

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Мукатова Айдана Ерлановна

«Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын
зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

ЭТ ж ҒТ кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. кан

Е. Таштай

«24» 05 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты-оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

А.Е. Мукатова

А.Е. Мукатова

Пікір беруші

Алматы энергетика және байланыс университеті

т. ғ. д., профессор

М.З. Якубова Якубова М. З.

23 маус 2022 жыл

Ғылыми жетекші

ЭТжҒТ каф.

қауымдастырылған профессор,

PhD докторы

Н.Қ. Смайлов Н.Қ. Смайлов

«24» 05 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Автоматика және ақпараттық технологиялар институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы
5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

БЕКІТЕМІН
ЭТ ж ҒТ кафедра менгерушісі
техн.ғыл.кан
Е.Таштай
« 24 » 05 2022 ж

Дипломдық жоба орындауға ТАПСЫРМА

Білім алушы Мукатова Айдана Ерлановна

Тақырыбы «Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты-оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу».

Университет ректорының «24» 12 2021 ж. №189 бұйрығымен бекітілген
Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» 04.2022ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: 1. ГОСТ Р 59088-2020 Оптика және фотоника. Талшықты-оптикалық датчиктер. Жіктелуі. 2. ГОСТ Р 59166-2020 Оптика және фотоника. Талшықты-оптикалық таратылған температура датчиктері. Сынақ әдістері. 3. ГОСТ Р 52266-2020 Оптикалық кабельдер. Жалпы техникалық шарттар.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Талшықты-оптикалық көлбеу датчик құрылғыларының сипаттамалары
- б) Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты-оптикалық технологиясы
- в) Талшықты-оптикалық көлбеу датчик құрылғысының процесстерін зерттеу жағдайын талдау
- г) Талшықты-оптикалық сенсордың жұмыс принципі және конфигурациясын зерттеу
- д) Кең сызықтық диапазоны 320° және көлбеу бұрышы $0,3^\circ$ болатын резистивті инклинометрді зерттеу.

Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Дипломдық жұмысты дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Талшықты-оптикалық көлбеу датчик құрылғыларының сипаттамалары	07.02.2022	<i>орында</i>
Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты-оптикалық технологиясы	24.03.2022	<i>орында</i>
Талшықты-оптикалық көлбеу датчик құрылғысының процесстерін зерттеу жағдайын талдау	21.04.2022	<i>орында</i>
Талшықты-оптикалық сенсордың жұмыс принципі және конфигурациясын зерттеу	20.04.2022	<i>орында</i>
Кең сызықтық диапазоны 320° және көлбеу бұрышы 0,3° болатын резистивті инклинметрді зерттеу.	26.04.2022	<i>орында</i>

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

Қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	PhD докторы қауымдастырылған профессор Смайлов Нуржигит Куралбаевич	18.05.2022	<i>Н.К.Смайлов</i>

Ғылыми жетекшісі PhD докторы *Н.К.Смайлов* (қолы) Н.К.Смайлов

Тапсырманы орындауға алған білім алушы *А.Е.Мукатова* (қолы) А.Е. Мукатова

Күні «24» 05 2022 ж.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

- 1) Кукушкин А. Н. Разработка волоконно – оптического сенсора больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома // Молодежь и будущее авиации и космонавтики: сб. аннотаций конкурсных работ XI Всерос. молодежного конкурса науч. – техн. проектов. М., 2019. С. 120.
- 2) C. Lin, S. Kuo, Micro – impedance inclinometer with wide – angle measuring capability and no damping effect, Sensors and Actuators A: Physical. 143 (2008) 113 – 119.
- 3) D. Benz, T. Botzelmann, D. Warkentin, On low cost inclination sensors made from selectively metallized polymer, Sensors and Actuators A: Physical. 123 – 124 (2005) 18 – 22.
- 4) O. Baltag, Tilt measurement sensor, Sensors and Actuators A: Physical. 81 (2000) 336 – 339.
- 5) Кукушкин А. Н., Жуманазаров М. Ж. Разработка волоконно – оптического сенсора больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома /Волоконно – оптические, лазерные и нанотехнологии в наукоемком приборостроении («Свет–2018»)
- 6) B. Ando, A. Ascia, S. Baglio, A Ferrofluidic Inclinometer in the Resonant Configuration, IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement. 59 (2010) 558 – 564.
- 7) J. – H. Wu, K. – Y. Horng, S. – L. Lin, R. – S. Chang, A two – axis tilt sensor based on optics, Measurement Science and Technology. 17 (2006) N9 – N12.
- 8) H. Bao, X. Dong, C. Zhao, L. – Y. Shao, C.C. Chan, P. Shum, Temperature – insensitive FBG tilt sensor with a large measurement range, Optics Communications. 283 (2010) 968 – 970.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс тақырыбы «Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу».

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты талшықты – оптикалық көлбеу сенсорларының жұмыс істеу принциптерін айқындау және осы саладағы зерттеулердің қазіргі жағдайына шолу жасау болып табылады.

Жұмыста сенсорлардың жіктелуі, олардың құрылымдық сұлбалары қарастырылады. Сұлбалар, арнайы сенсорлардың қолдану перспективалары және алгоритмдері берілген.

Талшықты брэгг торына негізделген оптикалық брэгг рефлекторын зерттеу Comsol Multiphysics көмегімен бағдарламалық зерттеу ортасында ортасында зерттелді.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы "исследование волоконно – оптического сенсора наклона высокого разрешения".

Целью данной дипломной работы является определение принципов функционирования волоконно – оптических сенсоров наклона и обзор современного состояния исследований в данной области.

В работе рассматривается классификация сенсоров, их структурные схемы. Даны схемы, перспективы применения специальных сенсоров и алгоритмы.

Исследование оптического отражателя Брэгга на основе волоконной сетки брэгга было исследовано в среде программного исследования с помощью Comsol Multiphysics.

ANNOTATION

The topic of the thesis is "research of a high – resolution fiber – optic tilt sensor".

The purpose of this thesis is to determine the principles of functioning of fiber – optic tilt sensors and review the current state of research in this field.

The paper considers the classification of sensors, their block diagrams. Schemes, prospects for the use of special sensors and algorithms are given.

The study of the Bragg optical reflector based on the Bragg fiber mesh was investigated in a software research environment using Comsol Multiphysics.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	10
1 Талшықты – оптикалық сенсорлардың қасиеттерін зерттеу	11
1.1 Талшықты – оптикалық сенсорлардың практикалық қолдану	11
1.2 Талшықты – оптикалық сенсорлардың негізгі түрлері	13
1.3 Брэгг торларының негізіндегі талшықты – оптикалық сенсорлар	14
1.4 Брэгг торы негізіндегі Astro A541 талшықты – оптикалық бұрыш датчигін талдау	17
1.5 Ұңғымалардың инклинометриясы саласындағы жұмыстарға шолу және талдау	21
1.6 Кең сызықтық диапазоны 320° және көлбеу бұрышы $0,3^\circ$ болатын резистивті инклинометрді зерттеу	22
2 Инклинометриялық техникада талшықты – оптикалық гироскоптарды қолдану перспективалары	26
2.1 Талшықты оптикалық гироскоп базасындағы құрылғының ерекшеліктері және оның қателігін бағалау	28
2.2 Жүйені математикалық модельдеу және нәтижелерді қолдану	30
3 Comsol multiphysics көмегімен талшықты брэгг торына (тбт) негізделген оптикалық брэгг рефлекторын зерттеу	33
3.1 Нәтижелер және талқылау	35
Қорытынды	37
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	38
Қысқартылған сөздер	40

КІРІСПЕ

Физикалық параметрлерді өлшейтін талшықты – оптикалық технологиялар қолданбалы оптиканың ең жылдам дамып келе жатқан салаларының бірі болып табылады. Талшықты – оптикалық сенсорлардың салмағы мен мөлшері аз, өлшеу жолында электр қуатының болмауы, электромагниттік кедергілерге және агрессивті ортаның әсеріне сезімталдық, сонымен қатар таратылған ақпараттық – өлшеу жүйелеріне көптеген сенсорларды мультиплекстеу және біріктіру мүмкіндігі бар. Осы бірегей қасиеттерінің арқасында олар әртүрлі ғылыми және практикалық есептерді шешуде кеңінен қолданылады, онда ұзын объектілердің температурасын, деформациясын және басқа параметрлерін өлшеу қажет.

Талшықты – оптикалық сенсорларды екі топқа бөлуге болады: нүктелік және таратылған.

Нүктелік сенсорлардың ең көп таралған түрі болып, оптикалық сигналға өлшенетін әсердің түрлендіргіші ретінде талшықты Брэгг торын (ТБТ) қолдануға негізделген. Талшықты Брэгг торы – бұл өзекшедегі сыну көрсеткішінің периодтық түрде өзгеруімен оптикалық талшықтың сегментін құрайды. Талшықты Брэгг торы сенсоры белгілі бір толқын ұзындығымен жарықты көрсетеді $\lambda_{Br} = 2n_{eff} \Lambda$, мұндағы n_{eff} – талшықты жарық өткізгіштің сыну мәнінің тиімді көрсеткіші, Λ – жарық өткізгіштің температурасы мен деформациясына сезімтал модуляция кезеңі. Стандартты талшықты Брэгг торы өлшемдері кішкентай болғандықтан (сантиметрден аспайды), мұндай сенсор температура мәнін (немесе деформацияны) ТБТ орналасқан оптикалық талшықтың нүктесінде ғана өлшейді. Бірнеше нүктеде өлшеу үшін оптикалық талшықта бірнеше талшықты Брэгг торы қалыптастыру керек. Жарықтың жоғалуын ескере отырып, бір талшық желісіндегі Брэгг торы мөлшері ~ 100 болуы мүмкін, көптеген нүктелік ТБТ сенсорлары бар сенсорлық жүйені квази – таратылған деп санауға болады.

Соңғы жылдары физикалық шамалардың талшықты – оптикалық сенсорлары физикалық өлшеулер мен басқа да практикалық қолдану үшін айтарлықтай әлеуетті көрсетті. Бұл көбінесе олардың физикалық шамалардың кең ауқымына сезімталдығымен, химиялық тұрақтылығымен, беріктігімен, жоғары жылдамдықты және шуылға қарсы талшықты – оптикалық байланыс желілерімен, өрт және жарылыс қауіпсіздігімен байланысты. Бұл жанғыш және жарылғыш материалдармен байланысты салаларда, мысалы, көмір, мұнай және газ өндірісінде және т.б., қосымшалар үшін өте маңызды [1].

1 ТАЛШЫҚТЫ – ОПТИКАЛЫҚ СЕНСОРЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

1.1Талшықты – оптикалық сенсорлардың практикалық қолдану салалары

Әр түрлі ортаның физикалық және химиялық параметрлерін өлшеуде талшықты – оптикалық технологияларды қолдану 1970 жылдардың аяғынан басталды. Содан бері әртүрлі салаларда оптикалық толқындарды қолдану саласында көптеген зерттеулер мен ғылыми зерттеулер жүргізілді. Дәл сол кезде өндірістік процестерді басқару әртүрлі талшықты – оптикалық құрылғылардың көмегімен тиімді жүзеге асырылуы мүмкін екендігі көрсетілді. АҚШ пен Еуропада көптеген өндірушілер әртүрлі типтегі талшықты – оптикалық сенсорлардың (ТОС) сериялық өндірісін құруға күш салды [1].

ТОС – ді пайдалану өзіне назар аударды, өйткені мұндай сенсорлар жоғары сезімталдыққа ие, кең оптикалық диапазонда жұмыс істейді, жинақы, жаппай өндірудің өзіндік құны төмен және дәстүрлі электр сенсорларымен салыстырғанда жоғары сенімділікке ие. Бастапқыда мұндай ТОС – тер агрессивті ортада өлшеу үшін пайдаланылды: экстремалды жоғары температура, химиялық қауіпті заттар, электромагниттік кедергілердің жоғары деңгейі немесе дәстүрлі электр сенсорлары тиісті түрде жұмыс істей алмайтын жоғары жарылыс жағдайында пайдаланылды.

