талшықтар сыртқы әсерлерден қорғалған;
- әртүрлі өндірушілердің ТБТ-мен датчиктерді біріктіру мүмкіндігі.

Бұл датчиктер ғимараттар, жол жүйелері, мұнай ұңғымалары, авиациялық жүйелер, газ құбырлары және т.б. сияқты әр түрлі объектілердің температурасын бақылау үшін қолданылады.

OSMT класының талшықты-оптикалық температура датчиктері 300 градус Цельсийге дейінгі әртүрлі объектілерді температуралық өлшеуді қамтамасыз етеді. OSMT сенсорының жоғары сапалы өнімділігі температураға төзімді Брэгг торларын енгізу арқылы қамтамасыз етіледі.

OSMT желісі үш нұсқада ұсынылған: OSMT 311, OSMT 312, OSMT 313.

Датчиктердің оптикалық талшықтарын сыртқы әсерлерден қорғау үшін фторопластикалық түтіктер қолданылады.

OSMT 311 (сурет 2.21) сенсоры әртүрлі объектілердің температураларын өлшеуге арналған. Мұндай сенсорға тек бір ғана Брэгг талшық торы қажет. OSMT сенсорлары 312 және 313 өндірістік жабдықтарда термометр ретінде қолданылады. Олар температураны Цельсий бойынша 300 градусқа дейін өлшей алады.

Мұндай датчиктердің ерекшеліктері:

- 300 градусқа дейін жоғары температурада өлшеу;
- оңай орнату процесі;

- оптикалық талшықтар жоғары температура деңгейіне де төзімді;
- Брэгг талшықты торларының әр түрлі өндірушілерімен интеграциялану мүмкіндігі.

2.21 сурет – OSMT 311 талшықты-оптикалық датчигі

Брэгг торларына негізделген талшықты-оптикалық деформация датчиктерін 2 түрге бөлуге болады: температуралық компенсациямен (OSS класы) және температуралық компенсациясыз (OSST класы).

Температурасы өтелетін талшықты-оптикалық датчиктер (OSS класы) әр түрлі объектілердің деформацияларын сенімді өлшеу үшін белсенді қолданылады. Бұл жағдайда талшықты-оптикалық сенсор зерттелген бетке мықтап бекітіледі, Брэгг торы бар оптикалық талшық зерттелетін аймаққа сәйкес деформацияға ұшырайды.

Датчикте деформация мөлшері Брэгг торының резонанстық толқын ұзындығымен жазылады. Қаралып жатқан беттің деформациясына сәйкес оптикалық талшықты өзгерту арқылы өлшеудің ең жоғары дәлдігі қамтамасыз етіледі.

Температурасы өтелетін талшықты-оптикалық датчиктерде тек бір Брэгг торы қолданылады, соған байланысты қосымша сенсор қолданылуы керек. Осылайша, Брэгг талшықты екі торын пайдалану температураны және деформацияны бір уақытта өлшеуді жүргізуге мүмкіндіктер ашады.

OSS штамм өлшегіштерінің сыртқы қабығы AISI 316L криогенді аустентті болаттан жасалған (сурет 2.22). Мұндай материал коррозияға жеткілікті төзімді және температура деңгейінің жоғарылауымен механикалық параметрлер іс жүзінде өзгермейді.

Мұндай датчиктерде әр түрлі өндірушілердің Брэгг талшықты торларын қолдануға болады.

Мұндай датчиктер ұзақ уақыт пайдалану үшін және 350 градус Цельсийге жететін жоғары температураны сақтау үшін қолданылады. Температураның орнын толтыратын датчиктер металл корпусқа дәнекерленген.

Термиялық компенсациясы жоқ талшықты-оптикалық деформация датчиктері жүйелерде олар бекітілген көптеген объектілердің деформациясын ұзақ уақыт өлшеуге арналған.

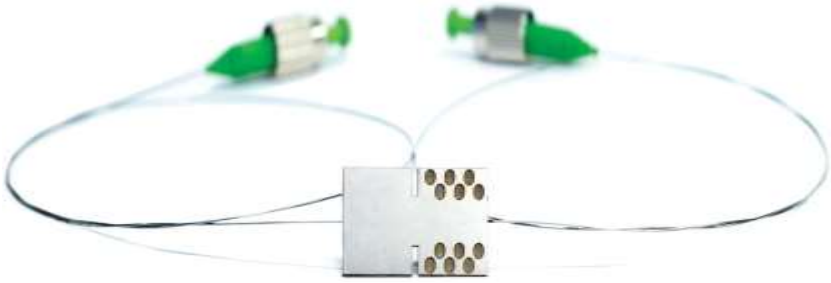
Талшықты-оптикалық жүйеде резонанстық толқын ұзындығының температурасының өзгеруін бақылау үшін екі деформациядан бос Брэгг торлары қолданылады. Қосымша Брэгг торының өзіндік резонанстық толқын ұзындығы бар. Талшықты-оптикалық сенсорға қатысты екі талшықты Брэгг

торларын пайдалану деформацияны және температураны бір уақытта өлшеуге мүмкіндік береді.

Деформация датчигінің алдыңғы сериясындағыдай, бұл құрылғы AISI 316L баспайтын болаттан жасалған. Мұндай датчик, әдетте, коррозияға төзімді.

Бұл датчиктер Брэгг торының үшінші жақ торларымен біріктіру мүмкіндігіне ие.

Талшықты-оптикалық датчиктер ұзақ өмір бойы қолданылады және температураны 350 градус Цельсийге дейін өлшей алады. Бұл датчиктерде жоғары температураға төзімді оптикалық талшықтар қолданылады. Бұл датчиктер металл корпусқа бекітілген.



2.22 сурет – Температурасыз компенсацияланған талшықты-оптикалық деформация датчиктері (OSST)

OSA 520 (сурет 2.23) сериялы талшықты-оптикалық датчиктер зерттелетін объектілер беттерінің әртүрлі тербелістерін өлшеу үшін қолданылады. Діріл параметрлеріне орын ауыстыру, жылдамдық және үдеу жатады.

2.23 сурет – OSA 520 талшықты-оптикалық діріл датчиктері

Талшықты-оптикалық датчиктердің сигналдары бірыңғай тіркеу модульдерімен өңделеді. Өлшеу нәтижелерін уақыт кестелері мен жиілік спектрлері арқылы көруге болады.

OSA талшықты-оптикалық датчиктері металл корпуста орындалады, бұл олардың сфералық беттерге бекітілуіне жағдай жасайды.

OSMA сериясының Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық діріл датчиктері зерттелетін әртүрлі нысандардағы діріл параметрлерін өлшеуге арналған.

Мұндай датчиктер көбінесе жоғары температураны сақтау кезінде жүзеге асырылады, оның мәні 250 градус Цельсийге жетуі мүмкін.

Мұндай талшықты-оптикалық датчиктер оптикалық сигналдарды бірыңғай жазу модульдері арқылы өңдейді және OSA 520 датчиктеріне ұқсас орнатылады. Мұндай датчик 2.24 суретте көрсетілген.

2.24 сурет – OSMA сериялы Брэгг торы негізінде жасалған оптикалық-оптикалық діріл датчиктері

OSMA және OSA 520 сериялы талшықты-оптикалық діріл сенсорларының бірқатар артықшылықтары бар:

- сенімділіктің жоғары деңгейі;
- дірілді өлшеудің кең мүмкіндіктері;
- кедергіден қорғау;
- өрттер мен жарылыстардан жоғары қорғаныс.

Келесі тарауда біз қажетті есептеулер жүргізіп, Cisco Packet Tracer симуляторы негізінде желіні ұйымдастырамыз. Осылайша, біз FBG негізінде талшықты-оптикалық датчиктерге негізделген сенсорлық желіні модельдей аламыз.

3 ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктерге негізделген сенсорлық желіні жобалау

Бұл тарауда талшықты Брэгг торларына негізделген талшықты-оптикалық датчиктердің әртүрлі сенсорлық желілерде қолданылуы талданады. Осы датчиктердің қолданылуын талдау үшін біз оларды электр желілерінде тоқтата тұру үшін есептеулер жүргіземіз, кабельдік аспалы көрсеткілерді және температураның өзгеруімен оптикалық талшықтарды есептейміз. Бұл

есептеулер Алматы-Талдықорған аймақтарынадағы электр беру желілеріндегі Брэгг талшықты торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану арқылы жүзеге асырылады. Барлық осы есептеулер осындай датчиктердің жұмыс ерекшеліктерін және олардың артықшылықтарын көрсетеді.

Осының бәріне қосымша, талшықты-оптикалық датчиктерді олардың мамандандырылған имитациялық ортасында сенсорлық желіде қолданылуын визуалды талдау үшін пайдалануды көрсету қажет. Ол үшін Cisco Packet Tracer симуляторында сенсорлар желісінің мысалын орындаймыз, мұнда датчиктер негізінде сенсорлық байланыс жүйесін Алматы-Талдықорған аймағында орналастыру жоспарланған. Cisco Packet Tracer симуляторында сенсорлық желіні модельдеу мүмкіндіктері бар. Мұндай тренажерде датчиктер мен контроллерлерді белгілі бір алгоритмде жұмыс істейтін етіп әр түрлі бағдарламалау тілдерін қолданып бағдарламалауға болады. Симулятор сонымен қатар барлық желілік компоненттерді, соның ішінде маршрутизаторлар мен коммутаторларды конфигурациялауға, сондай-ақ сенсорлық желінің байланыс арналары арқылы берілу кезінде оның әрекетін елестету үшін трафикті имитациялауға мүмкіндік береді.

3.1 ТБТ негізінде электр параметрлерінің талшықты-оптикалық датчигін есептеу

Заманауи желілерде оптикалық-талшықты датчиктер ең дәл және тиімді түрлендіргіш болып саналады. Мұндай датчиктер сенсорлық желілерде оларды қолданудың барлық талаптарына толық жауап береді. Олар сенсордан деректерді қабылдайтын және оны контроллерге жіберетін физикалық параметрлердің түрлендіргіштері. Датчиктер мен контроллер арасындағы байланыс талшықты-оптикалық кабельдер көмегімен ұйымдастырылған. Датчиктерден алынған барлық деректер контроллерде тікелей өңделеді.

Температура, ылғалдылық, коррозия, жарықтандыру және деформация сияқты физикалық параметрлерді өлшеу үшін ұзақ уақыт штамм өлшегіштер, экстензометрлер, термисторлар, жарық диодты шамдар және т.б. қолданылды. Талшықты-оптикалық физика индустриясының қарқынды дамуы оптикалық заңдарға негізделген сенсордың жаңа түрін жасауға мүмкіндіктер ашты. Бұл датчиктер талшықты-оптикалық сенсорлар деп аталды.

Мұндай датчиктер, бұрын қарастырылғанмен салыстырғанда, көптеген артықшылықтарға ие, олардың арасында сезімталдықтың жеткілікті жоғары деңгейі, бөгеттерден қорғаныстың жоғарылауы және төмен бағаны ажыратуға болады. Сонымен, мұндай датчиктер агрессивті ортада дұрыс және тиімді жұмыс істеуге арналған техникалық құралдармен жабдықталған.

Оптикалық физикаға негізделген датчиктердің ішінде талшықты Bragg торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктер ерекше көзге түседі. Бүгінгі күні мұндай датчиктер олардың түрлерінің ең перспективалы түрлерінің бірі болып табылады. Мұндай сенсорлық жүйелер нақты уақыт режимінде барлық уақытта қарастырылатын объектінің физикалық жағдайын

толығымен бақылауға мүмкіндік береді. Мұндай датчиктердің толқын ұзындығын мультиплекстеу негізінде жұмыс істеуі қамтамасыз етіледі.

Талшықты Брэгг торлары оптикалық талшықтың орталық режимін алға бағытта және талшықтың басқа орталық режимін қарсы бағытта өзара байланыстыруды ұйымдастырады. Екі режим арасындағы мұндай байланыс резонанс деп аталатын толқын ұзындығында жүреді. Мұндай қатынасты біз 3.1 формуладан көреміз:

$$\lambda_{Br} = 2n_{0eff}\Lambda, \tag{3.1}$$

мұнда n_{eff} – оптикалық талшық өзегінің орталық режимінің тиімді сыну көрсеткіші (1.4447);

Λ – Брэгг талшықты торының периоды (67.06 * 10-6).

3.1 формуласын қолданып, резонанстық толқын ұзындығының мәнін есептейік:

$$\lambda_{Br} = 2 \cdot 1.4447 \cdot 67.06 \cdot 10^{-6} = 193.7 \cdot 10^{-6} = 193.7\text{мкм}.$$

ТБТ-лардың маңызды талшықты-оптикалық параметрлерінің бірі - спектрлік қасиет. Барлық осы қасиеттердің ішінде резонанстың спектрлік күйі, ені және максималды нүктесінде шағылысу коэффициенті сияқты параметрлерді атап өту қажет. ТБТ-лардың барлық спектрлік қасиеттерін есептеу үшін оптикалық талшықта байланысқан режимдер теориясын қолдану қажет. 3.2 формулада байланысқан режимдер теориясына сүйене отырып, Брэгг торындағы талшықтағы шағылысу коэффициентінің толқын ұзындығы сияқты параметрге қатынасын табамыз:

$$r = \frac{sh^2(\gamma_B L)}{ch^2(\gamma_B L) - \frac{\sigma^2}{k^2}}, \tag{3.2}$$

мұнда, $\gamma_B = \sqrt{k^2 - \sigma^2}$;

σ – қатаң резонанстан спектрлік ажырату;

k – Брэгг талшықты торының байланыс коэффициенті.

