

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Асанов Ердос Нұржанұлы

«Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық сенсорларды
құрастыру және модельдеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 Телекоммуникация

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық
сенсорларды құрастыру және модельдеу»


6B06201 Телекоммуникация

Орындаған:

Е.Н.Асанов

Пікір беруші
Халықаралық ақпараттық
технологиялар университеті
т.ғ.к., қауымдастырылған
профессор

Ғылыми жетекші
ЭТЖТ каф.
профессоры, PhD


Н.А.Сейлова
« 29 » 05 2024 ж.


Н.К.Смайлов
« 30 » 05 2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B06201 Телекоммуникация



Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Асанов Ердос Нұржанұлы
Тақырыбы «Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық
сенсорларды құрастыру және модельдеу».
Университет ректорының «4» желтоқсан 2023ж. №548 П/Ө бұйрығымен
бекітілген
Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі « 30 » 04.2024ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: 1. МЕМСТ 57546-2017 Жер сілкінісі.
Сейсмикалық қарқындылық шкаласы. 2. МЕМСТ 59165-2020 Оптика және
фотоника. 3. МЕМСТ 16821-91 Сейсмикалық барлау.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- Сейсмология ғылымы және оның бағыттары. Жер сілкінісін тудырушы факторлар мен сейсмикалық толқындар туралы жалпы түсінік.
- Жер сілкінісін бақылауға қолданылатын талшықты оптикалық сенсорлық бақылау жүйелердің жұмыс үстеу принциптерін, теңдеулер жүйесі мен құрылымдық сұлбалар арқылы түсіндіру.

в) Талшықты Брэгг торлары негізінді жасалған талшықты оптикалық датчиктер жүйесінің өлшеу дәлділігін зерттеу, сынақ жұмыстары арқылы дәлелдеу, Алматы қаласының сейсмикалық аудандастыру картасын құрастыру.

г) SHM жүйесіне негізделген бақылау сенсорлар жүйесін талшықты оптикалық кабельмен біріктіру арқылы жер сілкінісі кезінде алдын ала ескерту құрылғысын құрастыру

Сызбалық материалдар 18 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. P. Shearer 2009 “INTRODUCTION TO Seismology SECOND EDITION” Scripps Institution of Oceanography University of California, San Diego
2. Юрий Витальевич Попов. (2019).“Основные положения тектоники литосферных плит” Геологическая энциклопедия онлайн
3. MDPI and ACS Style Yu, J.; Xu, P.; Yu, Z.; Wen, K.; Yang, J.; Wang, Y.; Qin, Y. Principles and Applications of Seismic Monitoring Based on Submarine Optical Cable. *Sensors* 2023, 23, 5600.
4. Liu Z, Zhang S, Yang C, Chung W-H and Li Z (2022) Submarine Optical Fiber Sensing System for the Real-Time Monitoring of Depth, Vibration, and Temperature. *Front. Mar. Sci.* 9:922669. doi: 10.3389/fmars.2022.922669

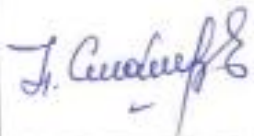


Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

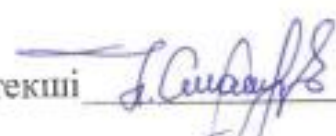
| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі | Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі | Ескерту |
|--|---|------------|
| Сейсмология ғылымы және оның бағыттары. Жер сілкінісін тудырушы факторлар мен сейсмикалық толқындар туралы жалпы түсінік. | 07.02.2024 06.02.2024 | орындалды. |
| Жер сілкінісін бақылауға қолданылатын талшықты оптикалық сенсорлық бақылау жүйелердің жұмыс үстеу принциптерін, теңдеулер жүйесі мен құрылымдық сұлбалар арқылы түсіндіру. | 06.02.2024 01.03.2024 | орындалды. |
| Талшықты Брэгг торлары | | |

| | | |
|---|--------------------------|------------|
| негізінді жасалған талшықты оптикалық датчиктер жүйесінің өлшеу дәлділігін зерттеу, сынақ жұмыстары арқылы дәлелдеу, Алматы қаласының сейсмикалық аудандастыру картасын құрастыру | 08.03.2024 29.03.2024 | орындағат. |
| SHM жүйесіне негізделген бақылау сенсорлар жүйесін талшықты оптикалық кабельмен біріктіру арқылы жер сілкінісі кезінде алдын ала ескерту құрылғысын құрастыру | 29.03.2024 30.05.2024 | орындағат. |


Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

Қолтаңбалар

| Бөлімдер атауы | Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы |
|-----------------------------------|--|-------------------|---|
| Диплом жұмысының тақырыбын талдау | Ғылыми жетекші ЭТЖҒТ каф. профессоры, PhD Н.К.Смайлов | 30.05.2024 |  |
| Теориялық ақпарат | Ғылыми жетекші ЭТЖҒТ каф. профессоры, PhD Н.К.Смайлов | 30.05.2024 |  |
| Норма бақылау | ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы, PhD Ж.М. Досбаев | 29.05.2024 |  |

Ғылыми жетекші  Н.К.Смайлов

(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Е.Н.Асанов

(қолы)

Күні « 9 » 12 2024ж

АНДАТПА

Дипломдық жұмыстың тақырыбы: «Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық сенсорларды құрастыру және модельдеу». Дипломдық жұмыс аңдатпа, кіріспе бөлімінен және төрт тараудан, қорытынды және қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Кіріспе бөлімінде құрастырылып жатқан жобаның өзектілігі мен артықшылығы, әр тараудағы зерттеудің мақсаты мен міндеттері, маңыздылығы айтылады.

Бірінші бөлімде жалпы сейсмология салсының түрлері, жер сілкінісін тудырушы факторлар, тектоникалық тақталардың әсерлесу түрлері мен әдістері, сейсмикалық толқындар, жер сілкінісінің магнитудасы және оны өлшейтін құрылғылар мен түрлі ұғымдар қарастырылады.

Екінші бөлімде талшықты оптикалық зондтау жүйелерінің жұмыс істеу принциптерін түрлі есептік теңдеулер мен құрылымдық сұлбалар арқылы түсіндіреді.

Екінші бөлім үш түрлі кезенді: сынақ, жабалау, зертеуден тұрады. Қазақстан соның ішінде Алматы қаласының сейсмикалық аудандастыру картасы әзірленеді.

Үшінші бөлімде Arduino микроконтролері негізінде бақылау сенсорлық жүйесі құрастырылып, оны талшықты оптикалық кабельмен біріктіру арқылы жер сілкінісі кезінде алдын ала ескерту құрылғысы жасалынады.

Қорытынды бөлімінде жоғарыда қарастырылған барлық материалдар талдау, сараптау нәтижесінде талқыланып, жасалынып отырған жобаның, қоғамға тигізер пайдасы туралы айтылады.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы: «Разработки и моделирование волоконно-оптических датчиков для сейсмологических наблюдений». Дипломная работа состоит из аннотации, вводной части и четырех глав, заключения и списка использованной литературы.

Во вводной части излагаются актуальность и преимущества разрабатываемого проекта, цель и задачи исследования в каждой главе, значимость.

В первой части рассматриваются типы общей сейсмологии, факторы, вызывающие землетрясения, виды и методы взаимодействия тектонических плит, сейсмические волны, магнитуда землетрясения и различные понятия и устройства для его измерения.

Во второй части объясняется принцип работы волоконно-оптических зондирующих систем с помощью различных расчетных уравнений и схем построения.

Второй часть состоит из трех различных этапов: испытание, закрытие, исследование. В том числе будет разработана карта сейсмического районирования города Алматы.

В четвертой части будет собрана сенсорная система управления на основе Микроконтролера Arduino и разработано устройство раннего предупреждения о землетрясениях путем соединения его с волоконно-оптическим кабелем.

В заключительной части все материалы, рассмотренные выше, обсуждаются в результате анализа, экспертизы и рассказывают о пользе разрабатываемого проекта для общества.

Диплоидная работа состоит из 60 страниц. Также дополнительно представлена одна таблица и список использованной литература.