Кварц талшығынан жасалған температура ТОС – ы дәстүрлі жүктеме немесе сыйымдылықты сенсорларға қарағанда сөзсіз артықшылықтарға ие болғандықтан, жоғары температуралы өлшеулер ТОС – і практикалық қолданудың кең таралған саласы болып табылады. ТОС – дің екінші артықшылығы – оптикалық талшықтағы оптикалық сигналдың аз сөнуді, бұл оптикалық талшықты сенсорларды сигналдарды электронды өңдеу блоктары арасында ұзақ қашықтыққа орналастыруға мүмкіндік береді. Талшықты – оптикалық кабельдер мыңдаған метр ұзындықты төсеу кезінде коаксиалды және тіпті екі сымды кабельдермен бағасы бойынша салыстырыла бастады. Оптикалық талшық диэлектрлік орта болғандықтан, (кем дегенде алғашқы жақындауда) ол электромагниттік кедергілерге ұшырамайды және әсер етпейді. Талшықты – оптикалық кабель экрандауды және арнайы жерге қосуды қажет етпейді. Оптикалық сигналдарды модуляциялау/демодуляциялау үшін қажет электрондық модульдерге электромагниттік кедергілердің жоғары деңгейі бар ортада арнайы сүзгілер қажет емес. Сондықтан мұндай температура өлшегіштері және сенсорлары масштабты энергетикалық объектілердің (трансформаторлар, гидро және электр станциялары, атом реакторлары және т.б.) температураны бақылау жүйелерінде қолдануға өте қолайлы (1.1 – кесте). Жарылыс қаупі бар химия өнеркәсібінде және өрт – авариялық жүйелерде талшықты – оптикалық талшықтарда, электр кабельдерінен айырмашылығы, оларды орналастыру бойынша қатаң талаптар жоқ. Жарылыс қаупі бар қоршаған ортадағы барлық

электр таратқыштар үшін ықтимал тұтану көздерін болдырмау үшін жерге тұйықтау қажет.

1.1 Кесте - Талшықты – оптикалық сенсорлардың қолданылу бағыттары.

Қолданылу саласы	ТОС – ді қолдану бағыты
Тау – кен өндіру саласы	<ul style="list-style-type: none"> - шахталардағы өрт хабарламасы - шахта оқпандары мен тау – кен қазбаларының мониторингі - конвейерлік таспалардың үлестірілген термомониторингі
Мұнай саласы	<ul style="list-style-type: none"> - ұңғымалардың термомониторингі - ұңғымадық платформалардың бұрыштық орналасу мониторингі
Газ саласы	<ul style="list-style-type: none"> - құбырлар мониторингі
Гидроэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> - ГЭС мониторингі
Электрэнергетика	<ul style="list-style-type: none"> - электр кабелінің таратылған мониторингі - генераторлардың дірілі мен температурасын бақылау - 6 – 35 кВ тарату құрылғыларының ұяшықтарын доғалық қорғау
Құрылыс және ТКШ	<ul style="list-style-type: none"> - ғимарат құрылымы элементтерінің мониторингі (іргетас, салмақ түсетін құрылымдар, арқалықтар және жабындар) - көпірлерді, эстакадаларды бақылау - "ақылды үй" мониторингі - жылу трассаларының жай – күйінің мониторингі
Авиация және космос	<ul style="list-style-type: none"> - композициялық материалдарға сезімтал элементтерді енгізу (деформация және температура мониторингі) - борттық мониторинг жүйесі

ТОС үшін жинақтаушы бөлшектердің құны телекоммуникациялық және оптоэлектрондық өткізу нарықтарымен айқындалады. Талшықты – оптикалық сенсорларда электр өткізбейтін толық диэлектрлік материалдарды қолдануға болады. Бұл сөзсіз артықшылық, сайып келгенде, энергетикадағы ТОС таңдауға шешуші әсер етеді. Жоғары кернеу аймағында ток үшін өткізгіш жолдар, сондай – ақ Фуко токтарының әсерінен металл элементтерді жылыту қатерлері алынып тасталады.

Мониторинг жүйесінде ТОС өлшеу құралын қолданудың маңызды

артықшылығы – сигналдарды модуляциялаудың кең спектрінің арқасында сенсорлар массивінің оптикалық сигналдарын мультиплекстеу мүмкіндігі, бұл сигналдарды өңдеу блогына дейін негізгі деректер шинасы ретінде оптикалық талшықтың бір желісін пайдалануға мүмкіндік береді.

1.2 Талшықты – оптикалық сенсорлардың негізгі түрлері

Өлшенетін ақпаратты кодтау принципіне негізделген талшықты – оптикалық сенсорлар, келесі үлкен топтарға бөлуге болады [2]:

- фазалық – жоғары герентті сәулелену көзін пайдаланатын және сыртқы параметр әсерінен өзгертін жарық толқынының фазасын өлшейтін сенсорлар;

- спектрлік кодтаумен – сенсорлар, мұнда таза фазадан айырмашылығы, бүкіл спектрді талдау мүмкіндігі бар кең спектрлі сәулелену көзі қолданылады;

- амплитудалық – өлшенетін параметр өтетін немесе шағылысқан жарық толқынының қарқындылығын модуляциялайтын сенсорлар;

- туннель – сенсорлар, онда шағын саңылау арқылы туннельденудің сәулелену әсері қолданылады;

- поляризация – жарық толқынының поляризациясы туралы ақпаратты пайдаланатын сенсорлар;

Айта кету керек, бұл оптикалық – талшықты сенсорларды жіктеудің жалғыз жолы емес, жәнеде әрекет принципі бойынша жіктеуді жүргізуге болады:

- интерференциялық (Мишельсон, Фабри – Перо, Маха – Цандера және т.б.)

- бөлінген (кері және тікелей шашырау),

- люминесцентті;

- ішкі талшықты торларда;

- комбинациялық.

Сондай – ақ, сенсорларды өлшенетін параметрдің локализациясы бойынша жіктеуге болады:

- нүктелік – сенсорлар үшін жауап беретін өлшеу тікелей бір жергілікті нүктесінде;

- таратылған – нүктелік жағдайға қарағанда едәуір үлкен ұзын жүйе бойымен өлшеу нәтижелерін білдіретін сенсорлар;

- квази анықталған – бұл нүкте элементтерінің желісі, олардың әрқайсысы өздерінің байланыстыру нүктесінде оқуды алып тастайды.

1.3 Брэгг торларының негізіндегі талшықты – оптикалық сенсорлар

Қазіргі уақытта байланыс желілерінің көп бөлігі талшықты жарық өткізгіштерін ақпарат беру ортасы ретінде пайдаланады. Талшықты жарық өткізгіштерін пайдалану жоғары жылдамдықты деректерді беру желілеріне қажеттілікті қанағаттандыра алады, сондай – ақ болашақ үшін ұзақ мерзімді қызмет етуді қамтамасыз етеді және кедергілерден және желіге сырттан рұқсатсыз кіруден қорғауға қол жеткізуге болады.

Талшықты шамдар тек байланыс жүйелерінде ғана қолданылмайды. Оларды екі санатқа бөлуге болады: арнайы және телекоммуникациялық. Телекоммуникациялық жарық өткізгіштер әртүрлі байланыс жүйелерінде қолданылады. Арнайы оптикалық талшықтар басқа қолдану бағытын тапты. Қазіргі уақытта арнайы талшықтар негізінде аспаптар мен құрылғыларды құру бағыты белсенді дамуда. Оптикалық талшықтар әртүрлі физикалық параметрлердегі (температура, қысым, механикалық кернеулер және т. б.) сенсорларде, созылған объектілерді мониторингілеу жүйелерінде, талшықты лазерлерде, навигациялық құрылғыларда, медициналық аспаптарда қолданылады.

Бұл құрылғылар олардың әрекет ету принципіне және құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты әртүрлі түрлерге бөлінеді. Көбінесе арнайы оптикалық талшықтарға негізделген құрылғыларды жасау үшін Брэгг талшықты торлары қолданылады. Әдетте, олардың негізінде физикалық параметрлер сенсорлары мен бақылау жүйелерінің сезімтал элементтері, талшықты лазерлік резонаторлар, арналарды тығыздайтын телекоммуникациялық жүйелердің спектрлік сүзгілері және т.б. жүзеге асырылады.

Брэгг торларына негізделген талшықты – оптикалық сенсорлардың қасиеттерін зерттеу материалдың геометриялық параметрлерін оған сыртқы әсер ету арқылы өзгертуге мүмкіндік береді (температура, механикалық кернеу, қысым және т.б.). Осы өзгерістерді талдай отырып, оптикалық талшыққа сыртқы әсердің сипатын бағалауға болады. Бұл құбылыстар арнайы талшықты жарық өткізгіштерге негізделген көптеген құрылғылар мен аспаптардың негізі болып табылады [1].

Өлшеу құралдары сияқты, Брэгг торларының негізінде жасалған талшықты – оптикалық сенсорларды әртүрлі шамаларды өлшеу үшін түрлендіргіштер жасау үшін пайдалануға болады. Сенсорлардың артықшылықтары:

- жаңа ұшақтар немесе электр станциялары сияқты заманауи конструкцияларда кеңінен қолданылатын көміртекті талшықтармен нығайтылған әйнек сияқты жаңа композициялық материалдармен жақсы үйлесімділік;

- өте жоғары деформация өлшеу ($10,000 \mu\text{м} / \text{М}$ астам), сондықтан жоғары кернеулі композиттік конструкциялар үшін өте қолайлы;

- кішкентай өлшем және жеңіл салмақ;

- электромагниттік кедергілерге төзімді (жарықтандыру кезіндегі

кедергілерге де);

- табиғатынан пассивті (электр энергиясының қажеті жоқ), сондықтан оны жоғары кернеулі және ықтимал жарылғыш атмосферасы бар жерлерде орналастыруға болады;

- сигналдар қашықтыққа тәуелді емес (байланыс ұзындығы 50 км – ден асады);

- бір талшықта 20 данаға дейін көптеген талшықты Брэгг торлары болуы мүмкін;

- ұзақ мерзімді жоғары тұрақтылық;

- коррозияға төзімділік;

- сенсорлардың арнайы нұсқаларын 700° С дейінгі өте жоғары температурада қолдануға болады;

- орнатудың қарапайымдылығы (уақыт, кабель төсеу, тестілеу) [2].

Талшықты – оптикалық сенсор – бұл физикалық шаманың сенсоры болып, оның құрылымында талшықты – оптикалық толқын жетегі сезімтал элемент ретінде қолданылады. Талшықты – оптикалық температураны өлшеу – бұл шыны талшықтары сызықтық сенсорлар ретінде пайдаланылатын оптоэлектрондық температураны өлшеу құрылғыларының қолданылуы болып табылады. Талшықты – оптикалық температура сенсорлары қауіпсіздікке қатысты салаларда қолданылады. Мысалы, олар химиялық процестердегі температураны бақылау, өндірістік қатынастарды оңтайландыру үшін қуат кабельдерінің температурасын бақылау, теміржол туннельдері мен вагондардағы өрт қауіпсіздігін қамтамасыз ету және құбырлардағы ағып кетуді анықтау үшін қолданылады. Қарастырылған сенсорлар мұнай және газ ұңғымаларының тиімділігін арттыру үшін пайдалануға болады.

Талшықты – оптикалық сенсорлардың жалпы жұмыс принципі келесідей: сәулелену көзінен жарық оптикалық талшық арқылы өтеді, нәтижесінде бұл талшықтағы параметрлердің өзгеруіне әкеледі. (1.1 сурет) Оптикалық талшықтан өткеннен кейін спектрлер мен қарқындылық бастапқы сәулемен салыстырылады. Өлшенген мәндерді бағалау нәтижесі талшықтың сипаттамаларына байланысты емес. Өлшеу ақпаратын жарық ағынының үзілуі, жарықтың шағылысуы, радиациялық энергияның өзгеруі сияқты құбылыстар тасымалдайды. Жарықтың үзілуін қолданатын сенсорлар өте кең таралған және қолдануға оңай [3].

Брэгг торларына негізделген талшықты – оптикалық сенсор – қарқынды интерференциялық жарық әсерінен өзекте пайда болған талшық бойымен сыну көрсеткішінің мерзімді фазалық бұзылуын көрсетеді. Бұл индекстің бұзылуы жарық толқынының жолақ сүзгісі ретінде жұмыс істейді, ол толқын ұзындығы бар оптикалық сигналдан нақты тар жолақты көрсетуге мүмкіндік береді. Брэгг толқын ұзындығы (λ_B) деп аталатын шағылысқан тар жолақтың орталық толқын ұзындығы Брэгг теңдеуімен анықталады:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda_B \quad (1.1)$$

мұндағы n_{eff} – ядроның сынуының тиімді көрсеткіші, ал Λ – тордың периоды.