Қатаң резонанстан спектральді ажыратуды есептеу үшін 3.3 формуланы қолдану қажет, ол оптикалық талшықтың орталық режимінің екі таралу коэффициентінің айырмашылығы ретінде ұсынылады:

$$\sigma = \beta - \beta_B = \frac{2\pi n_{eff}}{\lambda} - \frac{\pi}{\Lambda}, \qquad (3.3)$$

Есеп 1550 нм толқын ұзындығына есептелген. Әрі қарай, мен 3.3 формуланы қолданамын, барлық табылған мәндерді қолданамын және спектрлік ажыратудың сандық мәнін табамын:

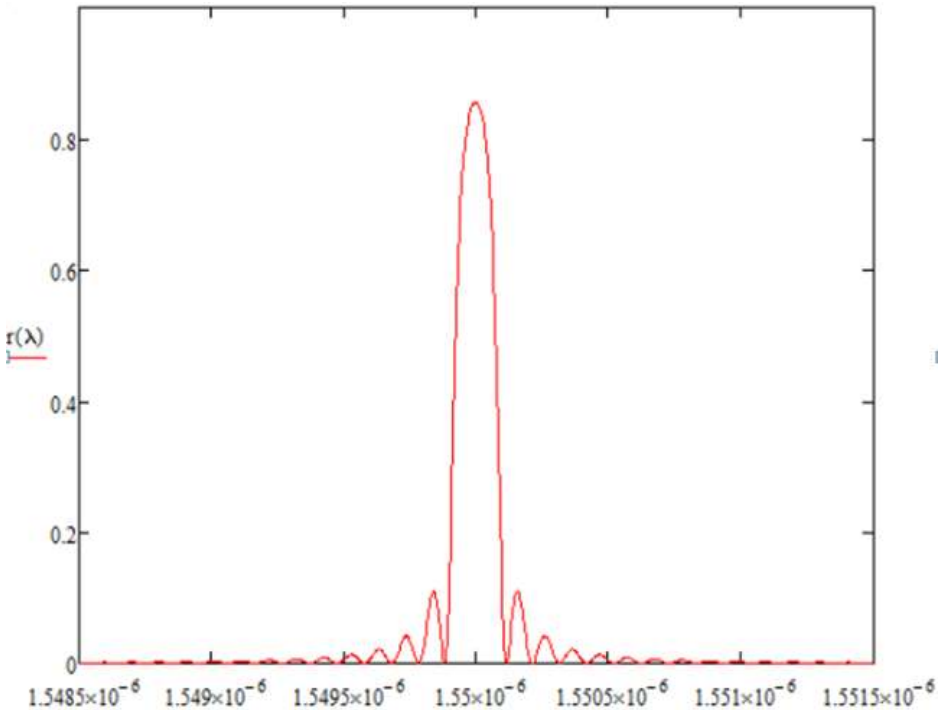
$$\sigma = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1.4447}{1550 \cdot 10^{-9}} - \frac{3{,}14}{67.03 \cdot 10^{-6}} = 5{,}8.$$

Әрі қарай 1550 нм толқын ұзындығында жұмыс істейтін ТБТ-нің байланыс коэффициентін есептеу керек. Бұл мән индукцияланған сыну көрсеткішінің модуляция амплитудасына тура пропорционалды. Брэгг талшықты торының сенсорының осы параметрін есептеу формуласы төменде келтірілген:

$$k = \frac{\pi \eta \Delta n_{mod}}{\lambda}, \qquad (3.4)$$

мұнда η – оптикалық талшықтың өзегінде берілетін орталық режим қуатының пайызы.

ТБТ шағылыстыру коэффициенті көбіне шамамен бірге тең болады.



3.1 сурет – Шағылған оптикалық сигнал спектрі

Оптикалық талшықта таралатын және FBG-ден шағылысатын жарық сигналының орталық толқын ұзындығының сандық мәні сыну көрсеткішінің тиімді мәнімен және талшық Брэгг торының периодымен байланысты.

Жүргізілген есептеулер негізінде спектрлік сипаттама құру қажет. Брэгг талшығының модуляция кезеңі 67,06 мкм, ал сыну көрсеткішінің ауытқуы 10^{-4} тең. Бұл спектрлік сипаттама Брагг талшығының торындағы шағылысу коэффициентінің толқын ұзындығы сияқты параметрге тәуелділігін көрсетеді.

3.1 суретте орындалған есептеулерге негізделген спектрлік сипаттама көрсетілген. 1550 нм толқын ұзындығында көріп отырғанымыздай, r мәні ең үлкен мәнге ие болады.

Енді температураның өзгеруі әсерінен немесе қолданбалы механикалық әсер ету арқылы орталық толқын ұзындығының өзгеруін анықтау қажет. Бұл қатынас 3.5 формуланы қолдану арқылы алынады [18]:

$$\lambda_{\text{в}} = 2(\Lambda \frac{\partial n_{\text{eff}}}{\partial l} + n_{\text{eff}} \frac{\partial \Lambda}{\partial l}) + 2(\Lambda \frac{\partial n_{\text{eff}}}{\partial T} + n_{\text{eff}} \frac{\partial \Lambda}{\partial T}), \qquad (3.5)$$

мұнда n_{eff}– сыну көрсеткішінің тиімді параметрі;

Λ – Брэгг торының периодтың мәні.

3.5 формуласын қолданайық, сандық мәндерді қолданып, шешімін табайық:

$$\lambda_{\text{в}} = 2(67,03 \cdot 10^{-6} \frac{1.4447}{58} + 1,4447 \frac{67.03 \cdot 10^{-6}}{58}) +$$

$$+2(67,03 \cdot 10^{-6} \frac{1,4447}{303} + 1,4447 \frac{67,03 \cdot 10^{-6}}{303}) = 13,6 \cdot 10^{-6} \text{м}.$$

Орталық ұзындықтың мәні табылды, ол 13,6 * 10^{-6} м-ге тең.

Формула 3.5 орталық толқын ұзындығының өзгеруіне арналған екі өрнектің қосындысын көрсетеді. Бұл өрнекте бірінші мүше механикалық әсер кезінде толқын ұзындығы параметрінің өзгеруін, ал екінші мүше температураның өзгеруімен толқын ұзындығы параметрінің өзгеруін көрсетеді.

Деформация сияқты параметрдің әсерінен шағылысқан сәулеленудің негізгі толқын ұзындығының өзгеру мәнін анықтау үшін (3.6) формуланы қолдануға болады [18]:

$$\Delta\lambda_{\text{в}}(D) = \lambda_{\text{в}}(1 - p_e) \cdot \sigma, \qquad (3.6)$$

мұнда p_e – ТОБЖ деформация коэфициенті;

$\lambda_{\text{в}}$– орталық толқын ұзындығының мәні;

σ – қатаң резонанстан спектрлік ажырату.

Деформация параметрінің әсерінен деформация коэффициентін табу үшін 3.7 формуланы қолданамыз:

$$p_e = \frac{n_{eff}^2}{2}(p_{12} - \upsilon(p_{11} + p_{12})), \qquad (3.7)$$

мұнда $p11$ и $p12$– Поккельс коэфициентінің мәні;
υ– Пуассон коэффициенті.

Оптикалық талшық үшін Поккельс коэффициенттерінің мәні 11 - 0.113, 12 - 0.252, ал Пуассон коэффициентінің мәні - 0.16.

Біз 3.7 формуланы қолданамыз, мәндерді қолданамыз және коэффициенттің мәнін табамыз:

$$p_e = \frac{1.4447^2}{2}(0,252 - 0,16(0,113 + 0,252)) = 0,2.$$

Енді 3.6 формуланы қолданамыз, мәндерді қолданамыз және деформация сияқты параметрдің әсерінен толқын ұзындығының өзгеруін табамыз:

$$\Delta\lambda_в(D) = 1550 \cdot 10^{-9} \cdot (1 - 0,2) \cdot 5,8 = 7.19 \cdot 10^{-6} м.$$

Талшық сызығы созылған кезде, талшықтың максималды торының ұзындығы және сыну көрсеткішінің модуляция кезеңі өзгереді. Осы екі параметрдің мұндай өзгеруі талшықты сызық өзегінің және оның қаптамасының сыну көрсеткішінің мәндерінің өзгеруіне әкеледі.

Әр түрлі параметрлердің өзгеруімен мұндай байланыс талшық сызығының анизотропиясымен байланысты. Орталық толқын ұзындығының өзгеруі мен оның температура мәніне тәуелділігі арасындағы осы тәуелділіктің негізінде біз өрнек аламыз және формула 3.8 келесі түрде ұсынылады [18]:

$$\Delta\lambda_в(T) = \lambda_в(\alpha_\Lambda + \alpha_n)\Delta T, \qquad (3.8)$$

мұнда $\alpha\Lambda$ – оптикалық талшықты механикалық созу кезіндегітемпература коэффициенті ($0,55 \cdot 10^{-6}$);

α_n – германий қоспасы үшін термиялық оптикалық физика коэффициенті ($8,6 \cdot 10^{-6}$).

Біз 3.8 формуланы қолданамыз және оның шешімін табамыз:

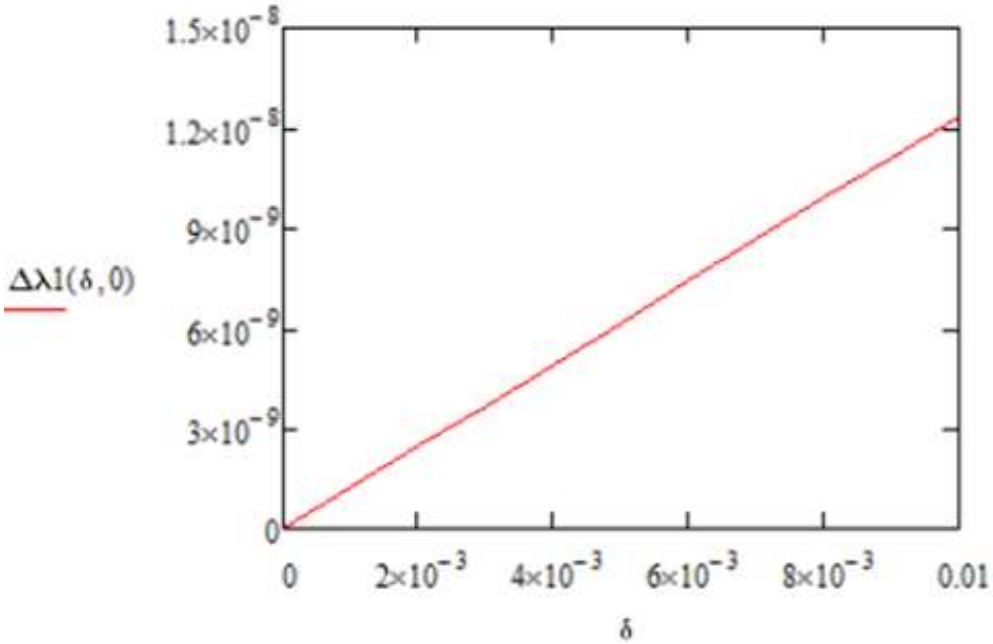
$$\Delta\lambda_B(T) = 1550 \cdot 10^{-9}(0.55 \cdot 10^{-6} + 8.6 \cdot 10^{-6})303 = 4.2 \cdot 10^{-9} \text{м},$$

Осылайша, жүргізілген есептеулер негізінде қорытынды жасауға болады. FBG негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктерден шағылысқан сәулеленудің толқын ұзындығы температураның өзгеруіне байланысты мәндерін өзгертеді. Температураның өзгеруі жылу кеңеюі және оптикалық талшықтың сыну көрсеткішінің өзгеруі сияқты факторлардың әсерінен болады.

Енді графикте температура мен деформация сияқты параметрлерге байланысты орталық толқын ұзындығының тәуелділігін түсіндіру керек.

3.2-суретте ұзындықтың өзгеруі нәтижесінде деформация сияқты параметрдің өзгеруіне қатысты орталық толқын ұзындығының тәуелділігі көрсетілген.

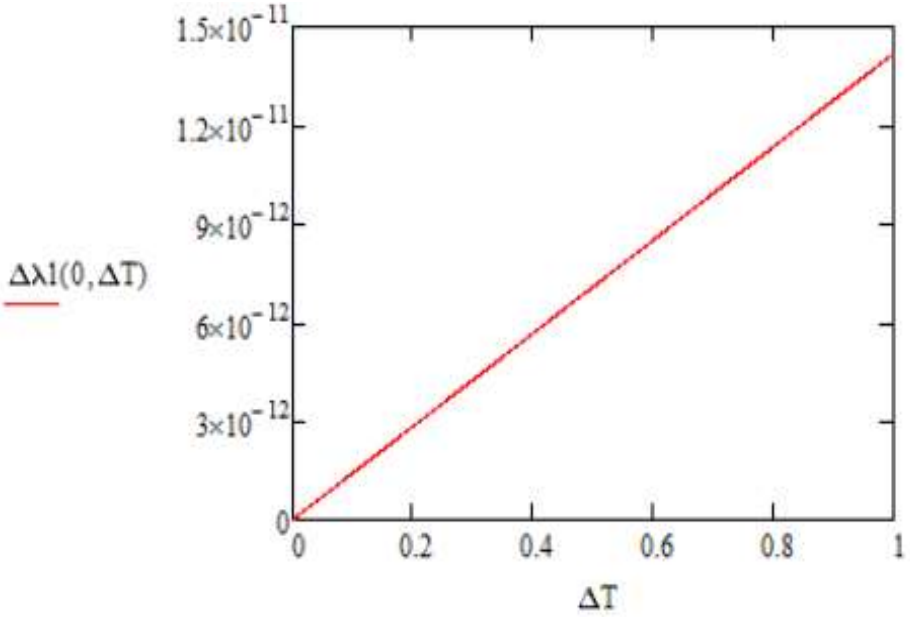
Суретте деформация сияқты параметрдің жоғарылауымен орталық толқын ұзындығы алгебралық прогрессияда өсетінін көруге болады.



3.2 сурет – Деформацияға қатысты толқын ұзындығының ауысуы

3.3-суретте температура мәнінің өзгеруіне байланысты орталық толқын ұзындығының өзгеруін көре аламыз. Суретте температураның жоғарылауымен орталық толқын ұзындығының мәні өскен. Бұл жағдайда график арифметикалық прогрессияда өседі.