Талшықты Брэгг торымен жарықты сүзудің негізгі принципі 1 – суретте көрсетілген. N_{eff} және Λ температура мен кернеуді қоса алғанда, қоршаған орта параметрлеріне сезімтал. N_{eff} температурасының өзгеруі Термо – оптикалық әсерге, ал Λ – жылу кеңеюіне байланысты. Талшықтағы кернеу сонымен қатар оптикалық әсерге байланысты n_{eff} өзгерісін өзгертеді, ал созылу кезінде Λ өзгереді. Осылайша, Брэггтің толқын ұзындығы температура мен деформацияның өзгеруімен ауысады, ал қатынасты келесідей білдіруге болады:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda_B [(1 - Pe) \varepsilon + (\alpha + \xi) \Delta T] \quad (1.2)$$

мұндағы ε – талшықтағы деформация, Pe – тиімді Поккель коэффициенті (талшық өзегі үшін, $Pe \approx 0,22$), α – термиялық кеңею коэффициенті, ω – температурасы бар n_{eff} өзгеру жылдамдығын көрсететін Термо – оптикалық коэффициент (кремний диоксидінің ядросы үшін, $\omega = 6,67 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), ал ΔT – температураның өзгеруі.

Екінші формула деформация (температура) тұрақты болған кезде Брэгг толқын ұзындығы мен температура (деформация) арасындағы сызықтық қатынасты білдіреді. Мұндай жағдайларда талшықты Брэгг торы өте қолайлы және температура (деформация) бар Брэгг толқын ұзындығын калибрлегеннен кейін температураны өлшеу (деформация) кезінде қолдануға ыңғайлы [3].



1.1 Сурет - Талшықты Брэгг торының моделі

Талшықты Брэгг торларына негізделген оптикалық сенсорлар бірқатар артықшылықтардың арқасында нарықтың үлкен үлесін алды: шағын форма факторы, жеңіл салмақ, электр қосылыстарының қажеті жоқ және қашықтан зондтау үшін үйлесімділік. Талшықты Брэгг торларының ерекшеліктері жоғары сезімталдықты, жоғары ажыратымдылықты және кең динамикалық диапазонды, сондай – ақ радиожиілікке және электромагниттік кедергілерге төзімділікті, сондай – ақ олардың өзара әрекеттесу мүмкіндігін көрсетеді. Деректерді беру жүйелері оларды көптеген сенсорлық қосымшаларда кеңінен қолдануға ықпал етті. Физикалық, химиялық, биомедициналық және электрлік параметрлерді қоса

алғанда, қоршаған ортаның әртүрлі параметрлеріне жоғары сезімталдыққа байланысты олар азаматтық Инфрақұрылым, аэроғарыш, энергетика және теңіз салаларында денсаулықты құрылымдық бақылау үшін қолданылады, мұнда өлшенетін шамаларға қатысты ақпарат әдетте Брэгг толқын ұзындығының ығысуымен кодталады [4].

Қазіргі уақытта талшықты – оптикалық сенсорлар Брэгг торлар негізінде дайындалған түрлі салаларда өздерін дәлелдеді. Коммерциялық нарықтың дамуы осы сенсорларға қызығушылықтың артуын көрсетеді.

1.4 Брэгг торы негізіндегі Astro A541 талшықты – оптикалық бұрыш датчигін талдау

Сенсорларға деген қажеттілік бақылау мен басқарудың автоматтандырылған жүйелерінің қарқынды дамуына, жаңа технологиялық процестердің енгізілуіне, икемді автоматтандырылған өндірістерге көшуге байланысты тез өсуде. Жоғары метрологиялық сипаттамалардан басқа, сенсорлар жоғары сенімділікке, беріктікке, тұрақтылыққа, шағын өлшемдерге, массаға және энергияны тұтынуға, микроэлектронды ақпаратты өңдеу құрылғыларымен үйлесімділікке ие болуы керек. Бұл талаптар талшықты – оптикалық сенсорлармен барынша қанағаттандырылады.

Талшықты – оптикалық сенсорлардың дамымаған бағыттарының бірі – көлбеу бұрышы мен бұрыштық қозғалыстарды өлшеу. Нарықта бірнеше талшықты – оптикалық бұрыштық көлбеу сенсорлары бар. (1.2 сурет) Astro A541 көлбеу бұрышының талшықты – оптикалық сенсоры ауытқу бұрышын 10° дейін өлшеуге қабілетті (1.2 – кесте) [4]. Бұл сенсордың сезімтал элементі – талшықты Брэгг торы – толқын ұзындығының тар спектрін көрсетуге қабілетті оптикалық талшықта жазылған мерзімді құрылым.



1.2 Сурет - Astro A541 талшықты – оптикалық бұрыш сенсоры

1.2 Кесте - Astro A541 сипаттамалары

Өлшеу диапазоны, градус	10(±5)
Көлбеу бұрышы, градус	0,002
Сезімталдылық, пм/градус	500
Максималды калибрлік ауытқу, градус	0,06
Жұмыс температурасы диапазоны, °C	- 20 ... +80
Толқын ұзындығы диапазоны, нм	1500 – 1600
Шағылысу коэффициенті	>65
Корпус материалы	тот баспайтын болат
Байланыс түрі	талап бойынша
Өлшемдері, мм	220*140*43
Салмағы, кг	3,3

Сигнал анализаторында орналасқан Лазер секундына 100 рет бірнеше толқын ұзындығын жібереді. ТБТ сыртқы әсер ету кезінде оптикалық спектрді көрсетеді оңға немесе солға жылжиды. Сенсордың толқын ұзындығының өзгеруі сенсорға сыртқы әсердің сипаттамаларын анықтайды [4]. Бұл сенсордың кемшіліктері лазердің болуына, өндірістің қымбаттығына, өлшеу диапазонының аздығына, үлкен өлшемдеріне (220 × 140 × 43) және үлкен салмағына (3,3 кг) байланысты әлсіз дірілге төзімділік болып табылады.

Талшықты Брэгг торына негізделген OSI – 570 көлбеу бұрышының талшықты – оптикалық сенсоры ауытқу бұрышын 5° дейін өлшеуге қабілетті (1.3 сурет) [5].

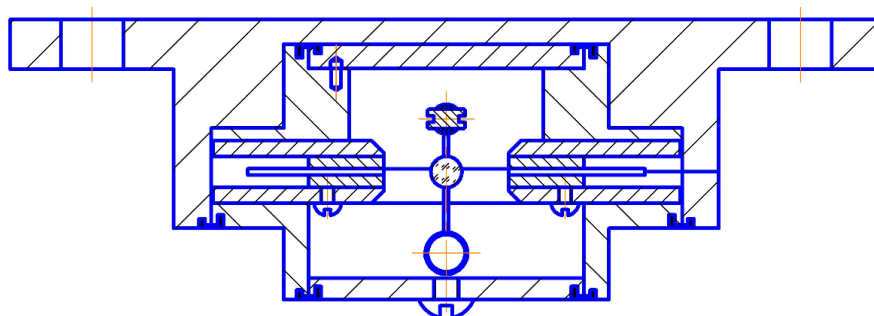
Маятникті және статор мен ротордан тұратын екі бұрыштық сенсорды қамтитын маятникті бұрыш сенсоры да белгілі. "Бұрыштық сенсорлардың статорлары редукторларға соос арқылы қосылады, ... бұрыштың екі сенсоры да сенсор корпусына бекітілген суспензияның бір осіне орнатылады және олардың роторлары осы оське орнатылады, бір бұрыштық сенсордың статоры мен берілісі маятникке қатты қосылып, осы бұрыштық сенсордың Роторына қатысты суспензия осінің айналасында айналу мүмкіндігімен орнатылады.. басқа бұрыш сенсорының редукторы осы бұрыш сенсорының Роторына қатысты суспензия осінің айналасында айналу мүмкіндігімен орнатылады, редукторлар бұрыштық сенсорлардың статорларына қосылады, аралық берілістердің жұп саны арқылы ілуде болады, бұрыштар сенсорларының статорларының шығу орамалары олардың шығу сигналдарын қосу мүмкіндігімен қосылған" [6].



1.3 Сурет - OSI – 570 талшықты – оптикалық бұрыш датчигі

Бұл құрылғының кемшілігі – құрылғының күрделілігі, жұмыс принципі механикалық және электрлік байланыстарға негізделген, бұл жарылыс – өрт қауіпсіздігін айтарлықтай төмендетеді. Оны жүзеге асыру үшін бұрышты және талшықты – оптикалық сенсорды өлшеудің жаңа әдісі ұсынылады. Оптикалық талшықтардың сәулелі ұшындағы жарық ағынының қуатын қуыс кесілген конус түрінде кеңістіктік бөлу ескеріледі, бұл оптикалық сигналдардың дифференциалды түрленуін жүзеге асыруға және талшықтардың иілуінен, күшейтілген және төмен температураның әсерінен және т.б. қосымша қателіктерді 2 – 3 есе азайтуға мүмкіндік береді.

Бірінші модель оптикалық талшықтардың жұмыс ұштарына қатысты линзаның бұрыштық позициясы өзгерген кезде оптикалық сигналды модуляциялау принципіне негізделген (1.4 сурет).



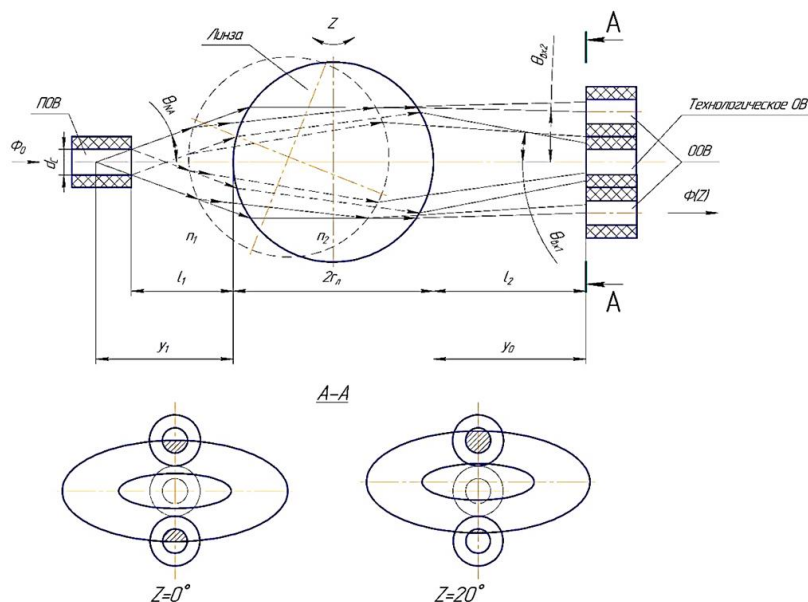
1.4 Сурет - Талшықты – оптикалық бұрыштық сенсордың алғашқы моделінің құрылымы

Белгілі конструкцияларға сүйене отырып, маятник қабылдау элементі ретінде таңдалды, оның суспензиясының ортасында оптикалық модулятор бекітілген цилиндрлік немесе сфералық линзалар. Сенсор бекітілген тіректің орны өзгерген кезде маятниктің объективпен ауытқуы пайда болады. Линзаның орнын өзгерту жарық ағынының бағытын өзгертеді, соның арқасында ауытқу бұрышының жаңа мәнін түзетуге болады. Дәл осы модуляция әдісі бұрыштық

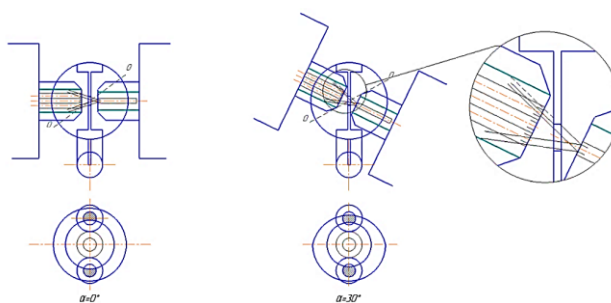
ауытқуларды 30° – ға дейін түзетуге мүмкіндік береді. Жарық ағынының оптикалық талшықтан объектив арқылы өтетін оптикалық талшыққа өтуі суретте көрсетілген.

Құрастыру кезеңінде линзаны түзетудің күрделілігіне байланысты объектінің көлбеу бұрышы өзгерген кезде жарық ағынын түрлендірудің басқа әдістерін, атап айтқанда, шекті аттенюаторды қолдана отырып, сынап көру туралы шешім қабылданды [7].

Маятниктің дизайны көлбеу бұрышы өзгерген кезде жарық өтетін тесіктің ауданы өзгертіндей етіп қайта жасалды. Осының арқасында сіз өлшеу аймағынан шығарылатын оптикалық талшық бойынша сәулелену қабылдағышына түсетін сәулелену қуатын өзгерте аласыз. Бірінші нұсқадағыдай, маятниктің тірегі қабылданбайды. Маятниктің ауытқуы кезінде жарық сәулелері мен сенсордың өлшеу түрлендіргіші элементтерінің өзара орналасуының сызбалық бейнесі 1.5, 1.6 суретте көрсетілген.



1.5 Сурет - Сенсордағы жарық ағынының барысы



1.6 Сурет - Жаңа құрылымдағы жарық ағынының барысы

Нәтижесінде нарықтағы құрылғыларға карағанда бірқатар артықшылықтарға ие талшықты – оптикалық бұрыштық сенсорды өндірудің

жаңа дизайны мен технологиялық дәйектілігі жасалады. Ол мұнай – газ өндірісіне арналған бұрғылау қондырғыларында, АЭС және өнеркәсіптік құрылыстардағы құрылымдардың параметрлерін бақылау кезінде, зымыран кешендерінің әртүрлі позициялау жүйелерінде, ғарыш айлақтарының ұшыру алаңдарындағы тірек фермаларын бақылау үшін қолданыла алады. Болашақта мүмкіндігі бар басқа физикалық шамалардың сенсорларының желісін құру олардың ортақ жүйесін біріктіру.

1.5 Ұңғымалардың инклинометриясы саласындағы жұмыстарға шолу және талдау

Ұңғыманың траекториясының кеңістіктік бағдарлануының бұрыштық параметрлерін бақылау көлбеу бағытта және көлденең бұрғылауда маңызды мәнге ие, өйткені ол жобалық профильге сәйкес ұңғыманы өткізудегі шешуші фактор болып табылады [8]. Сонымен қатар, бұл аспектілер Ұңғымаларды күрделі геологиялық құрылымы бар жыныстарда, мысалы, қабатты ауыспалы өнімді қабаттары бар кен орындарында өткізгенде ерекше маңызды. Ұңғыма сымдарының дәлдігі, әрине, геологиялық талдаудың тиімділігі мен сенімділігіне де, тұтастай алғанда кен орнын игеру тиімділігіне де әсер етеді.

Ұңғыманың кеңістіктік бағдарын бақылау міндеті инклинометриялық өлшеу техникасы мен технологияларын қолдану арқылы шешіледі. Инклинометрия ғылым ретінде де, Геоақпараттық жүйе (ГАЖ) технологиялық бөлігінің құрамдас бөлігі ретінде де өзінің тарихы бар және өте динамикалық дамумен сипатталады. Жалпы, инклинометриялық жүйе (ИЖ) дегеніміз – жермен байланысты негізгі координаттар жүйесіне қатысты қатты денелердің кеңістіктік бағдарлануының бұрыштық параметрлерін бақылауға арналған техникалық және технологиялық құралдардың жиынтығы. Кеңістіктік бағдарлаудың бұрыштық параметрлеріне мыналар жатады: α азимуты – көлденеңінен есептелетін бұрыш магниттік (немесе географиялық) меридианның солтүстігіне қарай бағыт пен осы нүктеде объектінің қозғалыс траекториясына немесе ұңғымалық аспап корпусының басты бойлық осіне қатысты тангенс көкжиегінің жазықтығына проекция арасындағы жазықтық; θ зениттік бұрыш – еркін құлаудың үдеу векторының бағыты мен осы жазықтыққа қатысты проекциялар арасындағы тік жазықтықта есептелетін бұрыш. берілген нүкте; нысаналық (апсидальдық) бұрыш ϕ – апсидальдық жазықтықта есептелетін бұрыш – осы өлшеу нүктесіндегі көлбеу жазықтықпен қимаға қатысты есептеудің басталуы жүргізілетін қозғалыс траекториясына перпендикуляр жазықтық.

ИЖ ұңғымалық өлшеу құралын және байланыс арнасы арқылы қосылған ақпаратты өңдеу және көрсету үшін жердегі қашықтан басқару құралын қамтиды. Арнаның нақты инклинометриялық есебінің шешіміне байланысты байланыстар геофизикалық каротаж кабель түрінде брондалған жүк көтергіш

орамамен, сымсыз – электромагниттік, гальваникалық, акустикалық, гидравликалық болуы мүмкін, ал инклинометрдің құрылымдық нұсқасының автономды нұсқасында өлшеу процесінде байланыс арнасы жоқ. Мұндай ИЖ – де өлшенген сигналдар ұңғымалық құрылғының автономды жадына жазылады және оны бетіне шығарған кезде шифрланады және жер үсті пультімен қашықтан өңделеді. Ашық оқпандағы инклинометрия жүргізілетін өлшеулердің негізгі бөлігін құрайды. Өндірістік геофизикалық ұйымдар магниттік емес ортада ГАЗ орындау кезінде негізгі үш түрді пайдаланады каротаж кабелінде кенжарда тасымалданатын инклинометрлер: маятникті құрылымдарға, магниттік жебеге және Потенциометриялық түрлендіргіштерге негізделген магнитті механикалық; горизонталь маятникті платформалары және контактісіз бастапқы түрлендіргіштері бар екі картанды раманың кинематикалық схемасы бойынша салынған инклинометрлер; және ең перспективалы – үш компонентті феррозондты және аксебиометриялық сенсорларі бар инклинометрлер.

Бір реттік өлшеу кезінде инклинометриялық қондырғылар бірдей құрылғыларды қолданады. Ұңғыманың ұзын көлденең учаскелерін зерттеу кезінде қатты қаттылықтың арнайы кабелі немесе бұрғылау құбырлары бағанының түбінде тасымалданатын автономды құрылғылар мен кешендер қолданылады. Бұрғылау ұйымдарының "кесу" деп аталатын өтінімдері кезінде геофизиктер апсидальды жазықтықтағы ауытқудың орнын, "кит – магнит" жүйесін басқаратын құрал ретінде қолданылады.

Инклинометрияны қолданудың жеке саласы – телеметриялық кенжар жүйелері немесе MWD ('Measurement while drilling) жүйелері деп аталатын бұрғылау процесінде тікелей параметрлер кешенін бақылау болып табылады [9].

1.6 Кең сызықтық диапазоны 320° және көлбеу бұрышы 0,3° болатын резистивті инклинометрді зерттеу

Тиімді инклинометриялық өлшеу кешендерін (ИӨК) жасау кезінде әзірлеушілерге екі негізгі проблема туындайды:

1. Аномальды магниттік қасиеттері бар ортада бұрғыланған, сондай – ақ болат құбырлармен қапталған ұңғымалардың бағдар параметрлерін зерттеу және анықтау міндеттері гироскопиялық сезімтал элементтерді (ГСЭ) қолдану қажеттілігіне әкеледі. Кәдімгі магнитометриялық инклинометрлерде географиялық азимутпен байланыстыруды жүзеге асыру үшін сыртқы гироскопасты пайдалану қажет, бұл ИӨК техникалық – экономикалық және пайдалану сапасына теріс әсер етеді.

2. Дәстүрлі түрде, ГСЗ пайдалану және тасымалдау кезінде пайда болатын сыртқы әсерлерге, әсіресе соққыларға төзімділігі жоқ динамикалық реттелетін гироскоптар (ДРГ) қолданылады. Сонымен қатар, ДРГ – ға негізделген ИӨК жоғары температура жағдайында қолданыла алмайды.

Қойылған міндеттерді шешу үшін отырғызылған және отырғызылмаған бұрғылау ұңғымаларын зерттеуге арналған жұмыс температурасының кеңейтілген диапазоны бар шағын габаритті гибриді гиромагнитометрлік инклинометр әзірленді.

Талшықты – оптикалық гироскоптарды (ТОГ) қолдану [11, 12, 13] дәлдігі жоғары емес кеңейтілген ГСЭ пайдалану ұңғымалардың геофизикалық параметрлерін аспаптың көлемдік – массалық сипаттамаларын нашарлатпай, жеткілікті дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді.

Азимутты өлшеудің гироскопиялық жүйесімен қатар эксперименттік үлгіде "Honeywell" шығарған магнитті – резистивті микросхемаларда салынған үш осьті магнитометрлер блогы қолданылады. Азимутты өлшеудің қосымша арнасын пайдалану ұңғыма құралының бағасын біршама арттырады, бірақ әртүрлі физикалық принциптерге негізделген өлшеудің екі әдісін қолдану арқылы азимутты өлшеудің сенімді нәтижелерін береді:

- үш талшықты – оптикалық гироскоптардың сезімталдық осінде Жердің айналу жылдамдығының бұрыштық векторының проекцияларын өлшеу,
- сыртқы магнит өрісінің кернеу векторының үш ортогональды проекциясын өлшеу.

Гибриді өлшеу кешені басқа құралдармен шешу қиын геофизиканың келесі мәселелерін шешуге жарамды:

- Магниттік ауытқулардың табиғатын декодтау.
- Ұңғыма жанындағы кеңістікте магниттік сезімталдығы жоғары денелерді іздеу.
- Магниттік массалардың кеңістіктік орнын анықтау.
- Ұңғымалар қимасы бойынша магнит өрісінің инверсия аймақтарын бөлу.
- Зерттелетін ұңғымалардың азимуты мен зениттік бұрышын бақылау.
- Бұрғылау процесінде магниттік материалдар негізінде бұрғылау ерітінділерінің ауырлатқышын пайдалану кезінде "жалған" ауытқуларды қабылдамау.
- Мұнай – газ ұңғымаларындағы аварияны жою кезінде іздестіру ұңғымасының оқпанын авариялық ұңғыма оқпанына бағыттау.

Академик В. И. Кузнецов атындағы Қолданбалы механика ғылыми зерттеу институтында әзірленетін өлшеу үлгісіндегі гиромагнитометриялық инклинометр өлшенетін бұрғылау ұңғымасының траекториясын анықтауға, оның ішінде келесі міндеттерді шешуге арналған:

- Бұрғылау ұңғымасының вертикальдан ауытқуын анықтау үшін қажет тереңдіктегі функция ретінде зениттік бұрышты анықтау.
- Жер асты кеңістігіндегі ұңғыманың профилін анықтау үшін қажетті батыру тереңдігінен (ұңғыманың білігі арқылы өтетін тік жазықтыққа қатысты ұңғыманың бойлық осі айналасындағы бұрылу бұрышы) функция ретінде апсидальды бұрышты анықтау.
- Географиялық азимутты географиялық координаттардағы ұңғыманың профилін анықтауға қажетті тереңдіктегі функция ретінде анықтау.

- Зерттелетін ұңғымаға қатысты магниттік массалардың (магниттік кендер, ескі Шеген ұңғымалар және т.б.) орналасуын анықтау үшін қажетті географиялық меридианға қатысты магнит өрісінің күші мен бағдарын өлшеу.

- Ұңғымалық аспаптың жұмысының шекті температурасына жету себебінен оның батырылуын тоқтату үшін қажетті температураны өлшеу.

Инклинометрге центраторлары бар ұңғымалық құрылғы, қысқа кабель, жердегі қуат және байланыс пульті және жеке компьютер кіреді.

Ұңғыманың диаметрі 36 мм құрайды, бұл центраторлардың кең ассортиментімен бірге ұңғымаларда барлық диаметрлердің практикалық өлшемдерін жүргізуге мүмкіндік береді.