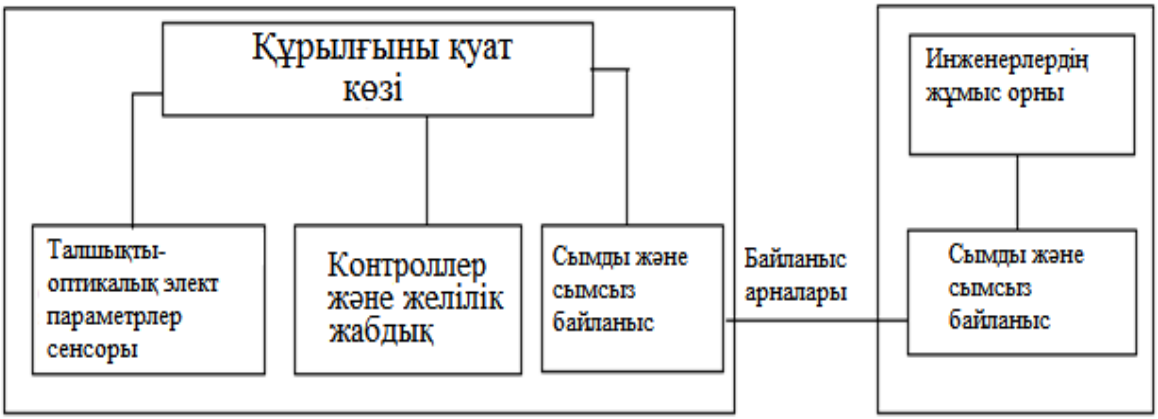
Бұдан осы екі параметр орталық толқын ұзындығының мәніне тура пропорционалды деген қорытынды жасауға болады.



3.3 сурет – Температураға қатысты толқын ұзындығының өзгеруі

3.2 Талшықты-оптикалық байланыс желілері үшін сымның салбырау бойын есептеу

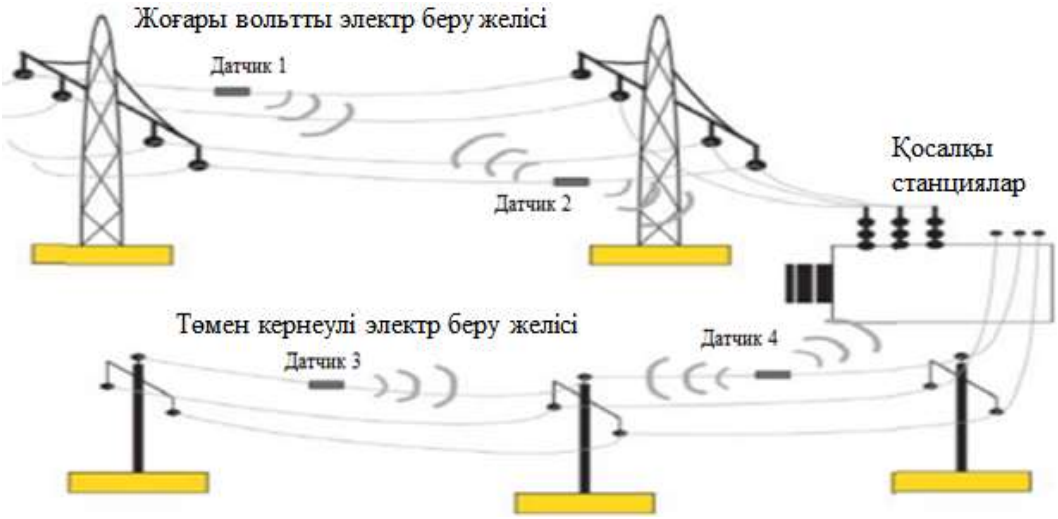
Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктердің дамуы электр желілерін бақылаудың жаңа мүмкіндіктерін ашты. Мұндай бақылау электр желілерінің физикалық жағдайы туралы барлық ақпаратты алуға мүмкіндік береді. Электр беру желісінің бақылау құрылымы бақылау орталығына сымсыз немесе сымды арналар арқылы қосылған өлшеу қондырғыларымен ұсынылған. Өлшеу құралдары электр беру желісінің тіректеріне орнатылған. Бұл құрылым 3.4 суретте көрсетілген [18].



3.4 сурет – Сызықтық электр беру жүйелерін бақылау сұлбасы

Әрі қарай біз өлшем блоктарының орналасуын және олардың жұмысын 3.5 суретте көрсетеміз. Мұндай электрмен жабдықтау жүйелерінде негізінен

SCADA технологиясы қолданылады. Мұндай жүйе соңғы өлшеу құралдары жіберген барлық деректерді өңдеуге қабілетті.



3.5 сурет – Сенсорлардың орналасуы және электр беру желісінің жағдайы бақыланатын орталық

Өлшеуге арналған блок келесі элементтерден тұрады:

- электр желілерінің сипаттамаларын өлшеуге арналған ТБТ негізіндегі оптикалық датчиктер;
- ақпаратты өңдеуге арналған процессор;
- трансивер құрылғы;
- электрмен жабдықтау жүйесі.

Оптикалық датичктер келесі функционалдылықты орындайды:

- электр желісіндегі ток күшін өлшеуге арналған;
- электр желісіндегі температураны өлшеуге арналған;
- эдектр желілерінің кернеу мәнін өлшеу үшін;
- ОТ-да әлсіреу деңгейін анықтау мақсатында;
- климаттың параметрлерін анықтау;
- критикалық сымның салбырау бойын анықтау үшін.

FBG негізіндегі оптикалық-талшықты датчикті пайдалану ток күшін жанасусыз өлшеуге мүмкіндік береді. Осындай жалғыз сенсорды қолдану әртүрлі параметрлердің бір уақытта өлшемдерін жүргізуге мүмкіндік ашады.

Электр желілері жүйелеріне климат пен ауа райы әсер етеді. Ауа-райының жағдайы мен оның болжамы туралы хабардар болудың арқасында электр желілерінде апаттардың аз болуын қамтамасыз етуге болады. Ауа-райын бақылауға арналған ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктер электр сымдарының бойымен орнатылған. Ауа-райының жағдайын бақылау үшін электр сымдарының тіректеріне орнатылатын метеорологиялық станцияларды немесе әртүрлі датчиктер жиынтығын пайдалануға болады. Электр желілері үшін өлшеу дәлдігі маңызды, тек осындай датчиктерді пайдалану дәлдік мәселесін шешеді.

Электр желілерінің жүйелерінде мәселелер туындаған кезде электр желілерінің сызықтық зақымдануын іздеуді қамтамасыз ету маңызды.

Ақауларды табу үшін ағып кету мен қысқа тұйықталу токтарын анықтауға қабілетті жүйелер қажет. Сондықтан апаттық режимдегі жұмысты есте сақтай алатын осындай датчиктер қажет, олар мәселелік аймақтарды тез табуға мүмкіндік береді.

Мұндай жүйеде датчиктер кернеу мен токтың барлық мәндерін тіркейді және GPS сигналы арқылы барлық ақпараттарды мәліметтер өңделетін бақылау орталығына жібереді. Датчиктен берілетін деректер фазалық сипаттама туралы ақпарат бар және оны біле отырып, мәселені тез оқшаулай алуға болады.

Датчиктер электр желілерінің тіректеріне орналастырылған. 3.4 тарауында Cisco Packet Tracer ортасындағы сенсорлық желі жүйесі қарастырылады.

Талшықты-оптикалық байланыс желісінің ілінуін есептеу инфрақұрылым объектілерінің қиылысына дейінгі қашықтықты анықтауға мүмкіндік береді, сонымен қатар элетр сымдарға қолданылатын ауырлық күшін анықтауға мүмкіндік береді.

Оптикалық талшықты кабельдің керілуін есептеу де маңызды. Оның негізінде біз кабельдің маркасын анықтай аламыз.

Климатқа байланысты талшықты-оптикалық байланыс желісінің ілінуінің көрсеткісі әр түрлі болады. Сымдарды салбырау кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін өлшемдерді анықтау қажет.

Сымның салбырау бойын есептеу электр желілерін, оптикалық кабельдерді ұйымдастырудың негізгі кезеңдерінің бірі болып табылады. Бұл есептеу сыртқы ортаның әсер ету мәселелерін шешуге мүмкіндік береді және оптикалық байланыс желілерінің фазалық кабельдермен қиылысу мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Байланыстың оптикалық-талшықты сызықтарынның салбырау бойын есептеу қажеттілігі сонымен қатар созылу кернеулігі қандай жағдайда қолайлы екенін түсінудің маңыздылығымен байланысты. Кабельдерді ілу кезінде талшықты-оптикалық кабельдің салмағын және ауа-райының өзгеруіне байланысты мүмкін жүктемені ескеру қажет. Жүктеме нақты жүктеме деп аталатын параметр арқылы көрінеді.

Талшықты-оптикалық кабельдің ауырлық күшіне байланысты үлес жүктеменің мәні 3.9 формуламен өрнектеледі:

$$\gamma_1 = \frac{P}{S} g, \qquad (3.9)$$

мұнда, р – талшықты-оптикалық байланыс желісінің үлес салмағы (0,11кг/м деп аламыз);

S – талшықты-оптикалық кабельдің көлденең қимасының ауданы ($1{,}13*10^{-4}$ м^2 деп аламыз);

g – ауырлық күшінің әсерінен үдеудің тұрақты мәні.

$$\gamma_1 = \frac{0.11}{1.13 \cdot 10^{-4}} 9.81 = 9.55 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Мұз жамылғысының қыс мезгіліндегі кабельдік желілерге әсерінен болатын меншікті жүктемені 3.10 формула бойынша анықтауға болады:

$$\gamma_2 = \pi b \rho_{\text{л}} \frac{b + d}{S} g, \qquad (3.10)$$

мұнда, b – сызықтардың сыртынан мұз қабатының қалыңдығы ($5*10^{-3}$м);

$\rho_{\text{л}}$ – мұздың тығыздығы (900кг/м^3);

d – оптикалық талшықтың диаметрі ($1{,}2*10^{-4}$ м)

3.10 формулаға мәндерді қойып, меншікті жүктеменің мәнін табыңыз:

$$\gamma_2 = \pi \cdot 5 \cdot 900 \frac{5 \cdot 10^{-3} + 1.2 \cdot 10^{-4}}{1.13 \cdot 10^{-4}} 9.81 = 2.086 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Енді екі үлес жүктеменің қосындысын есептейік:

$$\gamma_2 = 0.955 \cdot 10^4 + 2.086 \cdot 10^4 = 3.041 \cdot 10^4.$$

Мұз болмаған кезде желдің кабельдік желілерге әсер етуі нәтижесінде үлес жүктемені 3.11 формула бойынша табуға болады [17]:

$$\gamma_4 = 0.06 \upsilon^2 \frac{d}{S} g, \qquad (3.11)$$

мұнда ϑ – жел жылдамдығының мәні (оны 20 м/с-на тең аламыз).

$$\gamma_4 = 0.06 \cdot 20^2 \frac{1.2 \cdot 10^{-4}}{1.13 \cdot 10^{-4}} 9.81 = 2.5 \cdot 10^4 \text{Н / м}^3.$$

Қыста кабельді мұз жауып, 30 м/с жылдамдықпен жел әсер еткенде, үлес жүктемені 3.12 формула бойынша табуға болады:

$$\gamma_5 = 0.06\upsilon^2 \frac{d+2b}{S} g, \qquad (3.12)$$

$$\gamma_5 = 0.06 \cdot 30^2 \frac{1.2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{1.13 \cdot 10^{-4}} 9.81 = 1.031 \cdot 10^5 \text{Н/м}^3.$$

Оптикалық талшықты кабельдің желдің және өлі салмақтың әсерінен болатын жүктемені формула 3.13 бойынша табуға болады:

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1 + \gamma_4}, \qquad (3.13)$$

$$\gamma_6 = \sqrt{\left(9.55 \cdot 10^3\right)^2 + \left(2.5 \cdot 10^4\right)^2} = 2.676 \cdot 10^4 \text{Н/м}^3.$$

Меншікті талшықты-оптикалық кабельдің, мұз жамылғысының және желдің әсерінен жүктемені табу үшін 3.14 формуланы қолдануға болады:

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3 + \gamma_5}, \qquad (3.14)$$

$$\gamma_7 = \sqrt{\left(3.041 \cdot 10^4\right)^2 + \left(1.031 \cdot 10^5\right)^2} = 1.075 \cdot 10^5 \text{Н/м}^3.$$

Талшықты-оптикалық байланыс желісіндегі созылу кернеуін табу үшін 3.15 формуланы қолдануға болады [18]:

$$\sigma = \frac{\gamma l^2}{8f}, \qquad (3.15)$$

мұнда, l – аралық қашықтығы (50 метрге тең болады);

γ – кабельдің өзіндік салмағының, мұздың және желдің әсерінен болатын үлес жүктеме;

f - аралықтағы оптикалық-талшықты сызықтың салбырауы (1,2 м).

$$\sigma = \frac{0.1075 \cdot 10^6 \cdot 50^2}{8 \cdot 1.2} = 28\text{МПа}.$$

Кернеудің рұқсат етілген мәнін табу үшін формула (3.16):

$$\sigma_{доп} = \frac{F}{S} \cdot 10^{-6}, \qquad (3.16)$$

мұнда F – талшық сызығының созылу беріктігі мәні (4000Н)

$$\sigma_{доп} = \frac{4 \cdot 10^{3}}{1.13 \cdot 10^{-4}} \cdot 10^{-6} = 35.4 МПа.$$

Есептеген созылу кернеуі рұқсат етілген мәннен аз болуы керек.

$$28 \leq 35.4 МПа.$$

Шарт орындалды, бұл сымның салбырау бойының дұрыс өлшемін білдіреді. Байланыс желілері созылуға қарсы тұруға қабілетті.

3.3 Температура мәндерінің өзгеруімен талшықты-оптикалық кабельді есептеу

Температура сияқты параметр өзгерген жағдайда, оптикалық талшықтың деформациясы пайда болады. Бұл құбылыс тарату параметрлерінің өзгеруіне жол бермеу және талшықты сыртқы зақымданудан сақтау үшін қажет.

Талшықты-оптикалық кабель ұзындығының салыстырмалы өзгерісін табу үшін келесі формуланы қолданамыз [17]:

$$E = -1 + \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 R^2}{S^2}\left(2\frac{\Delta R}{R} \pm \frac{\Delta R^2}{R^2}\right)}, \qquad (3.17)$$

3.17 формуласында «+» сығылуды, ал «-» созылуды білдіреді.

Талшықты-оптикалық кабельдің таңдалған түрінің төсеу қадамы 170 мм және төсеу диаметрі – 8,6 мм.