Магнитометрлердің үш осьті блогын енгізудің арқасында кеңістіктегі ұңғыма осінің бағытын анықтап қана қоймай, ұңғыма осінің иілу аймақтарын бөліп қана қоймай, сонымен қатар геологиялық құрылымдар үшін бастапқы мәліметтерді алуға болады, мысалы, өнімді қабаттардың нақты тереңдігін анықтау үшін қолданылады. Магнитометрлер блогының дизайны 1.7 суретте көрсетілген. Магнитометрлер блогында Honeywell шығарған hmc1002 биаксиалды магнитометрлерінің үш чипі, магнитометрлердің алдын – ала сигнал күшейткішінің тақтасы, сондай – ақ магниттеу тізбектері мен магнитометрлердің көпірлерінің қуат тақтасы бар. Айта кету керек, барлық қолданылатын электронды компоненттер кең температуралық диапазонға ие.



1.7 Сурет - Үш осьті блоктың құрылымы: а) магнитометрлер, б) акселерометрлер

Құрылғының дизайнына үш осьті акселерометрлер блогы да кіреді. Акселерометрлердің үш осьті блогынан алынған сигналдар зениттік және апсиалды бұрыштарды есептеу кезінде қолданылады.

Микропроцессор модулі бекітілген ТОГ – тан келетін алдын – ала күшейтілген аналогтық сигналдарды өңдейді және оларды сандық түрлендіреді, сонымен қатар, үш – акселерометрлер мен магнитометрлердің сүйек блоктары және жылжымалы ТОГ – тың жылу сенсорынан ақпарат алады. Микропроцессорлық модуль шығаратын төмен вольтты сандық сигнал байланыс контроллеріне түседі. Азимуталықтан алынатын сигналдар ТОГ, үздіксіз жұмыс режимінде географиялық азимут бұрышын есептеу кезінде қолданылады.

Өзірленген инклинометр екі жұмыс режимін қолдайды: үздіксіз және көп нүктелі.

Көп нүктелі режимде жұмыс істей отырып, ұңғыма аспабы тоқтаудан тоқтауға дейін ұңғыманың осі бойымен шамамен 25 м арақашықтықты 1,0 м/с аспайтын жылдамдықпен өтеді, әрбір аялдамада өлшеу жүргізу уақыты 5,0 минуттан аспайды. Тоқтау кезінде географиялық азимутальды бұрыш гироскопирлеу режимінде өлшенеді. Бұл режим дәл өлшеу нәтижелеріне қол жеткізуге мүмкіндік береді, бірақ сонымен бірге бір ұңғыманы зерттеуге 8 – ден 12 сағатқа дейін уақыт кетеді. Өлшеу процесін жеделдету үшін үздіксіз жұмыс режимі жасалды.

Инклинометр келесі техникалық сипаттамаларға ие :

- магнит өрісінің беріктігін өлшеу диапазоны ± 200 мТл;
- температураны өлшеу диапазоны
- 30 ... +120 °С;
- максималды 50 g бірнеше рет соққы және діріл;
- зениттік бұрыштың максималды өлшеу қателіктері $\pm 0,05^\circ$;
- зениттік бұрыштар диапазонындағы географиялық азимут бұрышын өлшеудің ең үлкен қателіктері $4...60^\circ \pm 0,5^\circ$;
- 0,5 зениттік бұрыштар диапазонындағы географиялық азимут бұрышын өлшеудің ең үлкен қателіктері...4 және $60 \dots 80^\circ \pm 2,0^\circ$;
- аpsidal бұрышын өлшеудің максималды қателіктері $\pm 0,5^\circ$;
- магниттік азимуттық бұрышты өлшеудің ең үлкен қателіктері (магниттік массалар болмаған кезде) $\pm 2,0^\circ$;
- магнит өрісінің кернеулігін өлшеудің максималды қателіктері $\pm 1,0$ мкТл;
- температураны өлшеудің максималды қателіктері $\pm 1,0^\circ$ С.

Үздіксіз режимде жұмыс істеген кезде Географиялық азимут бұрышы үздіксіз үш ТОГ – мен өлшенеді. Инклинометрдің ұңғымалық құралы 500 м өтеді, содан кейін ол 5 минутқа тоқтайды және ұңғымалық құрылғыда сақталған азимутты нақтылау үшін гироскопир – компас режимінде жұмыс істейді, содан кейін құрылғы қозғалысын жалғастырады. Бұл режим өлшеу уақытын бірнеше есе азайтуға мүмкіндік береді.

2 ИНКЛИНОМЕТРИЯЛЫҚ ТЕХНИКАДА ТАЛШЫҚТЫ – ОПТИКАЛЫҚ ГИРОСКОПТАРДЫ ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Қазіргі мұнай – газ өндірісіндегі ұңғыманың кеңістіктік жағдайын тиімді бақылау мәселесі ең маңызды және өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Бұл күрделі пайдалану жағдайларына (үлкен тереңдікке және өнімді шоғырлар жатуының қиындығына), сондай – ақ бұрғылау ұңғымаларының бейінін анықтау дәлдігіне қойылатын талаптардың арту үрдісіне байланысты. Мәселені шешу қажетті ақпаратты дәл және тез алуға мүмкіндік беретін және сонымен бірге жоғары сенімділікке ие өлшеу және есептеу жабдықтарын жасаумен тікелей байланысты. Екі метр қисық Ұңғымаларды анықтау үшін бұрғылау құралының құрамында қозғалатын немесе кабельде ұңғымаға түсетін инклинометр қолданылады. Қазіргі уақытта ақпарат сенсорларының кең спектрі бар, оларды инклинометриялық жүйелерде қолдану жер асты навигациясының мәселелерін шешуге мүмкіндік береді. Жұмыста гироскопиялық инклинометрлерде ТОГ қолдану ерекшеліктері мен әдістері қарастырылады.

Нысанды бағдарлау міндеті координаталар жүйесіндегі кем дегенде екі бөлінбейтін векторлардың келісілген өлшемдерін қолдана отырып шешіледі, олардың өзара бағыты α азимуты, θ зениттік бұрышы және φ бұрыштық бұрышы арқылы жүзеге асырылады (2.1 сурет), сонымен қатар

$$\alpha = \arct\left(\frac{b_3 * e_2}{b_3 * e_1}\right), \quad \varphi = \arctg\left(\frac{b_2 * e_3}{b_1 * e_3}\right) \quad (2.1)$$

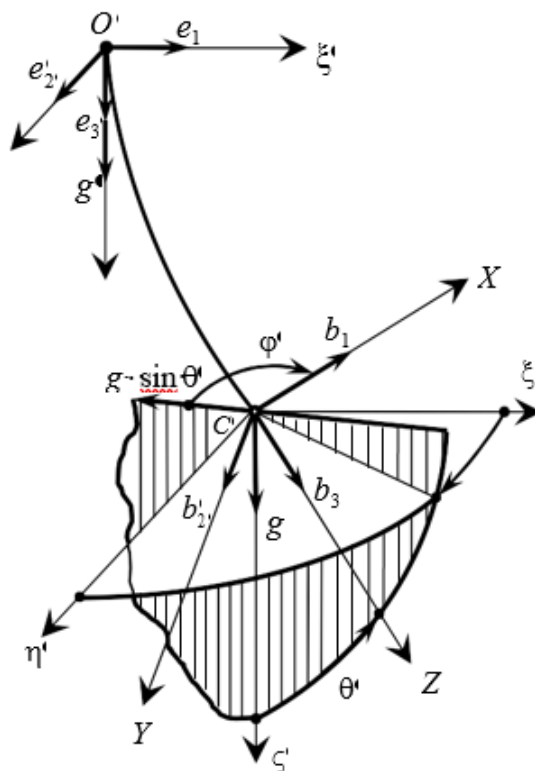
$$\theta = \arctg\left[\frac{1}{b_3 * e_3} * \sqrt{(b_1 * e_3)^2 + (b_1 * e_3)^2}\right] \quad (2.2)$$

мұндағы \vec{e}_i , \vec{b}_j ($i, j = 1, 2, 3$) – тік бұрышты координаттар жүйесіне сәйкес келетін қозғалмайтын R_e және жылжымалы R_b базистерінің орталары.

E_1 векторы тангенс бойымен географиялық меридианға солтүстікке қарай; тангенс бойынша географиялық параллельге қарай шығысқа қарай; \vec{e}_1 – гравитациялық вертикаль бойынша жердің ортасына қарай бағытталғанын ескеріңіз. \vec{b}_1 , \vec{b}_2 векторлары инклинометр шассиінің өлшеу модулін орнату кезінде пайдаланылатын базалық беттердің орналасуын анықтайды; вектор V_3 инклинометрдің цилиндрлік корпусының бойлық осі бойымен ұңғыма сағасынан кенжарға қарай бағыт [1].

Параметрлерді есептеудің нақты алгоритмдерін құру принциптері (1) геомагниттік өрістің кернеулігі, \vec{g} еркін түсу үдеуі, Жердің айналу жылдамдығының бұрыштық жылдамдығы қолданылатын өлшенетін физикалық шамаларға \vec{e}_i ($i = 1, 2, 3$) тәуелділігін анықтауға дейін азаяды. Біздің елімізде және шетелде ең кең таралған – үш феррозонд және үш акселерометр шассиге бекітілген магнитометриялық инклинометрлер [2].

Қалыпты магниттік қасиеттері бар ортада бұрғыланған, сондай – ақ болат құбырлармен қапталған ұңғымалардың бағдар параметрлерін анықтау қажеттілігі гироскопиялық инклинометрлерді қолданудың орындылығына әкеледі [1, 3].



2.1 Сурет - Өзара бағыты α азимуты, θ зениттік бұрышы және φ бұрыштық бұрышы

Жұмыста қарастырылған жағдайда азимут, нысана және зениттік бұрыштардың мәндері өрнектермен анықталатындығы көрсетілген [7].

$$\alpha = \arctg \left[\frac{(A_1 D_2 - A_2 D_1)}{(A_1^2 + A_2^2) D_3 - D_2 A_2 A_3 - D_1 A_1 A_3} \right] \quad (2.3)$$

$$\varphi = \arctg \left(-\frac{A_2}{A_1} \right), \quad \theta = \arctg \left[\frac{1}{A_3} \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \right] \quad (2.4)$$

мұнда A_i, D_j ($i, j = 1, 2, 3$) – сезімталдық осьтері өзара ортогональды және тиісінше J В r орталарының бағыттарымен сәйкес келетін бұрыштық жылдамдықтардың акселерометрлері мен сенсорларынен (БЖД) келетін шығыс сигналдары.

Жоғарыда келтірілген қатынастар қисық ұңғымадағы инклинометрдің бағдарлау параметрлерін табу үшін акселерометрлер мен БЖД триадасынан келетін сигналдарды өңдеу алгоритмдерін нақтылауға мүмкіндік береді.