3.17 формуласын қолданып, талшықты-оптикалық кабельдің максималды созылу мәнін табайық:

$$E = -1 + \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 4.3^2}{170^2}\left(2\frac{0.4}{4.3} \pm \frac{0.4^2}{4.3^2}\right)} = 0.001064 = 0.1064\%.$$

Деформация кварц әйнегінің өзгеруінен пайда болады. Мұндай өзгерістер микрокрактарды тудырады, содан кейін шу пайда болады.

Талшықты-оптикалық байланыс желілерінің сенімді жұмысы үшін кабельдердің беріктігі өте маңызды болып саналады. Бұл көрсеткішке

микрократтардың мөлшері әсер етеді. Әрбір микрократ өлшемінің өзіндік сыни жүктемесі бар.

Критикалық жүктеменің мәнін табу үшін 3.18 формуланы қолданамыз:

$$\delta_i = \frac{0.81 \cdot K_{1c}}{\sqrt{C_i}}, \qquad (3.18)$$

мұнда, K_{1c}– кернеудің ең жоғары интенсивтілігінің коэффициенті (кварцты материалдан жасалған ТОБЖ -0.789 МПа * м$^{1/2}$);

C_i – микрокрак өлшемі.

Әр түрлі микрокрактар үшін сыни жүктеменің мәнін табайық:

0,1 микрометрлік микрокрек үшін:

$$\delta_i = \frac{0.81 \cdot 0.789 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{0.1 \cdot 10^{-6}}} = 2.021 \cdot 10^{9} \text{Па}.$$

1 микрометрлік микрокрек үшін:

$$\delta_i = \frac{0.81 \cdot 0.789 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1 \cdot 10^{-6}}} = 6.391 \cdot 10^{8} \text{Па}.$$

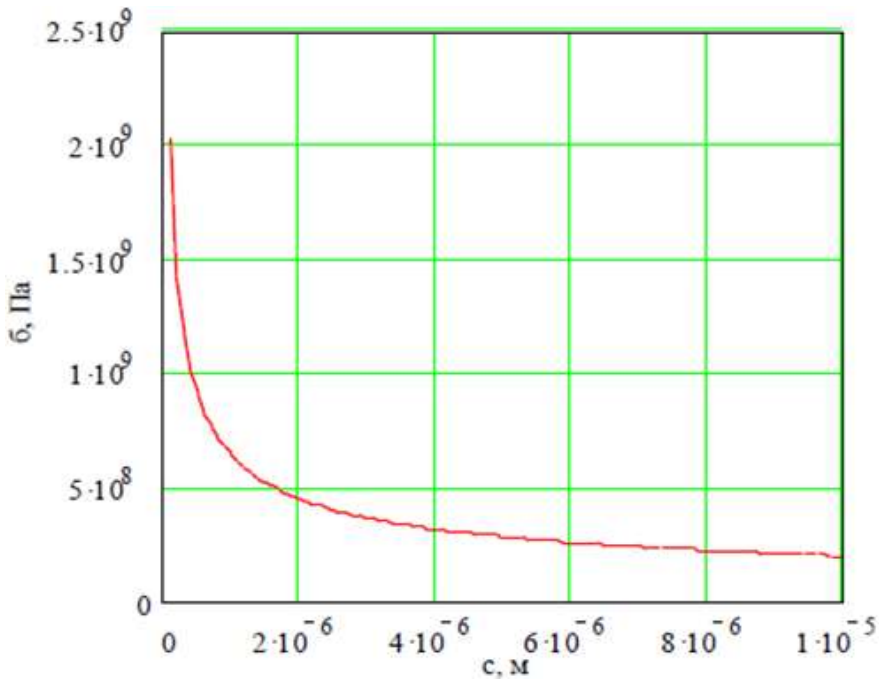
5 микрометрлік микрокрек үшін:

$$\delta_i = \frac{0.81 \cdot 0.789 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{5 \cdot 10^{-6}}} = 2.858 \cdot 10^{8}.$$

10 микрометрлік микрокрек үшін:

$$\delta_i = \frac{0.81 \cdot 0.789 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{10 \cdot 10^{-6}}} = 2.021 \cdot 10^{8}.$$

Микрокрактардың мөлшерін біле отырып, олардың сыни жүктеменің мәніне әсер ету графигін табуға болады (3.6-сурет).



3.6 сурет – Критикалық жүктеменің микрократтар мөлшеріне тәуелділігі

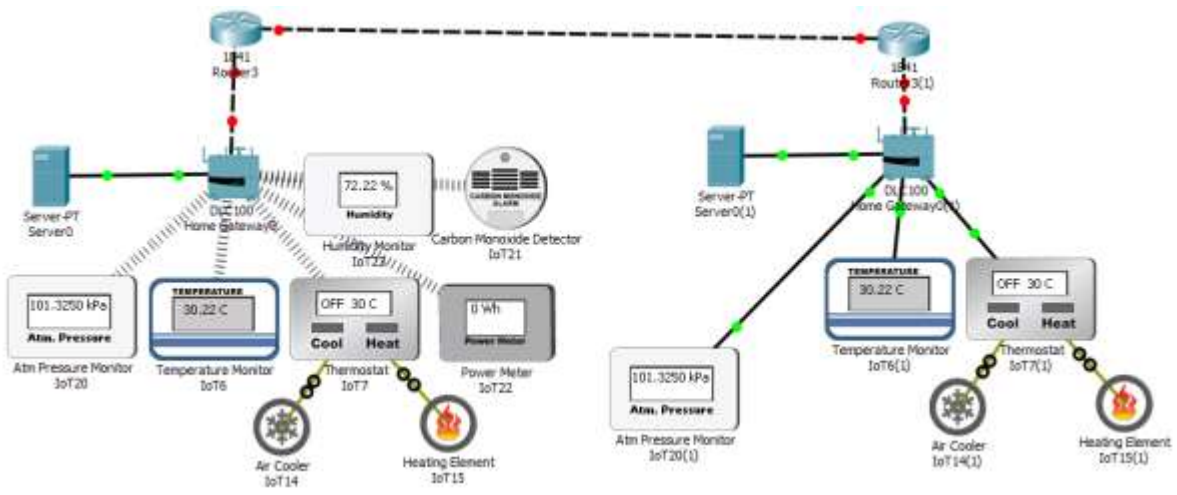
3.4 Cisco Packet Tracer симуляторында талшықты-оптикалық датчиктердің қолданылуын талдау

Cisco Packet Tracer симуляторында оптоталшықты датчиктер негізінде ылғалдылық, қысым, көміртегі тотығы, ток, температура сияқты параметрлерді бақылайтын желіні модельдеуге болады. Сондай-ақ, симуляторда отын элементінің әсерінен температураның көтерілуін және салқындатқыш компоненттің әсерінен температураның төмендеуін имитациялау мүмкіндігі бар. Сонымен, осы бөлімде сенсорлардың электр қуатын беру жүйелерінде қолданылуын талдаймыз.

Жобаны құру үшін бізге коммутатор, бағдарламаланатын SBC (бір тақталы компьютер) платасы және оптикалық талшықты датчиктер қажет.

Жарық сенсоры желісін бағдарламалық қамтамасыз ету үшін Python бағдарламалау тілі қолданылады. Бұл бағдарламалау тілі жеңілдетілген және түсінікті түрде берілген жүйеге арналған бағдарламаны жазуға мүмкіндік береді. Мұндай бағдарламаны жазу қиын жұмыс емес.

Бағдарламаланатын SBC және MCU карталарында талшықты-оптикалық датчиктермен оптикалық линиялар бойынша байланысты ұйымдастыруға арналған порттар бар. Өз кезегінде датчиктер жарықтандыру функцияларын орындайды және олардың бағдарламаланатын контроллерге қосылуына байланысты датчиктерді бірізді режимде жұмыс істеуге мүмкіндік туады. Енді 3.7-суреттегі барлық осы компоненттер арасындағы байланысты ұйымдастырайық.



3.7 сурет – 2 станцияның әртүрлі параметрлерін бақылау сұлбасы

Бұл желіде сіз Python және JavaScript екі бағдарламалау тілдері негізінде барлық датчиктерді конфигурациялауыңыз керек. Барлық маңызды параметрлер 100% дәлдікпен бақыланатын етіп датчиктерді бағдарламалау керек. Сенсорлық желіні басқару серверінде басқаруды, осы датчиктердің бір-бірімен жұмыс істеуі мен өзара әрекеттесуінің барлық алгоритмдерін конфигурациялау қажет.

Суретте маршрутизаторлар арасындағы интерфейстердің де істен шыққандығын көрсетеді. Оларды көтеріп, сенсорлық желідегі маршруттауды тіркеу қажет. Бірінші желіде 192.168.25.0/24 желісі соңғы құрылғыларға, ал екінші желіде 192.168.35.0/24 желісі бөлінген. Маршрутизаторларды сымсыз кіру нүктелеріне қосу үшін 192.168.2.1/30 желілері, ал екінші желіге 192.168.3.1/30 желілері бөлінген. P2p интерфейсінде 192.168.10.1/30 ішкі желісінің адрестері болуы керек.

Интерфейстерді 1 және 2 маршрутизаторлардан конфигурациялауды бастауға болады. Бұл конфигурация 3.8 және 3.9 суреттерінде көрсетілген.

```
R#1(config)#interface range fa0/0-1
R#1(config-if-range)#no shutdown


R#1(config-if-range)#
%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0,
changed state to up

%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/1, changed state to up

R#1(config-if-range)#exit
R#1(config)#interface fa0/0
R#1(config-if)#ip address 192.168.2.1 255.255.255.252
R#1(config-if)#exit
R#1(config)#interface fa0/1
R#1(config-if)#ip address 192.168.10.1 255.255.255.252
R#1(config-if)#exit
```

3.8 сурет – R#1 маршрутизаторында интерфейстерді конфигурациялау

```
R#2(config)#interface range fa0/0-1
R#2(config-if-range)#no shutdown


R#2(config-if-range)#
%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0,
changed state to up

%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/1, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1,
changed state to up

R#2(config-if-range)#exit
R#2(config)#interface fa0/0
R#2(config-if)#ip address 192.168.3.1 255.255.255.252
R#2(config-if)#exit
R#2(config)#interface fa0/1
R#2(config-if)#ip address 192.168.10.2 255.255.255.252
R#2(config-if)#exit
```

3.9 сурет – R#2 маршрутизаторында интерфейстерді конфигурациялау

Келесі қадам - екі маршрутизатордың бір-біріне бағыттауын конфигурациялау. Екі командалық тізімді көрсетудің қажеті жоқ, екі маршрутизатордағы конфигурациялары мүлдем ұқсас. Сонымен, 3.10 суретте №1 маршрутизатордан екінші маршрутизаторға бағыт көрсетілген.

```
R#1#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R#1(config)#ip route 192.168.35.0 255.255.255.0 192.168.10.2
R#1(config)#
```

3.10 сурет - №1 маршрутизатордан №2 маршрутизаторға бағытты теңшеу

3.11 суреттегі екі серверлер арасындағы байланысқа пинг берейік.

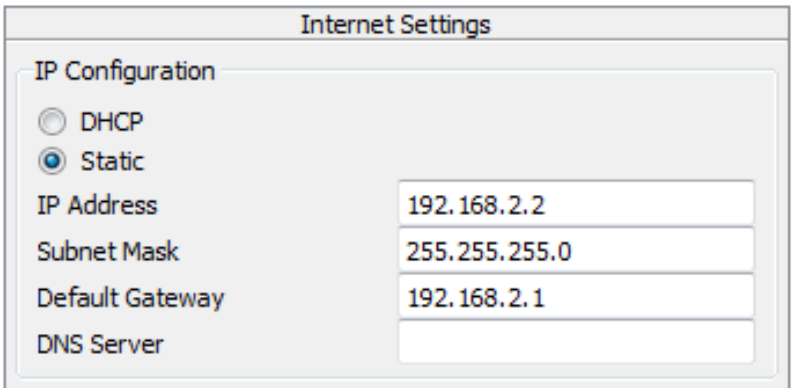
```
C:\>ping 192.168.25.50

Pinging 192.168.25.50 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.25.50: bytes=32 time=11ms TTL=128
Reply from 192.168.25.50: bytes=32 time=2ms TTL=128
Reply from 192.168.25.50: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.25.50: bytes=32 time=3ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.25.50:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 11ms, Average = 4ms
```

3.11 сурет – Ping пәрменісімен қосылымды тексеру

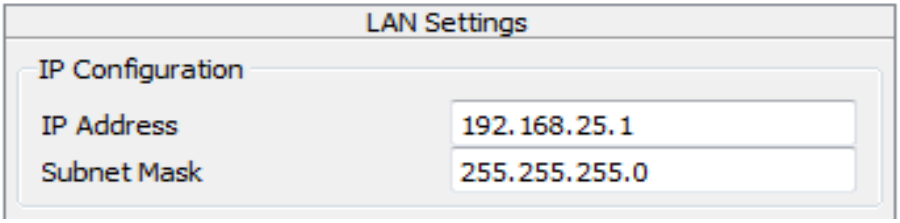
Біз ICMP сұранысының сәтті болғанын көреміз, бұл статикалық маршруттың жұмыс істейтіндігін білдіреді.

Содан кейін біз кіру нүктелерін конфигурациялаймыз. Кіру нүктесінің конфигурациясында барлық құрылғыларды басқаруға арналған серверді қосу керек, нүктенің шлюзі барлық құрылғыларды басқару мекен-жайы болады. Сондай-ақ, DHCP-ді конфигурациялау және маршрутизаторға қарай IP-адресті орнату қажет.

Барлық осы конфигурациялар 3.12 және 3.13 суреттерінде көрсетілген.