2.1 Талшықты оптикалық гироскоп базасындағы құрылғының ерекшеліктері және оның қателігін бағалау

Жердің айналу жылдамдығының бұрыштық векторы туралы ақпарат көздерінің ішінде күрделі пайдалану жағдайларында пайдалану тұрғысынан ТОГ ерекше қызығушылық тудырады [14]. БЖД – тің осы түрінің артықшылықтарының қатарына мыналар жатады: кішігірім массалық және энергетикалық сипаттамалары, жоғары дәлдік, үлкен жүктеме жағдайында жұмыс істеу мүмкіндігі, өлшенетін параметрлердің кең спектрі, жұмысқа дайындықтың аз уақыты. ТОГ базасында аспаптарды зерттеумен және әзірлеумен Ресей, АҚШ, Германия, Франция, Жапония, Израиль жетекші фирмаларының мамандары айналысады, олардың ішінде келесілерді атап өту қажет: "Физоптика" ЖШҚ және "Оптолинк" ЖШҚ (Мәскеу қ.), Пермь ғылыми – өндірістік Аспап жасау компаниясы (ПНППК), "Honeywell", "KVN Industries", "Litton", "Rockwell International", "Northrop", им. Массачусетс технологиялық институты, "Litet", "Sagem", "Mitsubishi Precision Co" және "Cielo". ТОГ жұмысының негізі болып табылатын әсердің мәні – айналмалы координаттар жүйесіндегі жабық контур бойымен кванттар ағынының өту уақыты бекітілген координаттар жүйесіндегі сол контур бойынша кванттар ағынының өту уақытынан өзгеше. Оптикалық контур мұндай гироскоп құрылды сверхтонким оптоволокном сақталуын арттыратын поляризацию сәулелену намотаным арналған оның. Көзден сәуле (мысалы, люминесцентті диодтан) Жарық бөлгішке беріледі және екі сәуле ағынына бөлінеді. Жабық талшықты – оптикалық тізбекті айналып өтетін бұл сәулелер Фото детекторға жіберіледі, оның шығысында электр сигналы пайда болады. Электроника блогын қолдана отырып, сигналды тиісті өңдеуден кейін талшықты – оптикалық тізбектің айналу жазықтығына перпендикуляр болатын құрылғының өлшеу осіне айналу жылдамдығы туралы ақпарат алуға болады. ФОТОСетектор тіркейтін электромагниттік Жарық тербелістерінің фазалық айырмашылықтары (радиандағы фазалық ығысу) келесідей анықталады:

$$\varphi = \frac{4S \cdot N}{c \cdot \lambda} \cdot \omega_z = \frac{2L \cdot R_c}{c \cdot \lambda} \cdot \omega_z \quad (2.5)$$

мұндағы S – орама үшін R_c радиусы орташа ораммен қамтылған аудан; N – орауышқа оралған оптикалық талшық орамдарының жалпы саны; ω_z – аспаптың өлшеу осі айналасындағы негіздің айналуының бұрыштық жылдамдығы; c – оптикалық талшықтағы жарық жылдамдығы; λ – электромагниттік тербелістердің толқын ұзындығы; L – оптикалық контурдың жалпы ұзындығы. Катушканың геометриялық параметрлерін ескере отырып, L және R_c мәндерін формулалар бойынша есептелді:

$$L = 4 \frac{k \cdot h}{d^2} \cdot (R^2 - r^2), \quad R_c = \frac{1}{2}(R + r) \quad (2.6)$$

мұндағы R, r – орамның сыртқы және ішкі радиусы; h – орам терезесінің биіктігі; d – оптикал $(\frac{\partial \varphi}{\partial R})_o$ ық талшықтың диаметрі; k_z – толтыру коэффициенті.

(5) өрнектерді ескере отырып, формуланы (4) түрге түрлендіреміз

$$\varphi = \frac{4 \cdot k \cdot h}{c \cdot \lambda \cdot d^2} \cdot (R + r) \cdot (R^2 - r^2) \cdot \omega_z \quad (2.7)$$

R, r, h, d, λ шамаларының олардың есептелген мәндеріне қатысты өзгеруі құрылғының қатесіне әкеледі

мұндағы $\varphi_o, R_o, r_o, h_o, d_o, \lambda_o$ номиналды мәндеріне сәйкес келетін Саньяктың фазалық ығысуы. $\Delta \varphi$ қателігін анықтау мақсатында Саньяк фазасы үшін өрнекті көрсетілген номиналды мәндердің маңайындағы Тейлор қатарына жатқызамыз. Сызықтық мүшелермен шектеліп, дифференциалдарды соңғы өсінділермен алмастыра отырып, біз аламыз $\Delta R, \Delta r, \Delta h, \Delta d, \Delta \lambda$

$$\Delta \varphi = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial R}\right)_o \Delta R + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r}\right)_o \Delta r + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial h}\right)_o \Delta h + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial d}\right)_o \Delta d + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda}\right)_o \Delta \lambda \quad (2.8)$$

Жартылай туындылардағы "о" индексі оларды қарастырылатын параметрлердің номиналды мәндерімен есептеу керек дегенді білдіреді. (8) формуладан (6) қажетті жартылай туындыларды алып, кейбір түрлендірулерден кейін біз табамыз

$$\Delta \varphi = \varphi_o \left\{ \frac{(3R_o - r_o)\Delta R + (R_o - 3r_o)\Delta r}{(R_o^2 - r_o^2)} + \frac{\Delta h}{h_o} - 2 \frac{\Delta d}{d_o} - \frac{\Delta \lambda}{\lambda_o} \right\} \quad (2.9)$$

Осылайша, ТОГ негізіндегі БЖД салыстырмалы қатесін формула бойынша бағалауға болады

$$\varepsilon = \frac{(3R_o - r_o) \cdot \Delta R + (R_o - 3r_o) \cdot \Delta r}{(R_o^2 - r_o^2)} + \frac{\Delta h}{h_o} - 2 \frac{\Delta d}{d_o} - \frac{\Delta \lambda}{\lambda_o} \quad (2.10)$$

Есептеулер барысында келесі параметрлері бар ТОГ – ны қарастырылды:

$R_o = 30\text{мм}; r_o = 12\text{мм}; h_o = 15\text{мм};$

$d_o = 84\text{ мкм}; \lambda_o = 850\text{ нм}.$

Осы параметрлердің ауытқулары сәйкесінше тең болсын:

$\Delta R = 3,0\text{ мм}; 12,0\text{ } \Delta r = \text{мм}; 15,0\text{ } \Delta h = \text{мм};$

$\Delta d = 2\text{ мкм}; \Delta \lambda = 15\text{ нм}.$

Содан кейін (10) формулаға сәйкес, δ салыстырмалы қателігі $\varepsilon = 2,5\%$ құрайды. Сондықтан, ТОГ негізіндегі құрылғының қателігін азайту үшін оның параметрлерінің жоғары тұрақтылығын қамтамасыз ету шаралары қажет. Бұл ең алдымен оптикалық талшыққа және сәулелену көзінің толқын ұзындығына қатысты. Оптикалық тізбекке енгізілетін қуат тәуелді болатын сәулелену көзінің толқын ұзындығының тұрақтылығы δ масштабтық коэффициентінің дәлдігін анықтайды. Шығыс сигналының флюктуациясының рұқсат етілген деңгейі фотосетектордың сезімталдығымен шектеледі. Құрылғыда көптеген физикалық құбылыстар байқалады: поляризация эффектілері, Термо – оптикалық, магнито – оптикалық, Керрдің сызықты емес әсері және т.б. олар тудырған нөлдік дрейф пайдалы сигналдан едәуір асып кетуі мүмкін. ТОГ дәлдігін арттыру мәселесін шешу құрылғыға оның жұмыс істеу ортасының әсерін және әсіресе температураны зерттеумен тығыз байланысты [15].

2.2 Жүйені математикалық модельдеу және нәтижелерді қолдану

ТОГ кіретін инклинометрдің өлшеу қателігін бағалау және соңғысының қателіктерінің инклинометриялық жүйенің дәлдігіне әсерін анықтау үшін математикалық модельдеу жүргізілді. 8 – суретке сәйкес акселерометрдің сигналдары мынадай түрде болады:

$$\begin{aligned} A_1 &= -k_A \cdot g \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi \\ A_2 &= k_A \cdot g \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi \\ A_3 &= k_A \cdot g \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad (2.11)$$

мұндағы k_A – әр акселерометрдің масштабты коэффициенті. (11) – ді (3) алмастыра отырып, азимутты табу формуласын келесідей түрлендіреміз:

$$\alpha = \frac{\arctg\{(D_1 \cdot \sin\varphi + D_2 \cdot \cos\varphi)\}}{[(D_2 \cdot \sin\varphi + D_1 \cdot \cos\varphi) \cdot \cos\theta - D_3 \cdot \sin\theta]} \quad (2.12)$$

$$D_i = k_D \cdot \omega_i \quad (i=1,2,3) \quad (2.13)$$

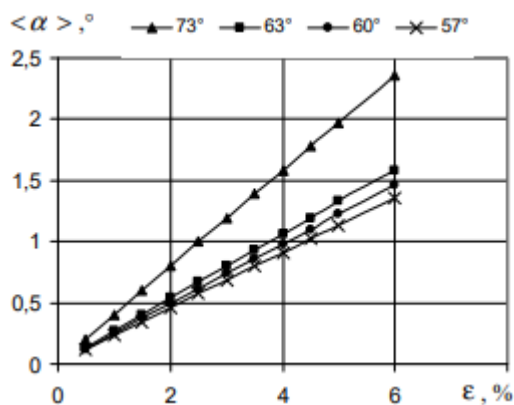
мұндағы k_D – әрқайсысының масштабты коэффициенті ; ω_i – жердің бұрыштық жылдамдығының проекциясы қолданылатын құрылғылардың сезімталдық осіне сәйкес келеді. ε_i салыстырмалы қателігін ескере отырып ($i=1, 2, 3$) аспаптың масштабты коэффициенті, i – ші БЖД – дан шығу сигналы

D_n Шығыс сигналдарының тиісті мәндерін (2.12) формулаға алмастыра отырып, азимуттың абсолютті қатесінің құрылғының масштабты коэффициентінің салыстырмалы қатесіне тәуелділігін анықтауға болады. Инклинометриялық жүйеде қолданылатын құрылғыда масштабтық коэффициенттің қателігі болды $\varepsilon = 2,5\%$ (өлшеу модулінде δ орнатудың

эртүрлі әдістері ескерілген). Есептеу нәтижесінде формалық және зениттік бұрыштардың эртүрлі комбинациялары кезінде $\Delta\alpha$ мәндерінің массиві алынды. Инклинометриялық жүйенің ең нашар жағдайын бағалау үшін массивтен $\Delta\alpha$ максималды мәндері бөлінеді, олар бойынша азимут қателігінің орташа мәні $\langle\alpha\rangle >$ саналады. 2.2 суретте келтірілген 2 тәуелділік азимутты анықтаудың максималды абсолютті қателігі $1,3^\circ$ – тан аспайтындығын көрсетеді, сондықтан мұнай мен газ ұңғымаларындағы кабельдегі геофизикалық зерттеулер мен құрылғылардың техникалық жұмысына сәйкес қазіргі заманғы инклинометриялық техникаға қойылатын дәлдік талаптарын толығымен қанағаттандырады.

Өлшеу есептеу кешенін модельдеудің әзірленген схемасы инклинометриялық жүйенің азимутты анықтаудағы орташа қателіктің Тюменьде және Башқұртстан Республикасында ($\varphi_{ш} = 57^\circ$), Нижневартовскіде ($\varphi_{ш} = 60^\circ$), Ноябрьскіде ($\varphi_{ш} = 63^\circ$) орналасқан кен орындары үшін қолданылатын масштабты коэффициенттің салыстырмалы қателігіне тәуелділігін анықтауға мүмкіндік берді.

Қазіргі заманғы инклинометрлер диаметрі 36 – дан 100 мм – ге дейін, жоғары температура (80 – 200 °С) және 60 – тан 120 МПа – ға дейінгі қысым жағдайында жұмыс істеуге арналған. Қазіргі заманғы ТОГ нарығына шолу [16], жер асты навигациясында пайдалану үшін бірқатар перспективалы модельдерді бөлуге мүмкіндік береді (мысалы, Вг941 үшін ВГ941 – 3АМ, Вг941 – 3 А (Б) "Физоптика" фирмасы).



2.1 Сурет - Азимут бұрышының масштабтық қателкке тәуелділік графигі

ТОГ – ның ең осал жері, жоғары температура жағдайында жұмыс істеу тұрғысынан, суперолюминесцентті диодтар өндірісінде, сондай – ақ оптикалық талшықты сәулелену көзімен түйістіру кезінде пайдаланылатын төмен температуралы дәнекерлер болып табылады. Сондай – ақ, температура әсерлері, ТОГ сипаттамаларына тікелей әсер етуден басқа, эртүрлі физикалық әсерлердің (Керр, Рейлей, Фарадей және т.б.) көрінісіне және олар арқылы құрылғының дәлдігіне әсер ететінін атап өткен жөн. Мәселені шешудің мүмкін жолдары мыналар болуы мүмкін:

- ТОГ өндіру технологиясын өзгерту (оптикалық талшықты дәнекерлеу мәселелерін пысықтау);

- жұмыс температураларының неғұрлым кең диапазоны бар сәулелену көздерін пайдалану; *термореттеуді және температураға тәуелділіктің схемалық алгоритмдік өтемақысын енгізу. ТОГ базасындағы құрылғылардың құндық, дәлдік, энергетикалық және көлемдік – массалық сипаттамаларын оңтайландыруға ерекше назар аудару керек.