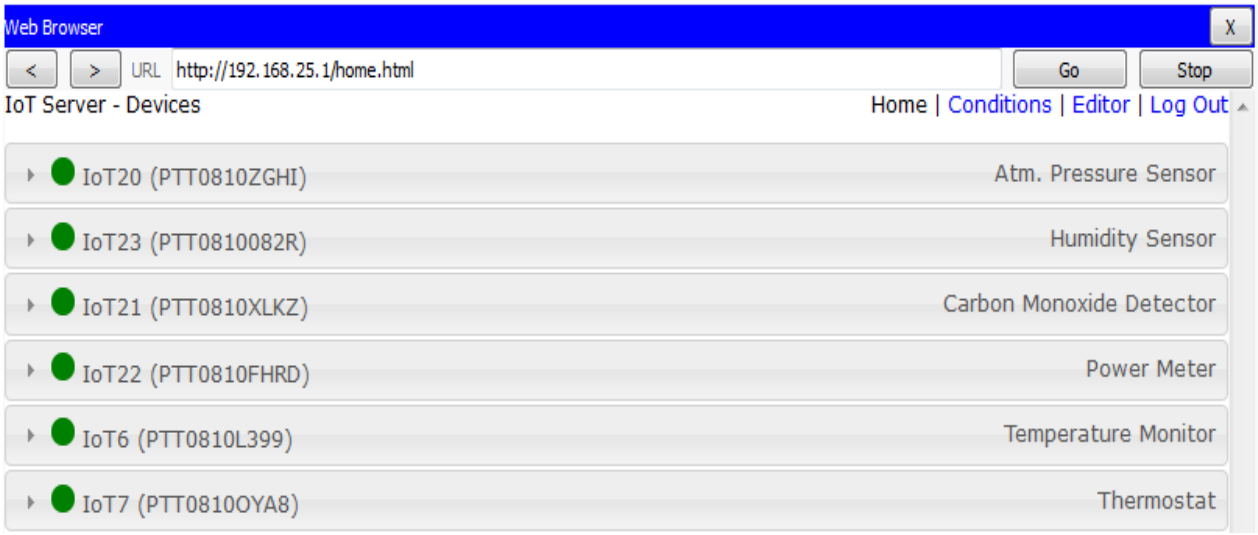
3.12 сурет – IP-адресті бірінші желідегі маршрутизаторға қарай орнату



3.13 сурет – Бірінші желідегі жалғанған құрылғыларға жеке IP-адрестерді тарату үшін DHCP пулын конфигурациялау

Осылайша, конфигурациядан біз қосылған құрылғылардың 192.168.25.0/24 IP-желі IP-адрес алатындығын көре аламыз. 192.168.25.1 - бұл шлюздің адресі, сонымен қатар IoT серверінің адресі. Барлық конфигурациясы екінші желі үшін толықтай ұқсас. Екінші желіде адрестер басқа - 192.168.35.0/24.

Енді мен бақылау құрылғыларын серверден қалай басқаруға болатындығын көрсетемін (3.14-сурет).



3.14 сурет – IoT құрылғыларын серверден басқару

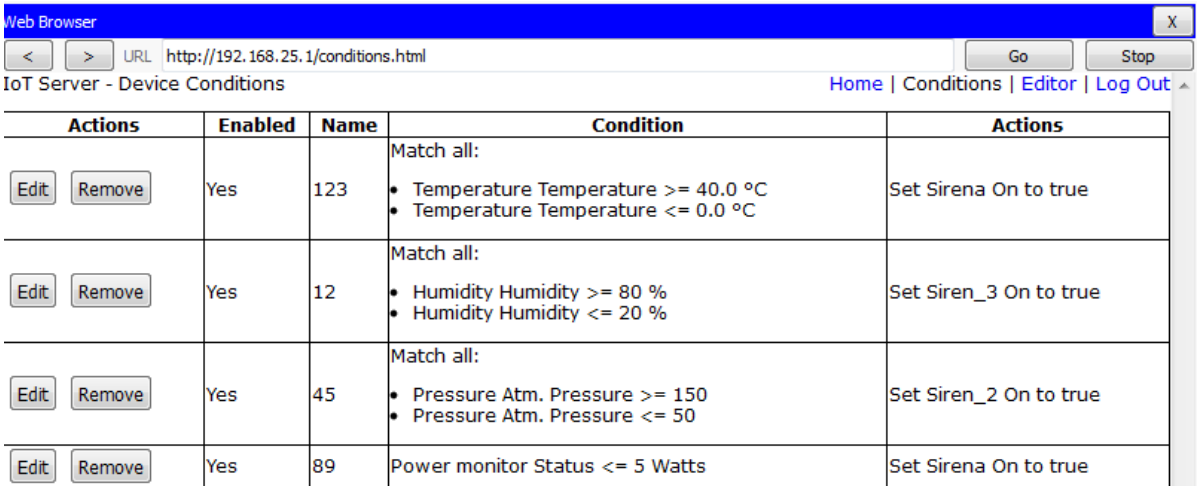
Желіге қосылған барлық IoT құрылғыларында Home Gateway қойындысы қосылады, содан кейін барлық құрылғыларды серверден басқаруға болады.

Енді температураны бақылауды орнатуды бастаймын. Температура 40 градустан жоғары көтерілгенде немесе 0 градустан төмендегенде сирена естілуі керек. Бұл құрылғылардың жұмысы үзіліссіз қамтамасыз етілетін диапазондағы температураны қамтамасыз ететін шаралдарды қабылдау үшін қажет.

Сол сияқты, бұл параметрдің мәні 80 пайыздан аспайтын және 20 пайыздан төмендемейтін етіп ылғалдылықты конфигурациялау қажет. Ылғалдылық мәндері осы диапазоннан шыққан кезде, ылғалдылықты азайту үшін шаралар қабылдау үшін сиренаны қосу керек. Бұл ылғалдың қолайсыз мәнімен жағымсыз салдар туындауы мүмкін екендігіне байланысты. Атмосфералық қысымды 50-ден 150 кПа-ға дейін қамтамасыз ету де маңызды. Қысым осы диапазоннан шыққан кезде сирена естілуі керек.

Қуат мәні 5 ваттдан кем болмайтындай етіп қуатты бақылауды орнату қажет. Егер қуат параметрі 5 ваттан төмен түссе, сирена да естілуі керек.

3.14-суретте сервердегі IOT құрылғыларының конфигурациялары көрсетілген.

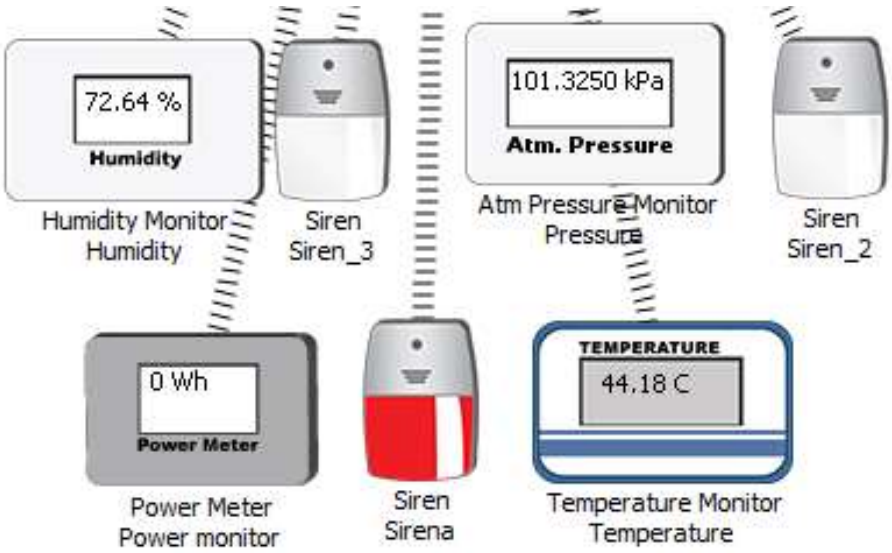


Actions	Enabled	Name	Condition	Actions
Edit Remove	Yes	123	Match all: • Temperature Temperature >= 40.0 °C • Temperature Temperature <= 0.0 °C	Set Sirena On to true
Edit Remove	Yes	12	Match all: • Humidity Humidity >= 80 % • Humidity Humidity <= 20 %	Set Siren_3 On to true
Edit Remove	Yes	45	Match all: • Pressure Atm. Pressure >= 150 • Pressure Atm. Pressure <= 50	Set Siren_2 On to true
Edit Remove	Yes	89	Power monitor Status <= 5 Watts	Set Sirena On to true

3.15 сурет – Мониторингке арналған талшықты-оптикалық датчиктердің конфигурациясы

Енді біз мұндай жағдайды ылғалдылық, температура, қуат, қысым сияқты параметрлерді бақылау кезінде талшықты-оптикалық датчиктердің жұмысының дәлдігін тексеруге болатындай етіп модельдейтін боламыз.

Бақыланатын параметрлердің бірі ауқымнан тыс болған жағдайда сирена қосылады. 3.16-суретте кейбір параметрлердің рұқсат етілген ауқымнан шыққан жағдайы көрсетілген.



3.16 сурет – Параметрлердің біреуі істен шыққан кездегі жағдай

3.16 суретте температура мәні жеткілікті жоғары индикаторға жеткенін, ал қуат нөлде тұрғанын және сиренаның қосулы екенін көре алуға болады. Датчик температура деңгейін дәл бақылайды. Бұл дегеніміз, талшықты-оптикалық датчиктер олардың дәлдігімен ерекшеленеді және сенімді жұмыс істей алады.

4 Өміртіршілік қауіпсіздігі

4.1 Жұмысты талдау

Дипломдық жобада Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық сенсорлардың қолданылуына талдау жасалды. Электр желілеріндегі электр кабельдерімен қатар оптикалық кабельдер де қолданылады. Осы бөлімде осы жобаға қатысушылардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету жөніндегі шаралар кешенін қарау қажет.

Жобада электр жабдығымен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі шаралар кешенін қарау қажет. ЭБЖ-дегі қауіпсіздік жөніндегі жалпы талаптарды қарау қажет.

Электр жабдықтарының көп болуына байланысты барлық осы құрылғылардың жерге тұйықталуын қамтамасыз ету қажет. Бұл бөлімде жерге қосу бойынша есептеулер жүргізілетін болады.

4.2 Электр жабдығымен жұмыс істеу кезіндегі шаралар кешені

Жоғарыда айтқанымдай, жобада көптеген электр қондырғылары бар. Бұл жобаға қатысушылар жоғары вольтты электр желілерімен тікелей жұмыс жасамайды. Жұмыс оптикалық кабельдер мен датчиктер шегінде жүргізіледі. Жұмысшылар электр тогының соғуынан сақтанбауы үшін электр жабдықтарымен жұмыс істеу кезінде шаралар кешенін қолдану қажет.

Бұл шаралар электр тогының соғу қаупін азайту үшін қажет. Өйткені, өнеркәсіптік электр қондырғылары кәсіби емес жұмыс кезінде өте қауіпті болуы мүмкін.

Электр жабдығымен жұмыс істеу кезінде жұмыс беруші қауіпсіздік техникасымен толық таныстыруы және электр қауіпсіздігі бойынша оқыту жүргізуі тиіс. Олай болмаған жағдайда жұмыс беруші ҚР Заңына сәйкес жауапты болады.

Жұмыс орнындағы электр қауіпсіздігінің негізгі шараларын қарастырайық:

- электр жабдықтарымен жұмыс туралы ҚР Заңын толық сақтау;
- электр жабдықтарының дұрыс жұмыс істеуін ұйымдастыру;
- электр жабдықтарымен жұмыс кезінде осы жобаның барлық қатысушыларын қорғау құралдарымен қамтамасыз ету;
- электр қауіпсіздігі жөніндегі шараларды ұйымдастыруды тиісті департаментке беру;

Электр жабдығы жұмыс істеген кезде мынадай талаптарды орындау қажет:

- жоспарлы жұмыстың сынақ ретінде орындалуын қамтамасыз ету қажет. Бұл жұмысшылардың жұмысқа дайын болуы және жұмыс процесі қауіпсіз болуы үшін қажет;
- электр беру желілері немесе электр қондырғылары зақымданған жағдайда барлық ағымдағы жұмыстарды тоқтату қажет. Электр

жабдықтарының мұндай істен шығуы денсаулыққа зиян келтіруі мүмкін және басқа жабдықпен одан әрі проблемалар тудыруы мүмкін.

- басшылық тек оқудан өткен және олардың білімі мен дағдыларын растайтын арнайы біліктілігі бар жұмыскерлерді ғана электр жабдығымен жұмыс істеуге жіберу қажет. Біліктіліксіз қызметкерлер электр беру желілерімен жұмыс істеуге жіберілмейді.

4.1 суретте электр қауіпсіздігі бойынша негізгі жүйелер көрсетілген.

4.1 сурет – Электр қауіпсіздігінің негізгі жүйелері

Электр жабдықтарымен жұмыс кезінде бірнеше топ бар, олардың әрқайсысы арнайы жұмыстарды орындайды. I топ қызметкерге жұмыс беруші тарапынан тікелей жұмыс орнында нұсқама өткізгеннен кейін берілуі мүмкін. Бірінші топтың нұсқаулығынан электр тогының соғу қаупі бар барлық жұмысшылар өтуі керек. Мұндай жағдайларда ешқандай куәлік қажет емес. II топ кәсіби, бірақ жұмыс бастықтың бақылауымен жүзеге асырылады. Екінші топтың біліктілігі бар мамандар кейбір электр қондырғыларымен жұмыс істей алады. Осы топтың мамандары қауіпті өнеркәсіптік кәсіпорындардағы электр қауіпсіздігі ережелері туралы ақпаратқа ие болуы керек.

III - V топтар басшылықтың көмегінсіз әр түрлі жабдықтармен жұмыс жасай алады. Жұмыстар 1кВ дейін және осы мәннен жоғары жұмыс істейтін жабдықпен жүргізілуі мүмкін. Мұндай топтардың білім деңгейі жоғары болуы керек, жұмыс беруші олардың білімін тексеруге міндеттенеді.

Электр беру желілерінің мониторингін ұйымдастыру жөніндегі жобаға барлық бес санаттағы мамандар тартылған. Бірінші санатқа техникалық емес, басқарушы қызметкерлер кіреді. Екінші топқа жоғары кернеумен тікелей жұмыс істемейтін инженерлер мен басқа да техникалық мамандар кіреді. 3-5 топтағы мамандар Жоғары кернеу қаупімен жұмыс істей алады.

Электр жабдықтарымен жұмыс жүргізу үшін электр жабдықтарымен жұмыс істеу кезінде барлық қызметкерлерді қорғау құралдарымен қамтамасыз ету қажет. Сондай-ақ, жұмыс беруші электр тогының адамға әсер етуі кезінде автоматты түрде оқшаулауды қамтамасыз етуге міндетті. Жұмыс беруші барлық талаптардың орындалуын бақылауға міндетті.

Электр жабдықтарымен жұмыс келесі талаптарды қарастырады:

- электр қондырғыларымен жұмыс жүргізу туралы барлық ақпарат бар арнайы құжаттаманы ресімдеу;
- электр жабдықтарымен жұмыс кезінде жұмысшылар үзіліс алуы керек және режим толық тәртіпте сақталуы керек;
- электр жабдығымен жұмыс істеу кезінде біліктілігі анағұрлым жоғары аға маманның барлық жұмыстарды орындауын қадағалауды жүзеге асыру қажет;
- электр жабдығы ағымдағы технологиялық міндеттерге сәйкес таңдалуы тиіс;
- лауазымдық нұсқаулықта қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі қағидалар, міндеттер мен іс-қимыл тәртібі жазылуға тиіс;

Осылайша, жұмыс орнындағы қауіпсіздікті қамтамасыз ету жұмыс беруші мен қызметкердің бірлескен жұмысының нәтижесі болып табылады. Барлық талаптарды толық орындау қажет.

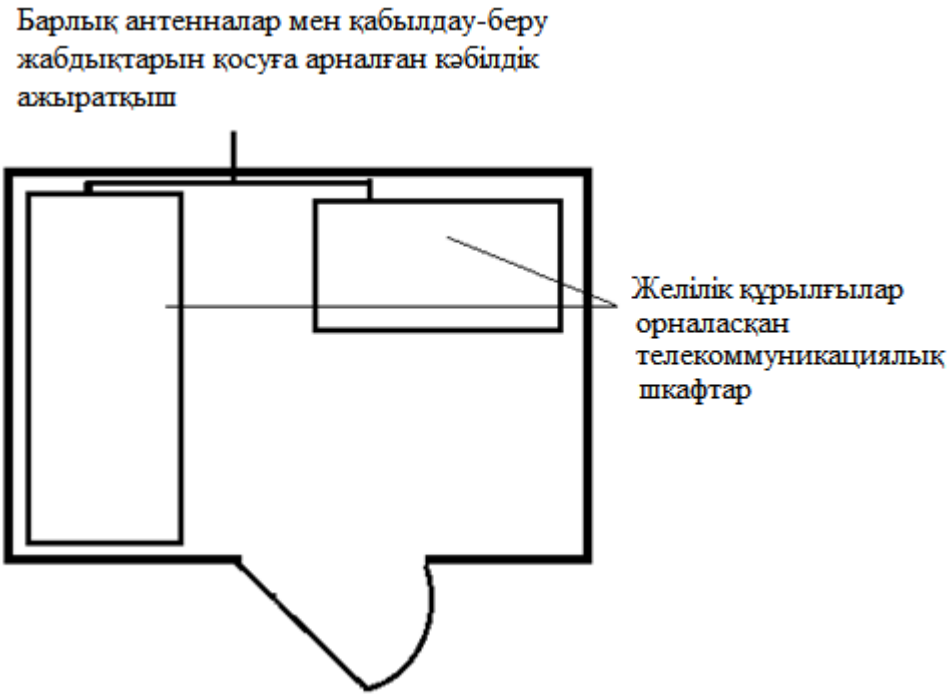
4.3 Жерге қосудың есептеу

Электр желілерін бақылауды ұйымдастыру кезінде Брэгг талшықты торына негізделген көптеген түрлі сенсорлар қолданылады. Мұндай сенсорлар IoT желісіне біріктірілген. Барлық датчиктерді бір желіге біріктіру үшін оптикалық және сымсыз байланыс желілері қолданылады. Сымсыз байланыс желілері арқылы қосылу үшін базалық станциялар қолданылады. Ал оптикалық байланыс желілері арқылы қосылу үшін байланыс операторының арналары пайдаланылады. Барлық осы деректер қашықтан орналасқан маршрутизатор мен серверлер негізінде өңделеді.

ТБТ талшықты-оптикалық датчиктер негізінде талданатын мониторинг желісінің базалық станцияларының ішінде жерге қосу жүйесі қажет. Жерге қосу кейіннен осы жобаға қатысушылардың жұмысы толығымен қауіпсіз болатындығын және электр тогының соғу қаупі барынша азайтылатындығын ескере отырып қажет.

Есептеулер Байланыс желілері мен ЭБЖ өтетін Талғар қаласының аймағы мысалында жүргізіледі. Жерге қосуды есептеу үшін қаладағы топырақтың қандай сипаттамаларын және жерге қосу жүйесінің қандай параметрлерін білуіміз керек.

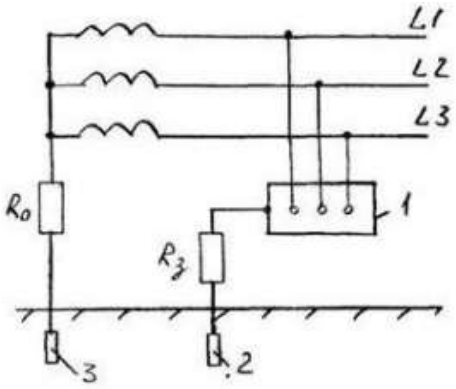
4.2-суретте базалық станцияның ішкі құрылғысының сұлбасы көрсетілген.



4.2 сурет – Ішкі жағынан базалық станция құрылғысы

Суреттен базалық станцияда белсенді Телекоммуникациялық жабдықтар мен электрмен жабдықтау бар екенін көруге болады.

Барлық осы жабдықтар жерге қосылуы керек. Жерге қосудың типтік сұлбасы 4.3-суретте көрсетілген.



4.3 сурет – Базалық станция ішіндегі барлық құрылғыларды жерге қосу сұлбасы

Талғар қаласы Алматы қаласына жақын орналасқан. Талғар қаласында Алматы топырағы шалғынды - шалғынды, орманды және шалғынды-топырақты. Базалық станцияның орналасқан жеріндегі топырақ 100 Ом*м-ге

тең нақты электр кедергісіне ие, базалық станцияның ішінде орналасқан жерге қосу құрылғысы 4 омға тең рұқсат етілген кедергіге ие. Жерге қосу құрылғысының контурлық құрылымы бар. Мұндай конструкциясы қылынан болат өзектер.

Жерге қосу құрылғысы тік бағытта келесі параметрлерге ие:

- L = 3.5 м;
- d = 0.05 м;
- t = 1.5 м.

Жерге қосу құрылғысы көлденең бағытта келесі параметрлерге ие:L = 13 м;

- d = 0.04 м;
- t = 1.5 м.

Мұндай құрылғы 55 пайызға тең пайдалану коэффициентіне ие.

4.1 формуласынан бір тік жерге қосу құрылғысының кедергі параметрінің мәнін табамыз [19]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l}(\ln(\frac{2l}{d}) + \frac{1}{2}\ln(\frac{4t+1}{4t-1})), \qquad (4.1)$$

мұнда, ρ – базалық станция орналасқан жердегі топырақтың меншікті кедергісі;

l – жерге тұйықтағыштың тік болат желісінің ұзындығы;

d - тік сызық жерге қосқышының диаметрі;

t - станцияның жерге тұйықтағышының орналасу тереңдігі.

Жоғарыда аталған барлық параметрлер бізге белгілі және жерге қосқыштың жалғыз тік құрылғысын есептеуді бастай алуға болады. Ол үшін 4.1 формуласын қолданамын:

$$R = \frac{100}{2\pi 3,5}(\ln(\frac{2\cdot 3,5}{0,05}) + \frac{1}{2}\ln(\frac{4\cdot 1,5+3,5}{4\cdot 1,5-3,5})) = 25,52\,\text{Ом}.$$

Нәтижесінде бір тік жерге қосу құрылғысының кедергісі 25,52 ОМ құрайды. Бір тік жерге қосу элементінің кедергі мәні есептелгеннен кейін, жерге қосу элементтерінің санын есептеуді бастауға болады. Ол үшін 4.2 формуласын қолданыңыз:

$$n = \frac{R_0}{R_{доп}\cdot\eta}, \qquad (4.2)$$

мұнда, R_0 - жерге тұйықтаудың тік жолағындағы жерге тұйықтағыштың бір элементінің кедергісі;

$R_{доп}$ – осы жерге тұйықтау құрылғысының ең жоғары ықтимал кедергісі;

η — пайдалану коэффициенті.

Біз барлық параметрлерді білеміз, оларды 4.2 формуласына ауыстырып, жерге қосу элементтерінің жалпы санын табуға болады:

$$n = \frac{25,52}{4 \cdot 0,55} = 12.$$

Осылайша, базалық станцияның барлық құрылғыларын жерге қосу үшін 12 элемент қажет.

Жерге қосу элементтерінің саны және бір жерге қосу элементінің кедергісі сияқты параметрлерді біле отырып, 4.3 формуласымен эквивалентті кедергіні анықтауға болады:

$$R_{эв} = \frac{R_0}{n \cdot \eta}, \qquad (4.3)$$

мұнда, R_0 - құрылғының тік жолағындағы бір жерге қосу элементінің кедергісі;

η — пайдалану коэффициенті;

n — тік жолақтың бір қондырғысындағы жерге қосу элементтерінің саны.

Барлық қажетті мәндерді 4.3 формуласына алмастырамыз және эквивалентті кедергінің мәнін анықтаймыз:

$$R_{эв} = \frac{25,52}{12 \cdot 0,55} = 3,9, Ом.$$

Есептеулер негізінде мен эквивалентті кедергінің мәнін анықтадым және бұл мән 3,9 Ом.

Тік болат қондырғының кедергі мәнін есептеу үшін біз 4.4 формуласын қолданамыз:

$$R_{П} = \frac{\rho}{2\pi a}(\ln(\frac{1.5L}{\sqrt{bt}})), \qquad (4.4)$$

мұнда, ρ – базалық станция орналасқан жердегі топырақтың меншікті кедергісі;

L — базалық станциядағы жерге тұйықтау құрылғысының көлденең Болат жолағының ұзындығы;

b — базалық станциядағы жерге тұйықтау құрылғысының көлденең Болат жолағының қалыңдығы;

t - жерге қосқышты жерге орналастыру тереңдігі.

а - тік болат жолақта жерге қосу элементтері арасындағы қашықтық.

Тік болат жолақтағы жерге қосу элементтері арасындағы қашықтықты 4.5 формуласынан табуға болады:

$$a = \frac{L}{n}, \qquad (4.5)$$

Есептеу үшін екі қажетті параметр белгілі және сіз оларды формулаға ауыстырып, қашықтықтың осы мәнін таба аласыз:

$$a = \frac{13}{12} = 1{,}1\text{м}.$$

Енді жерге тұйықтағыштың тік жолағын есептеу үшін барлық қажетті параметрлер белгілі. Барлық мәндерді 4.4 формуласына ауыстырып, осы қарсылықтың мәнін табуға болады [19]:

$$R_{П} = \frac{100}{2\pi \cdot 1{,}1}(\ln(\frac{1.5 \cdot 1{,}3}{\sqrt{0{,}04 \cdot 1{,}5}})) = 63{,}4\text{Ом}.$$

Тік қондырғының кедергі параметрі табылды және сіз жерге қосу құрылғысының жалпы кедергісін есептеуге кірісе аласыз. Мұндай параметрді 4.6 формуласынан табуға болады [20]:

$$R_{общ} = \frac{R_{эв} \cdot R_{П}}{R_{эв} + R_{П}}, \qquad (4.6)$$

Мұндай параметрді есептеу кезінде эквивалентті кедергінің бұрын табылған параметрлерінің мәндері және осы жерге қосқыштың кедергісі қажет. Оларды 4.6 формуласына алмастыра отырып, біз жерге қосу құрылғысының жалпы кедергісін табамыз:

$$R_{общ} = \frac{39 \cdot 63{,}4}{39 + 63{,}4} = 3{,}67\text{Ом}.$$

Осы есептеулер негізінде жалпы қарсылық мәні табылды және ол 3,67 Ом-ға тең.

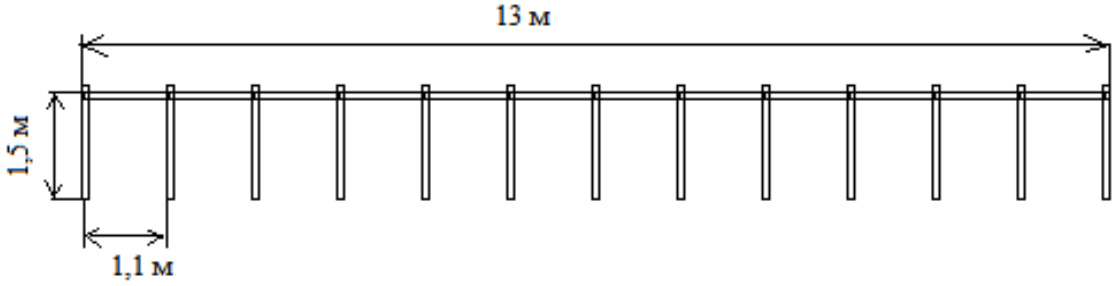
Жүйенің дұрыс орналасуын қамтамасыз ету үшін жерге қосу талапты қанағаттандыру үшін қажет:

$$R_{общ} < R_{доп},$$

3,67 Ом< 4 Ом.

Талап толығымен орындалады, бұл есептеулер дұрыс екенін білдіреді.

Енді сіз жерге тұйықтағыштың Болат жолағының сызбасын бере аласыз. Базалық станцияда жерге тұйықтағыштың осындай орналасу схемасы 4.4-суретте көрсетілген.



Сурет 4.4 - Базалық станциядағы жерге қосу сұлбасы

Қорытынды: бөлімнің бірінші бөлігінде электр жабдықтарымен жұмыс кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін барлық шаралар қарастырылды. Қауіпсіздікті толық сақтау үшін барлық қауіпсіздік шараларын сақтау қажет.

Осы бөлімнің екінші бөлігінде базалық станция құрылғыларының жерге қосу жүйесі көрсетілген. Жерге қосу құрылғысы дұрыс таңдалған, өйткені R жалпы< Rдоп шарты орындалады. Жерге қосу жүйелерін енгізудің арқасында базалық станцияда жұмыс істеу кезінде токтың зақымдану қаупі нөлге дейін азаяды.