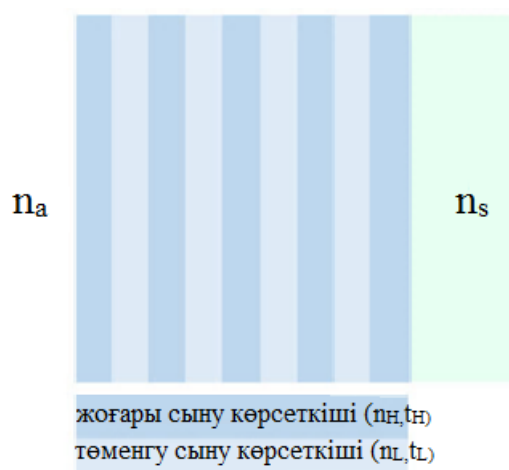
Көптеген артықшылықтарды ескере отырып ТОГ, компьютерлік модельдеу нәтижелері және жер асты навигациясында құрылғының осы түрін қолдануға байланысты көптеген проблемалар олардың шешіміне жақын болғандықтан, ТОГ – ны инклинометриялық техникаға енгізудің үлкен перспективалары туралы айтуға болады. ТОГ базасында құрылғының қателіктерін азайту үшін оның параметрлерінің жоғары тұрақтылығын қамтамасыз ету, сонымен қатар өндіріс технологиясын жетілдіру шаралары қажет. Оларды гироскопиялық инклинометрлерде қолдануға мүмкіндік беретін жоғары метрологиялық сипаттамаларға температураға тәуелділіктің алгоритмдік өтемақысын енгізу, сондай – ақ оптикалық және электрлік сигналдарды оңтайлы сүзу арқылы қол жеткізіледі. ВОК өндірушілерінің фирмаларын жер асты навигация жүйелерінде пайдалану үшін қажетті техникалық сипаттамалары бар жаңа шағын көлемді конструкцияларды әзірлеуге ынталандыру қажет.

3 COMSOL MULTIPHYSICS КӨМЕГІМЕН ТАЛШЫҚТЫ БРЭГГ ТОРЫНА (ТБТ) НЕГІЗДЕЛГЕН ОПТИКАЛЫҚ БРЭГГ РЕФЛЕКТОРЫН ЗЕРТТЕУ

Брэгг рефлекторы немесе диэлектрлік айна – бұл толқындар мен оптикалық талшықтарда қолданылатын рефлектор. Таратушы Брэгг рефлекторы қарапайым металл айналармен салыстырғанда оптикалық және инфрақызыл жиіліктерде өте төмен шығындарға ие. Оның құрылымы жоғары және төмен сыну көрсеткіштері бар ауыспалы материалдардың мерзімді жұқа қабаттарынан тұрады. Әдетте қатар тақ қабаттардан тұрады, онда бірінші және соңғы қабаттар жоғары сыну көрсеткішіне ие болады.

Қабаттың әр шекарасы оптикалық толқынның ішінара шағылысуын тудырады. Толқын ұзындығы қабаттардың оптикалық қалыңдығынан төрт есе көп болған кезде, көптеген шағылысқан толқындар конструктивті кедергі жасайды, бұл қабаттарды жоғары сапалы шағылыстырғыш ретінде әрекет етеді. Құлау қарқындылығының көп бөлігін көрсететін толқын ұзындығының диапазоны фотонды Өткізу жолағы деп аталады. Рефлектордың құрамында өте көп қабаттар болатын шекте осы толқын ұзындығының диапазонындағы сәуле құрылымға ене алмайды.

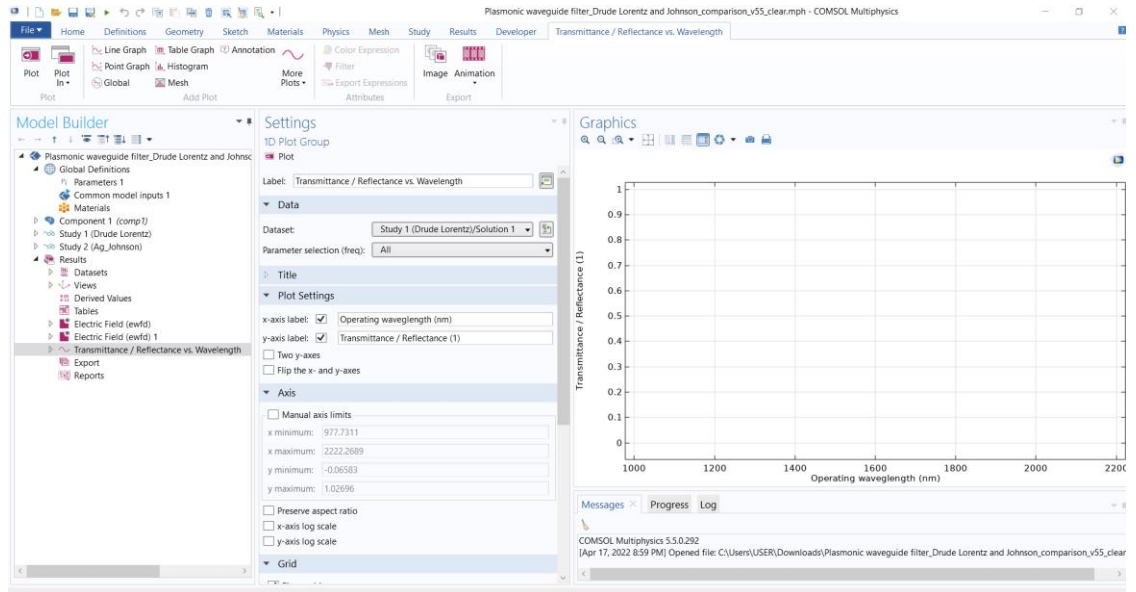
Брэгг шағылыстырғыштары – бұл тік резонаторлы, бетті шығаратын лазерлердегі және тар сызықты лазерлік диодтардың басқа түрлері, мысалы, таратылған кері байланыс лазерлерінің негізгі компоненттері болып табылады.



3.1 Сурет - 9 қабаты бар Брэгг рефлекторы ($N = 4$).

Модель $n_s = 1,5$ сыну индексі бар субстраты бар бір доменнен тұрады. Модельденген аймақтың сыртқы бөлігі $n_a = 1,0$ сыну көрсеткіші бар ауа. Әдепкі бойынша материалдың үзілу жағдайында субстрат беттерінде ауыспалы қабаттарды көрсету үшін жұқа диэлектрлік пленканың бірқатар элементтері қосылады.

Сыну көрсеткіші жоғары қабаттар $n_H = 2,32$ бар ZnS – тен жасалған, ал сыну көрсеткіші төмен қабаттарда $n_L = 1,38$ бар MgF₂ бар. Қабаттардың қалыңдығы $n_H t_H = n_L t_L = \lambda_0/4$ болатындай етіп есептеледі.



3.2 Сурет - COMSOL Multiphysics® бағдарламалық жасақтаманың жұмыс ортасы

Толқын ұзындығының диапазонында айна жауабын көрсету үшін толқын ұзындығының диапазонын (немесе жиіліктерді) тордан босату функциясы арқылы орнатуға болады. Бұл құрылғыда ерекше қызығушылықты құрылғының R шағылысу коэффициенті және тиімді толқын ұзындығының диапазоны $\Delta\lambda$ туындатады. Таратылған Брэгг шағылыстырғышының шағылысу коэффициенті келесідей анықталады:

$$R = \left(\frac{1 - \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2N} \frac{n_H^2}{n_a n_b}}{1 + \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2N} \frac{n_H^2}{n_a n_b}} \right)^2 \quad (3.1)$$

мұндағы N – диэлектрлік қабаттардың жұптарының саны; мысалы, N = 5 рефлектордың 11 қабаттан тұратынын білдіреді (бес жұп және жоғарғы жағында жоғары сыну көрсеткіші бар қосымша қабат).

Өткізу жолағы $\Delta\lambda$ фотонды өткізу жолағы формуламен берілген:

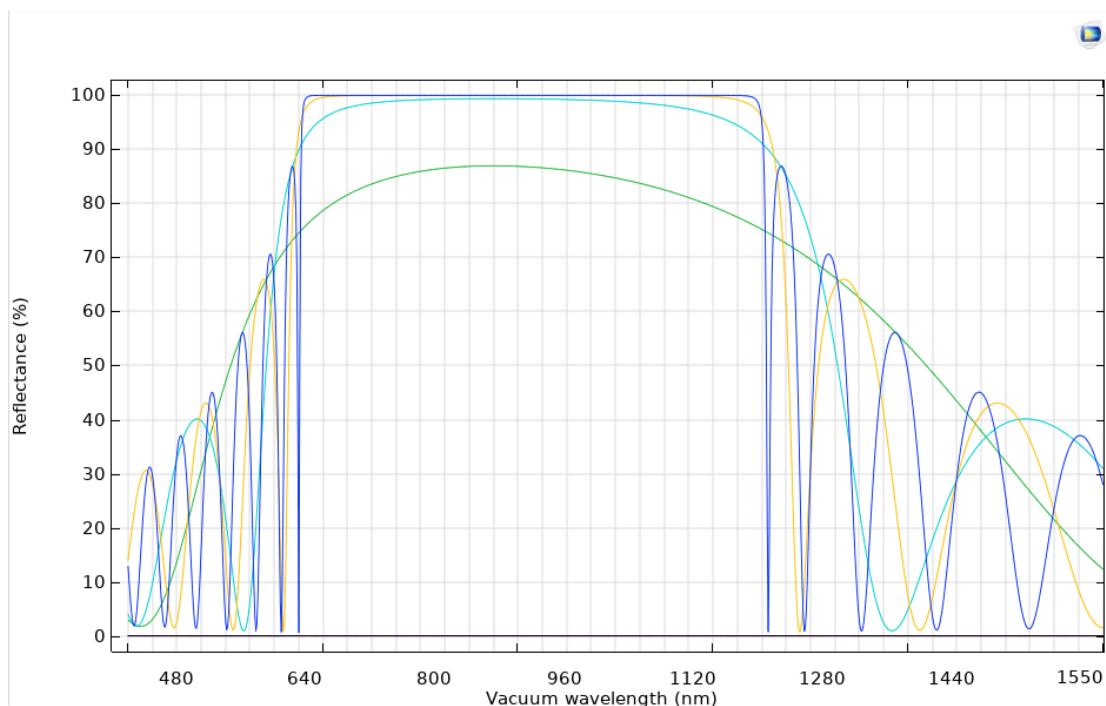
$$\Delta\lambda_0 = \frac{4\lambda_0}{\pi} \operatorname{asin}\left(\frac{n_H - n_L}{n_H + n_L}\right) \quad (3.2)$$

мұндағы λ_0 – жолақтың орталық толқын ұзындығы.

3.1 Нәтижелер және талқылау

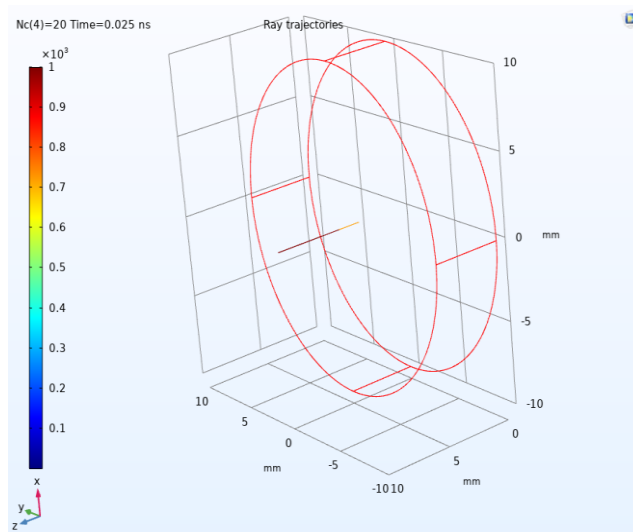
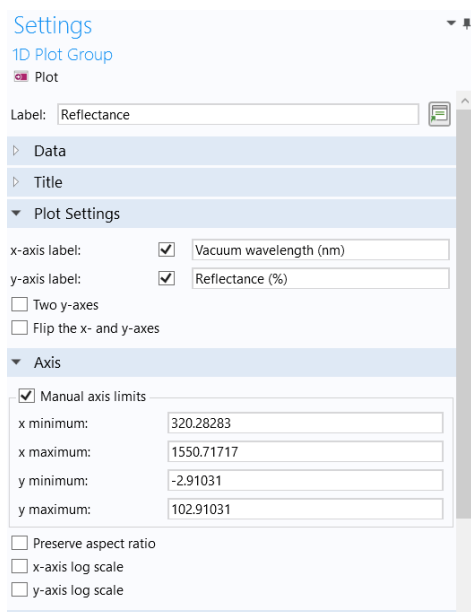
3.3 суретте диэлектрлік айнаның толқын ұзындығы 320 нм – ден 1550 нм – ге дейінгі диапазондағы реакциясы көрсетілген. Қабаттардың сипаттамасында қолданылатын вакуумдық толқын ұзындығы λ_0 550 нм құрайды. Бұл толқын ұзындығында 2 бірлік ұяшық конфигурациясы (барлығы 5 қабат) шамамен 87% шағылысуды береді, ал 5 бірлік ұяшық конфигурациясы (барлығы 11 қабат) шамамен 99,5% шағылысуды береді. Есептелген R мәндері 1 теңдеуіне сәйкес келеді.