5 Бизнес жоспарлау

5.1 Дипломдық жоба бойынша қысқаша түйіндеме

Дипломдық жобаның тақырыбы-Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық сенсорларды қолдануды талдау. Дипломдық жобада талшықты-оптикалық сенсорлардың жұмыс принципі, сондай-ақ сенсорлардың негізгі түрлері қарастырылды. Осындай датчиктер жүйелерін талдау нәтижесінде бұл ең дәл датчиктер екендігі және оларды байланыс жүйесінде пайдалану тұтастай алғанда тиімді және сенімді екендігі анықталды.

Практикалық бөлімде электрмен қоректендіру желілерінің мониторинг желісі ұйымдастырылды. Мониторинг электрмен қоректендіру желілері сыртқы әсерлерге не әртүрлі ауа райы жағдайларына ұшырамауы үшін жүргізіледі. Сондықтан мониторинг жүргізетін ылғалдылық, қысым температурасы және басқа да түрлі датчиктер қажет.

5.2 Маркетинг жоспары

Электр беру желілері үшін ең маңызды талаптардың бірі – сыртқы әсер ету жағдайында олардың істен шығуына немесе тоқтап қалудың ең төменгі

деңгейі. Желінің ақаулыққа төзімділігінің жоғары деңгейін қамтамасыз ету үшін тәулік бойы электр беру желілері мен ТОБЖ мониторингін жүргізуге қабілетті осындай шешімдер қажет.

Электр желілерінің жұмысындағы ақауларға төзімділік мәселесін шешу үшін байланыс желілері арқылы өзара әрекеттесетін сенсорлар желісі қажет. Қандай да бір ақаулық болған жағдайда, датчик сигнализацияға мәселе туралы ақпаратты береді және проблема автоматтандыру құралдарымен жойылады немесе жылдам шығу ұйымдастырылады, нәтижесінде көшпелі бригада проблеманы қысқа мерзімде жояды. Датчиктерден алынған барлық деректер электр беру желілері мониторингінің бас бөлімінде орналасқан серверлерге беріледі. Осы мәліметтер негізінде мониторинг деректері негізінде әлі пайда болмаған мәселені болдырмауға болады.

Мұндай жүйе электр желілерінің толық жұмыс істеуі үшін қажет. Өйткені, электр желілері бойынша кез-келген қарапайым кез-келген сала үшін өте қажет емес. Сондықтан бүгінгі таңда электр желілерін бақылау-бұл жай ғана әзіл емес, бұл қажеттілік. Және кез келген компания, ол электр беру желілерін созып, сенімділігі, тұрақтылығы маңызды-және бұл қамтамасыз ете алады оптикалық датчиктер.

Талшықты-оптикалық датчиктердің құрылғысы соншалықты дәл жасалған, қателік шкаласы тек 0,5%, жоғары емес болуы мүмкін. Ал электр жеткізу желілерін бақылау кезіндегі дәлдік-ең басты критерий. Сенсорлардың басқа түрлері арзанырақ, бірақ олардың дәлдігі көп нәрсені қалайды. Сондықтан электр беру желілері тартылған кез келген компания үшін талшықты-оптикалық датчиктер үздіксіз және істен шығуға төзімділігі жоғары жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Осыдан кез-келген сала тек пайда көреді және сіз ешқандай шығын күте алмайсыз.

5.3 Осындай датчиктерді енгізу үшін клиенттік секторды талдау

Электр желілері талшықты-оптикалық байланыс желілерін немесе елді мекендер мен қалалар арасында электр энергиясын беретін энергетикалық компанияларды іліп қою үшін әртүрлі телекоммуникациялық кабельдерді қолдана алады. Ұзын кабельдері бар кез-келген компания желілерді бақылау үшін сенсорларды енгізуі керек. Әр түрлі компаниялар үшін кабельдің түріне байланысты әртүрлі параметрлерді бақылау және өлшеу қажет

Телекоммуникациялық компаниялар үшін негізінен талшықты-оптикалық байланыс желілерінің механикалық параметрлерін өлшеу қажет, энергетикалық компаниялар үшін әртүрлі параметрлерді, соның ішінде кернеуді, температураны және т.б. өлшеу қажет.

5.4 Ұйымдастыру жоспары

Талшықты-оптикалық сенсорларға негізделген сенсорлық желіні енгізу үшін желілік маршрутизаторлар, сымсыз маршрутизаторлар, байланыс желілері, Брэгг талшықты торларға негізделген талшықты-оптикалық сенсорлар және дабыл құралдары қажет. Температура, ылғалдылық, ток,

Кернеу, қысым, коррозия және басқа параметрлер сияқты параметрлерді өлшейтін және бақылайтын сенсорлар қажет.

ЭБЖ желілерінде сенсорлық желіні енгізу үшін әр түрлі профильдегі инженерлер, техникалық мамандар, монтажшылар, есепші және менеджер қажет. Жобаға көбінесе жобалаумен, орнатумен, монтаждаумен, сондай-ақ мониторингпен айналысатын техникалық мамандар мен инженерлердің еңбегі тартылған.

Бұл жоба 1 Электр энергетикалық Алсэко және ТрансТелеком 1 телекоммуникациялық компанияның электр беру желілерін мониторингілеу үшін енгізілуде. Сенсорлық желі жобасын енгізудің тиімділігін қарастыру қажет. Егер жоба тиімді болса, бұл талшықты-оптикалық сенсорлардың жарамдылығы жалпы негізделген дегенді білдіреді.

5.5 Өндірістік жоспар

Сенсорлық желіні ұйымдастыру үшін электр желілерін бақылау үшін температура, ылғалдылық, қысым, коррозия, электр параметрлері негізінде әртүрлі талшықты-оптикалық сенсорлар қажет. Барлық осы сенсорлар арасындағы байланысты ұйымдастыру және бағыттау мен коммутацияны жүзеге асыру үшін Желілік жабдық, ең алдымен маршрутизаторлар қажет. Маршрутизаторлар мен сенсорларды байланыстыру үшін байланыс желілері қажет.

Сатып алынатын жабдық туралы барлық ақпарат төменде 4-кестеде келтірілген.

5.1 Кесте – Сатып алынатын аппаратура

Аппаратураның атауы	Саны	Құрылғылардың құны, тг
HP Proliant DL380 G7 8SFF сервері	1	1500000
HP 15s-fq2041 компьютерлер	15	200000
Талшықты-оптикалық байланыс желілері	4км	300тг/метр
Cisco2911 маршрутизаторы	8	600000
Cisco3702 сымсыз маршрутизаторы	16	150000
Температура датчиктері	160	40000
Ылғалдылық датчиктері	160	38000
Электр параметрлерінің датчиктері	160	45000
Қысым датчиктері	160	39000
Коррозия датчиктері	160	36000
Қозғалыс датчиктері	100	30000
Монтаждау жабдығының жиынтығы	30	100000
Сомасы		48980000

5.6 Инвестицияларды есептеу және жобаның өзектілігі

5.6.1 Сенсорлық желі жобасына күрделі салымдарды есептеу

Біз 5.1-кестеден көре алатын ақпарат негізінде аппаратураның қорытынды құны 48980000 теңгені құрайтыны көрініп тұр. Бірақ күрделі салымдар бұл сомамен шектелмейді. Сондай-ақ, монтаждау және тасымалдау шығындарын ескеру қажет.

Сенсорлық желі жобасына жалпы капитал салымдарының мәнін табу үшін біз 5.1 формуласын қолданамыз, онда инвестициядан басқа күрделі салымдар да ескеріледі:

$$\sum K = K_0 + K_м + K_{тр}, \qquad (5.1)$$

мұнда, K_0 - датчиктерді, желілік аппаратураны және байланыс желілерін сатып алуға арналған шығындар;

$K_м$ - іске қосу-баптау және монтаждау жұмыстарына, сондай-ақ датчиктерді, желілік аппаратураларды орнатуға арналған шығындар;

$K_{тр}$ - аппаратураны жүк тасымалдау шығындары және көлік шығыстары .

Біз сатып алынған жабдықтың құнының 5% - ына тең болатын көлік шығындарын табамыз, ал монтаждау жұмыстары үшін-20%:

$$K_м = K_0 * 20\% = 48980000 * 0,2 = 9796000.$$

$$K_{тр} = K_0 * 5\% = 48980000 * 5\% = 2449000.$$

Табылған мәндерді күрделі салымдарды анықтау үшін 5.1 формулаға ауыстыруға болады:

$$\sum K = 48980000 + 9796000 + 2449000 = 61225000 тг.$$

Брэггтің талшықты торлары негізіндегі талшықты-оптикалық байланыс желілері негізіндегі сенсорлық желі жобасындағы күрделі салымдар 61225000 теңгеге тең.

5.6.2 Пайдалану шығыстарын есептеу

Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық кабельдерге негізделген сенсорлық желіні жобалаудың өзіндік құнын табу үшін пайдалану шығындарының мәнін табу қажет.

Сонымен, келесі формула қолданылады:

$$Э_р = ФОТ + С_н + М + Э + А, \qquad (5.2)$$

мұнда, ФОТ – сенсорлық желі жобасын ұйымдастыруға қатысатын қызметкерлерге еңбекақы төлеу қоры;

$С_н$ – әлеуметтік аударымдар (еңбекақы төлеу қоры мәнінің 11 пайызы);

М – материалдық шығындар (күрделі салымдардың жарты пайызы);

А – амортизациялық шығындар (күрделі салымдардың 15 пайызы);

Э – электр энергиясына арналған шығыстар;

Н - үстеме шығындар.

Еңбекке ақы төлеу қоры 5.3 формула бойынша негізгі және қосымша жалақыдан тұрады:

$$ФОТ = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.3)$$

мұнда, $З_{осн}$ - негізгі ЖҚ;

$З_{доп}$ - қосымша ЖҚ.

5.2 Кесте – Сенсорлық желіні жобалау бойынша қызметкерлердің ЖҚ

Жұмысшы	Саны	Негізгі ЖҚ, тг
Жоба жетекшісі	1	300000
Бас инженері	1	250000
Инженер-жобалаушы	3	200000
Инженер-әзірлеуші	2	200000
ТОБЖ инженерлері	3	160000
Мониторинг инженерлері	3	130000
Техникалық маман	8	120000
Монтажшы	8	100000
Менеджер	3	140000
Есепші	3	130000
Жиыны	53	4990000

Айына негізгі жалақы табылды және ол 4990000 теңгеге тең. Бұл дегеніміз, жылына негізгі жалақы 59880000. Қосымша жалақыны табу үшін формуланы қолданамыз:

$$З_{доп} = 0,1 * З_{осн} = 0,1 * 59880000 = 5988000 тг.$$

Негізгі және қосымша жалақы табылғаннан кейін ЖҚ есептеуге болады:

$$ФОТ = 59880000 + 5988000 = 65868000.$$

Әлеуметтік аударымды 5.4 формула бойынша анықтаймыз. Бұл параметрді есептеу кезінде зейнетақы аударымдарын да ескеру қажет:

$$С_Н = 0,11(ФОТ - 0,1ФОТ), \quad (5.4)$$

$$С_Н = 0,11(65868000 - 0,1 * 65868000) = 6520932 тг.$$

Материалдық шығындарды келесідей табуға болады:

$$М = 0,005 * К_0, \quad (5.5)$$

$$М = 0,005 * 48980000 = 244900 тенге.$$

5.6 формуласы бойынша амортизациялық аударымдарды табамын:

$$А = Н_{аморт} \cdot \sum К, \quad (5.6)$$

мұнда, $Н_{аморт}$ - амортизация нормасы (телекоммуникациялық және компьютерлік сектор үшін 40%).

$$А = 61225000 * 0,4 = 24290000.$$

Электр энергиясын тұтыну шығындарының мәнін 5.7 формуласы негізінде табуға болады:

$$Э = n \cdot W \cdot T \cdot S, \quad (5.7)$$

мұнда, n – серверлердің саны;
W – сервер тұтынатын қуат;
T – жұмыс істеу ұзақтығы, сағатына / жылына көрсетіледі;
S – ЭЭ құны, кВатт/час.

Компания ұсынған электр энергиясын тарифтеу:күндізгі уақытта (7:00-17:00) – 16,63 тг/кВтс, кешкі уақытта (17:00-23:00) – 30,46 тг/кВтс, түнгі уақытта (23:00-07: 00) – 5,43 тг/кВтс.

Осы тарифтер негізінде электр энергиясының шығындарын есептеуге болады:

$$Э = 1 \cdot 0,5 \cdot 8760 \cdot \frac{16,63 \cdot 10 + 30,46 \cdot 6 + 5,43 \cdot 8}{24} = 71632 тг.$$

Барлық белгісіз параметрлерді тапқаннан кейін біз операциялық шығындарды табуға көшеміз:

$$Э_р = 65868000 + 6520932 + 244900 + 71632 + 24290000 = 96995464 тг.$$

Қосымша шығындарды 5.8 формуласы негізінде табуға болады:

$$Н = Э_р * 0,1 тг, \quad (5.8)$$

$$Н = 96995464 * 0,1 = 9699546 тг.$$

Өзіндік құнның мәнін табу үшін келесі формуланы қолдануға болады:

$$С = ФОТ + С_Н + М + Э + А + Н, \quad (5.9)$$

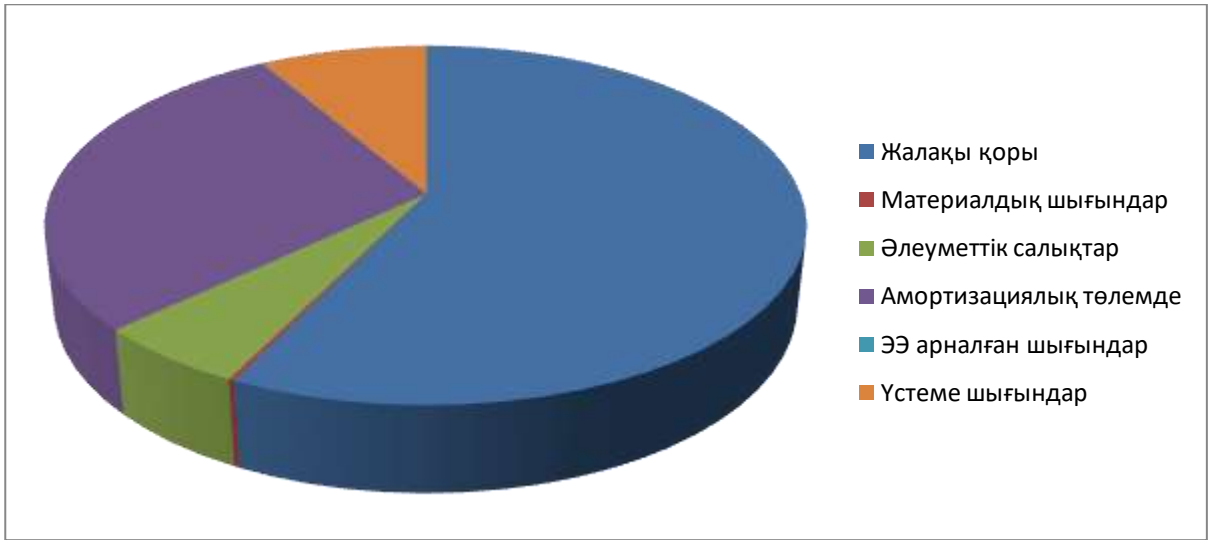
$$С = 96995464 + 9699546 = 106695010 тг.$$

Есептеу барысында бұрын табылған барлық мәндер 5.3-кестеге енгізілген.

5.3 Кесте – Шығындарды есептеу параметрлері

Сипаттамалар	Шығындар, тг	Үлесі, %
Жалақы қоры	65868000	61,7348
Материалдық шығындар	244900	0,2295
Әлеуметтік салықтар	6520932	6,1117
Амортизациялық төлемде	24290000	30,947
ЭЭ арналған шығындар	71632	0,0671
Үстеме шығындар	9699546	9,0909
Жиынтық өзіндік құны	106695010	100

Келесі қадам - 5.3-кестеге сүйене отырып, біз әр түрлі есептелген параметрлердің нақты салмағын көруге болатын диаграмма саламыз.



5.1 сурет – Есептелген деректердің дөңгелек диаграммасы

5.6.3 ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктер желісінің жобасынан түсетін кірістер

ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктер негізінде сенсорлық желіні жобалаудан түсетін, осындай жүйелерді енгізетін компания алатын кірістерді формула (5.10) негізінде табуға болады):

$$Д_0 = \sum_{i=1}^{n} q_i * U_i, \qquad (5.10)$$

мұнда, q_i - қызметтер көлемі;

U_i – белгілі бір қызметке тариф;

n – клиенттер саны.

Қондырғы және мониторинг қызметтері бойынша деректер 5.4-кестеде көрсетілген.

5.4 Кесте – Клиенттерге ұсынылатын сервис

Аппаратураның атауы	Саны	Сенсорды пайдалану құны, тг/айына	Датчикті пайдаланудың жиынтық құны, тг/айына
Температура датчиктері	160	22000	3520000
Ылғалдылық датчиктері	160	20000	3200000
Электр параметрлерінің датчиктері	160	25000	4000000
Қысым датчиктері	160	20000	3200000
Коррозия датчиктері	160	18000	2880000
Қозғалыс датчиктері	100	19000	1900000

Клиенттер төлемдерінің жалпы сомасы айына 18700000 тг құрайды.

$$Д_0 = (18700000) \cdot 12 = 224400000 \text{тенге.}$$

Компания төлемдерінен алынған кірістен шегрім ретінде пайданың мәнін табу үшін біз формуланы қолданамыз 5.11:

$$П = Д - Э, \qquad (5.11)$$

$$П = 224400000 - 106695010 = 117704990 \text{тг.}$$

Таза пайданың мәнін табу Үшін баланстық пайданың жалпы пайдасынан шегеру ретінде біз келесі 5.12 формуласын қолданамыз:

$$П_{ч} = П - 0,2 \cdot П, \qquad (5.12)$$

Мәндерді 4.11 формуласына арластырамыз және таза пайда табамыз:

$$П_{ч} = 117704990 - 0,2 \cdot 117704990 = 94163992 \text{тенге.}$$

5.6.4 Байланыс және энергетика компанияларында Брэгг талшықты торлары негізінде талшықты-оптикалық датчиктер негізінде сенсорлық желіні жобалаудың тиімділігі

Тиімділік коэффициентінің мәнін анықтау үшін формуланы қолданамыз (5.13):

$$E_{н} = \frac{1}{T_{н}}, \qquad (5.13)$$

мұнда, $T_{н}$ – жобаға инвестициялардың өтелімділігінің нормативтік мерзімі (2 жыл).

$$E_{н} = \frac{1}{5} = 0,2.$$

Брэгг талшықты тор негізінде талшықты-оптикалық датчиктердің сенсорлық желісіне салымдардың экономикалық тиімділігі коэффициентінің есептік мәні:

$$E_{р} = \frac{1}{T_{р}}, \qquad (5.14)$$

мұндағы, $T_{р}$ - Брэгг талшықты торына негізделген талшықты-оптикалық датчиктердің сенсорлық желісіне инвестициялардың өтелуінің есептік мерзімі (3 жыл).

Брэгг талшықты тор негізінде талшықты-оптикалық датчиктердің сенсорлық желісіне салымдардың экономикалық тиімділігі коэффициентінің есептік мәні:

$$T_{р} = \frac{\sum К}{С}, \qquad (5.15)$$

$$T_p = \frac{61225000}{106695000} = 0,573.$$

Мәндерді 5.14 формуласына қоямын және есептелген өтелу мерзімінің мәнін табамын:

$$E_p = \frac{1}{0,573} = 1,745.$$

ТБТ негізінде сенсорлық желіні енгізу жобасының өтелімділік мерзімі 1,745 құрайды, бұл 1 жыл 9 айға сәйкес келеді.

Табылған барлық деректер 5.5-кестеге операциялық шығыстарды, инвестицияларды, кірістер мен пайданы қамтиды.

5.5 Кесте – Осы жобаның табылған сипаттамалары

Параметрі	Мәндері
Күрделі салымдар	61225000
Пайдалану шығындары	106695010
Табыс	224400000
Пайда	117704990
Таза пайда	94163992

Ақша ағынының құнын табу үшін төменде келтірілген 5.16 формуласын қолданамыз:

$$PV = \sum \frac{P_t}{(1+E)^t}, \qquad (5.16)$$

мұнда, P_t – ТБТ негізіндегі сенсорлық желі жобасынан түсетін таза пайда;

E – дисконттау нормасы;

t – есептеу қадамының нөмірі жылдармен көрсетіледі.

$$PV_1 = \frac{94163992}{(1+0,2)^1} = 78469993 \text{тг.}$$

$$PV_2 = \frac{94163992}{(1+0,2)^2} = 65391661 \text{тг.}$$

$$PV_3 = \frac{94163992}{(1+0,2)^3} = 54493050 тг.$$

$$PV_4 = \frac{94163992}{(1+0,2)^4} = 45410875 тг.$$

$$PV_5 = \frac{94163992}{(1+0,2)^5} = 37842396 тг.$$

ТБТ негізінде талшықты-оптикалық сенсорлар негізінде сенсорлық желі жобасының құнын келесі формула бойынша табамыз:

$$NPV = \sum PV - I_C, \qquad (5.17)$$

мұнда, I_c – сенсорлық желі жобасына инвестициялар, бұл параметр күрделі инвестицияға сәйкес келеді (61225000-ға тең).

$$NPV = 78469993 + 65391661 + 54493050 + 45410875 + 37842396$$
$$-61225000 = 220382975 тг.$$

Табыстылық индексінің мәнін анықтау үшін біз 5.18 формуласын қолданамыз:

$$PL = \sum \frac{P_t}{(1+E)^t} / K, \qquad (4.18)$$

$$PL = \frac{220382975}{61225000} = 3,6.$$

Жүргізілген есептеулерге сәйкес жоба тұтастай алғанда экономикалық тиімді. Бұл бізге өтеу мерзімі 1 жыл және 9 ай () екенін айтады ($T_P \succ T_H$). Осы жобаның табыстылық индексі 1-ден жоғары болғандықтан, жоба тұтастай алғанда үнемді дегенді білдіреді. Таза пайда 94163992 теңгені, ал кіріс 224,4 млн теңгені құрайды. 61225000 сомасындағы Инвестициялар 1 жыл 9 ай ішінде өтеледі.

Қорытынды

Дипломдық жобада Брэгг торына негізделген талшықты-оптикалық сенсорлардың қолданылуына талдау жасалды. Талдау жүргізу үшін ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктердің негізгі теориялық тұжырымдамалары мен жұмыс принципін білу қажет. Сондай-ақ, сенсорлардың қандай түрлері бар және олар қай жерде қолданылатынын түсіну керек. Оларды қолдануды талдау барысында мұндай сенсорлар көптеген сенсорлық желілерде қолданылатыны және бүгінде ең танымал болып отырғаны анықталды. Мұндай танымалдылық әртүрлі параметрлерді өлшеудің жоғары дәлдігі мен сенімділігіне байланысты. Брэгг торына негізделген оптикалық сенсорлар 0,5% максималды қатені көрсетті, бұл кезде сенсорлардың басқа түрлері 10% қателікке дейін немесе одан да көп болуы мүмкін.

Дипломдық жобада олардың қолданылуын талдау үшін оның жағдайын бақылау үшін электр және оптикалық кабель желілерінің барлық параметрлерін бақылау қажет болған жағдайда алынды. Мұндай кабельдер әртүрлі климаттық және ауа-райы жағдайларына, сондай-ақ сыртқы механикалық әсерлерге әсер етуі мүмкін. Барлық осы процестерді бақылау үшін ТБТ негізінде оптикалық сенсорларды пайдалану кезінде электр желілерінің электр параметрлері есептелді, оптикалық кабель параметрлерінің температураға тәуелділігі, кабельдің салбырауы.

ТБТ негізінде талшықты-оптикалық датчиктер негізінде мониторинг жүйесі қалай жүзеге асырылатыны түсінікті болу үшін Cisco Packet Tracer ортасында ЭЖЖ жай-күйін мониторингтеу схемасын теңшеу қажет.

Тіршілік қауіпсіздігі бөлімінде электр қондырғыларымен жұмыс істеу кезінде электр тогының зақымдануынан қорғау шаралары қарастырылды. Сондай-ақ көптеген электр қондырғыларын жерге қосу есептеулері жүргізілді.

Бизнес-жоспар бөлімінде осы жобаның экономикалық негіздемесі келтірілген. Есептеулер барысында жобаның жалпы экономикалық тиімді екендігі анықталды.

Қысқартылған сөздер

WSN – Wireless Sensor Network;
БС – базалық станция
ТБТ – талшықты Брэгг торы
ЭТ – электромагниттік толқындар
FBG – fiber Bragg grating
IP – Internet Protocol;
DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol
ICMP - Internet Control Message Protocol
IoT - Internet of Things

Әдебиеттер тізімі

1. М.Н.Терентьев. Беспроводные сенсорные сети. Маи-Принт. 2008-95 с.

2. С.А. Васильев, О.И. Медведков, И.Г. Королев, А.С. Божков, А.С.Курков, Е.М. Дианов. Волоконные решетки показателя преломления и их применения// Квантовая электроника, 35, No12 (2005), с. 1085-1103

3. С.В. Варжель. Брэгговские дифракционные структуры для волоконнооптических измерительных систем// Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико- математических наук, Санкт-Петербург – 2012, с 9-10

4. Lars Hoffmann, Mathias S. Müller, Sebastian Krämer, Matthias Giebel, Günther Schwotzer and Torsten Wieduwilt. Applications of fibre optic temperature measurement// Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2007, 13, 4, 363–378

5. Lagakos, N., Bucaro, J. and Jarzynski, J. Temperature-induced optical phase shifts in fibers// Appl. Opt., 1981, 20, 2305–2308.

6. Bertholds, A. and Daendliker, R. Determination of the individual strain-optic coefficients in single-mode optical fibers// Journal of Lightwave Technol., 1988, 6, 17–20.

7. Мешковский И.К., Варжель С.В., Беликин М.Н., Куликов А.В., Брунов В.С. Термический отжиг решеток Брэгга при изготовлении волоконнооптических фазовых интерферометрических датчиков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение - 2013. - Т. 56. - No 5. - С. 91-93

8. Дж. Р. Данфи и Г. Мелц. Мультиплексированные волоконные брэгговские решетчатые датчики.Бостон-1993.

9. В.В. Мори. Волоконно-оптический брэгговский тензодатчик деформации в крупномасштабных бетонных конструкциях.

10. М. Сонг, С.В. Ли, С. Чой. Интерферометрическое измерение нечувствительности к температуре с брэгговской решеткой с различным диаметром // Опт. лит. 22 (1997) 790-792.

11.Датчики коррозии. [Электронный ресурс]: https://www.viam.ru/public/files/2009/2009-205435.pdf 12. Г.И. Леонович, С.В. Олешкевич. Гибридные датчики на волоконнооптических брэгговских решетках.Самара-20.11.2016г.

13. Е.Н. Каблов, Д.В. Сиваков. Применение оптического волокна в качестве датчиков деформации в полимерных композиционных материалах.ВИАМ/2009.

14. Wang Tao, He Dawei, Wang Ziqian, Wang Yongsheng. A novel temperature self- compensation FBG vibration sensor// Journal of Physics: Conference Series276 (2011) 012146

15. С.А. Васильев. Волоконные решетки показателя преломления и их применение// Квантовая электроника.-2005.

16. О.И. Медведков. Запись волоконных брэгговских решеток и моделирование их спектральных свойств. Москва.-2004.-46с.

17. В.А. Лазарев. Быстродействующая система измерения деформации и температуры на основе волоконно-оптических брэгговских датчиков. Москва.- 2013.-185с.

18. Эффективные инженерные решения по повышению пропускной способности ВЛЭП на основе применения системы мониторинга тока и температуры проводов, математического моделирования поведения элементов линий в различных режимах эксплуатации // Материалы презентации МРСК Ходинг.

19. Дюсебаев М.К. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах для студентов всех форм обучения. – Алматы: АИЭС, 2003. – 27с.

20. Т.С. Санатова, С.Е. Мананбаева. Безопасность жизнедеятельности «Расчет зануления» Методические указания к выпускной работе для студентов - бакалавров всех специальностей и всех форм обучения - Алматы: АУЭС, 2011 - 26 с.

21 Голубицкая Е.А., Жигуляская Г.М. Экономика связи. – М.: Радио и связь, 2000

22 Гончарук В.Д., Канаев Н.Я. Экономика, организация и планирование предприятий связи. М., 2004 г.