Есептелген өткізу қабілеті 180 нм, ол 2 – теңдеуді қолданады. 3.4 суретте көрсетілгендей, қабаттар саны ұлғайған сайын шағылысу коэффициенті өткізу қабілеттілігі шегінде 100% – ға жақындайды. Қабаттардың максималды саны үшін шағылысу коэффициенті шамамен 180 нм өткізу қабілеті үшін 475 нм – ден 655 нм – ге дейінгі бос кеңістіктің толқын ұзындығының диапазоны үшін шамамен 100% құрайды.



3.3 Сурет - Шағылысу коэффициентінің вакуумдық толқын ұзындығына тәуелділік графигі.

Бұл графикте әр түрлі қабаттар саны үшін таратылған Брэгг торының реакциясы, қабаттарының ең аз жалпы саны 5 – тен 41 – ге дейін.



3.4 Сурет - 320 нм – ден 1550 нм – ге дейінгі Брэгг торының сәулелер траекториясы

Бұл бөлімде біз COMSOL Multiphysics – тің әмбебаптығын және Брэгг торы бар, оптикалық сенсорлардің лазерлік диодтарында қолданылатын таратушы рефлектор қарастырылды. Алынған COMSOL Multiphysics модельдері пайдалы қазбаларды бұрғылау саласын жобалау қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін әзірленуде.

ҚОРЫТЫНДЫ

Оптикалық талшыққа негізделген сенсорларды ғылымның барлық салаларында, өнеркәсіптік автоматтандыруда қолдануға болатындығы, бұл салада талшықты оптикалық сенсорларды қолданудың артықшылықтыры яғни олардың тұрақты сипаттамалары, шуылға қарсы және инерциясыздығымен қамтамасыз етілетіндігі арқылы дәлелденген.

Бұл жұмыста жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорына зерттеу жүргізілді және көлбеу датчигінің негізгі элементі болып табылатын Брэгг торы негізіндегі оптикалық рефлекторына бағдарламалық модельдеу жүргізілді. Дипломдық жұмыстың негізгі нәтижелерін төмендегідей атап өтуге болады:

Бірінші бөлімде талшықты – оптикалық сенсорының және соның ішінде жоғары ажыратымдылықтағы көлбеу сенсорларының қазіргі күндегі зерттеу барысына теориялық тұрғыдан шолу жүргізілді. Оптикалық талшық негізіндегі сенсорлардың түрлері, соның ішінде Брэгг торы негізіндегі Astro A541 талшықты – оптикалық бұрыш датчигіне талдау жүргізілді.

Екінші бөлімде инклинометриялық техникада талшықты – оптикалық гироскоптарды қолдану перспективалары қарастырылды. Инклометриялық құрылғылардың, соның ішінде талшықты оптикалық гироскоптың жұмысындағы қателігі математикалық модельдеу есептеулері нәтижесінде бағаланды.

Үшінші бөлімде COMSOL Multiphysics бағдарламалық кешеніні көмегімен талшықты оптикалық Брэгг торына (ТОБТ) негізделген оптикалық Брэгг рефлекторы зертеліп, шағылысу коэффициентінің вакуумдық толқын ұзындығы параметрлерінің бір – біріне тәуелділік графигі тұрғызылды. Және 320 нм – ден 1550 нм аралығындағы оптикалық Брэгг торы рефлекторының сәулелер траекториясының үш өлшемді моделі 3D Plot Group бағдарламалық бөлімінде тұрғызылды.

Дипломдық жұмыс тапсырмасында қойылған барлық тапсырмалар орындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Волоконно – оптические сенсоры. Вводный курс для инженеров и научных работников / ред. Э. Удда. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
2. Соколов А.Н., Яцеев В.А. Волоконно – оптические сенсоры и системы: принципы построения, возможности и перспективы // Измерительная техника. LightWave. 2006. № 4.
3. Кукушкин А. Н. Разработка волоконно – оптического сенсора больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома // Молодежь и будущее авиации и космонавтики: сб. аннотаций конкурсных работ XI Всерос. молодежного конкурса науч. – техн. проектов. М., 2019. С. 120
4. C. Lin, S. Kuo, Micro – impedance inclinometer with wide – angle measuring capability and no damping effect, Sensors and Actuators A: Physical. 143 (2008) 113 – 119.
5. D. Benz, T. Botzemann, D. Warkentin, On low cost inclination sensors made from selectively metallized polymer, Sensors and Actuators A: Physical. 123 – 124 (2005) 18 – 22.
6. Кукушкин А. Н., Жуманазаров М. Ж. Разработка волоконно – оптического сенсора больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома / Волоконно – оптические, лазерные и нанотехнологии в наукоемком приборостроении («Свет–2018»)
7. Коркишко, Ю.Н. Волоконнооптический гироскоп навигационного класса точности / Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Прилуцкий В.Е., Пономарев, В.Г., Марчук В.Г., Морев И.В., Кострицкий С.М., Падерин Е.М., Несенюк Л.П., Буравлев А.С., Лисин Л.Г. // XIV Санкт – Петербургская межд. конф. по интегрированным навигационным системам, 28–30 мая 2007 г. – СПб.: ГНЦ РЦНИИ Электроприбор, 2007. – С. 141–150.
8. Krobka N.I. Non – commutative kinematic effects and laws of fiber – optic gyro noise accumulation in strapdown inertial orientation systems. Proc. of the 16th Saint Petersburg
9. International Conference on Integrated Navigation Systems (25 – 27 May 2009, Saint Petersburg, Russia) – SRC of the Russian Federation Central Scientific and Research Institute «Elertropribor». 2009. pp. 69–72.
- 10.1. Малыкин, Г.Б. Эффект Саньяка. Корректные и некорректные объяснения / Г.Б. Малыкин // Успехи физических наук, 2000. – Т. 170. – № 12. – С. 1325–1349.
11. Волоконно – оптические сенсоры. Вводный курс для инженеров и научных работников / ред. Э. Удда. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
12. Баландин, А.И. Моделирование бесплатформенных инерциальных систем ориентации на волоконно – оптических гироскопах / А.И. Баландин, Н.И. Кробка // XVIII Санкт – Петербургская межд. конф. по интегрированным навигационным системам. Сб. материалов. (30 мая – 01 июня 2011 г.). – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ Электроприбор, 2011. – С. 125–127.

13. C. Lin, S. Kuo, Micro – impedance inclinometer with wide – angle measuring capability and no damping effect, *Sensors and Actuators A: Physical*. 143 (2008) 113 – 119.
14. D. Benz, T. Botzermann, D. Warkentin, On low cost inclination sensors made from selectively metallized polymer, *Sensors and Actuators A: Physical*. 123 – 124 (2005) 18 – 22.
15. O. Baltag, Tilt measurement sensor, *Sensors and Actuators A: Physical*. 81 (2000) 336 – 339.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

ТБТ – талшықты

ТОС – талшықты – оптикалық сенсор

ГЭС – гидро – электро станция

ТООС – талшықты оптикалық өлшеу сенсоры

АЭС – атомдық электро станция

ГАЗ – геоақпараттық жүйе

ИЖ – инклиниметриялық жүйе

MWD – measurement while drilling

ИӨК – инклиниметриялық өлшеу кешендері

ГСЭ – гироскопиялық сезімтал элементтер

ТОГ – талшықты оптикалық гипоскоп

БЖД – бұрыштық жылдамдық сенсоры

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ПІКІРІ
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

Мукатова Айдана Ерлановна

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: **Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты-оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу**

Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын зерттеуге арналған бағдарламалық зертханалық өлшеулер ұйымдастырылды. Алынған нәтижелер бойынша модель түрі таңдап алынып, есептеулер жүргізілді.

Жұмыстың негізгі мақсатына жету үшін Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорының моделін құрастыру, сенсордың сипаттамаларын зерттеу процестері орындалды.

Бірінші бөлімде бұрын зерттелген ғылыми жұмыстардың негізгі тақырыптары мен бағыттары анықталды. Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорына қатысты ғылыми еңбектерді қарай отырып оның негізгі сипаттамасы мен жасалу технологияларына талдау жасалынды.

Екінші бөлімде инклинометриялық техникада талшықты – оптикалық сенсорлы гироскоптардың сипаттамаларына зерттеу жұмыстары қарастырылған.

Үшінші бөлімде жұмыс бойынша тәжірибелік бағдарламалық зертхананы ұйымдастыру қарастырылған. Оптикалық Брэгг рефлекторының шағылысу коэффициентінің вакуумдық толқын ұзындығына тәуелділігі зерттелді. Comsol multiphysics көмегімен талшықты оптикалық брэгг рефлекторын зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Студент Мукатова Айдана Ерлановна өздігінен жұмыс істей алатынын көрсетті. Жалпы дипломдық жұмысты "100/А/өте жақсы", деп бағалап, ал студент Мукатова Айдана Ерлановна 5B071900 - «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне сай.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф.

қауымдастырылған профессор, PhD докторы

Н.Қ Смайлов

«18» 05 2022 ж.

СЫН – ПІКІР
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Мукатова Айдана Ерлановна

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: **Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу**

Орындалды:

- а) графикалық бөлімі 13 бет;
б) түсіндірме жазбасы 15 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Дипломдық жұмыста **Мукатова Айдана Ерлановна** жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу жұмыстарын жүргізді. Дипломдық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады:

Бірінші бөлімде бұрын зерттелген ғылыми жұмыстардың негізгі тақырыптары мен бағыттары анықталды. Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорына қатысты ғылыми еңбектерді қарай отырып оның негізгі сипаттамасы мен жасалу технологияларына талдау көрсетілді.

Екінші бөлімде инклинометриялық техникада талшықты – оптикалық гироскоптардың сипаттамаларына зерттеу жұмыстары қарастырылған.

Үшінші бөлімде жұмыс бойынша тәжірибелік бағдарламалық зертхананы ұйымдастыру қарастырылған. Талшықты Брэгг торына негізделген оптикалық Брэгг рефлекторының шағылысу коэффициентінің вакуумдық толқын ұзындығына тәуелділігі зерттелді. Comsol multiphysics көмегімен талшықты оптикалық брэгг рефлекторын зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Бұл дипломдық жұмыс жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жазылған, алынған нәтижелер ақпаратты өндеп тарату технологиялардағы ғылыми бағытқа негізделген.

Жұмыс бағасы

Жалпы, дипломдық жұмысқа "98/A/ өте жақсы" деген бағаға, ал студент **Мукатова Айдана Ерлановна** 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензия беруші

Алматы энергетика және байланыс университеті

Т. Ғ. Д., профессор

Якубова М. З.

«23»

2022 жж

Ф КазУТУ 704-24. Сын пікір



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мукатова Айдана Ерлановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 6.7

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 15

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

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

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

Обоснование:

24.05.2022
Дата

Заведующий кафедрой



nt-size: 16px;">афедра меңгерушісі



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

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

Автор: Мукатова Айдана Ерлановна

Тақырыбы: Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу

Жетекшісі: Нуржигит Смайлов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.7

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.8

Дәйексөз (35): 2.1

Әріптерді ауыстыру: 15

Аралықтар: 0

Шағын кеністіктер: 1

Ақ белгілер: 0

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

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

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

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

Негіздеме:

24.05.2022
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мукатова Айдана Ерлановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жоғары ажыратымдылықтағы талшықты – оптикалық көлбеу сенсорын зерттеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 6.7

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 15


Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

24.05.2022
Дата

 Маркесен С
проверяющий эксперт