ANNOTATION

Theme of the thesis: "Development and modeling of fiber-optic sensors for seismological observations" The thesis consists of an abstract, an introductory part and four chapters, a conclusion and a list of references.

The introductory part outlines the relevance and advantages of the project being developed, the purpose and objectives of the research in each chapter, and the significance.

The first part examines the types of general seismology, factors causing earthquakes, types and methods of interaction of tectonic plates, seismic waves, earthquake magnitude and various concepts and devices for measuring it.

The second part explains the principle of operation of fiber-optic sensing systems using various computational equations and construction schemes.

The third part consists of three different stages: testing, closing, and research. In particular, a map of the seismic zoning of the city of Almaty will be developed.

In the fourth part, a sensor control system based on an Arduino Microcontroller will be assembled and an earthquake early warning device will be developed by connecting it to a fiber-optic cable.

In the final part, all the materials discussed above are discussed as a result of analysis, expertise and talk about the benefits of the project being developed for society.

The diploid work consists of 60 pages. There is also an additional table and a list of references.

МАЗМҰНЫ

| | |
|--|----|
| Кіріспе | 9 |
| 1 Жер сілкінісі туралы жалпы түсінік | 11 |
| 1.1 Сейсмология ғылымы және оның бағыттары | 12 |
| 1.2 Тектоникалық тақата және олардың түрлері. Тектоникалық тақталардың жылжу әдістері. | 14 |
| 1.3 Жер сілкінісі туралы түсінік. Жер сілкінісінің түрлері мен магнитудасы | 18 |
| 1.4 Жер сілкінісінің күші мен әсерін өлшеу. Рихтер және Қарқындылық шкалалары | 21 |
| 1.5 Сейсмограф, Сейсмометр, Эпицентр және Геопицентр ұғымдары туралы жалпы түсінік | 23 |
| 1.6 Сейсмикалық толқындардың түрлері және оның сипаттамасы | 24 |
| 2 Талшықты оптикалық кабель негізіндегі сенсорлар | 28 |
| 2.1 Талшықты Брэгг торлары және оның жұмыс істеу принципі | 28 |
| 2.2 Су астындағы оптикалық кабель негізінде сейсмикалық мониторингтің принциптері мен қолдану салалары. | 31 |
| 2.3 Қазақстандағы сейсмикалық қауіптілігі жоғары аймақтар. Алматы қаласының сейсмикалық қауіптілігін ықтималды бағалау | 39 |
| 3 Жер сілкінісін ерте ескерту жүйелерін жобалау | 48 |
| 3.1 ADXL335 акселометріне шолу | 48 |
| 3.2 Жер сілкінісі туралы ерте ескерту жүйесі | 49 |
| 3.3 Arduino микронтролері арқылы жер сілкінісін анықтау жүйелерін әзірлеу | 54 |
| 3.4 Керекті құрал жабдықтар тізімі | 55 |
| Қорытынды | 59 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі | 60 |

КІРІСПЕ

Соңғы жылдары жер бетінде жылына миллиондаған үлкенді, кішілі жер сілкіністері тіркелуде. Сейсмологиялық құрылғылардың көпшілігі жер сілкінінің пайда болу ошағы мен күшін ғана анықтауға қабілетті. Жер сілкінісі адамдар мен құрылмадардың өміріне қауіп қатер төндіріп қана қоймай, халыққа экономикалық және әлеуметтік шығындар алып келеді. Сол себепті жер сілкінісін алдын ала анықтау құрылғыларына сұраныс артуда. Бірақта мұндай құрылғылар үлкен шығынды талап етеді. Дипломдық жұмыстың маңыздылығы құрылымдық денсаулық мониторингтік жүйесіне негізделген бақылау сенсорларын жүйесін талшықты оптикалық кабельмен біріктіру арқылы жер сілкінісі кезінде алдын ала ескерту құрылғысын құрастыру және алынған ақпаратты компьютерге жіберу. Берілген деректерді мониторингтік бақылау үшін әр түрлі бағдарламалық алгоритм бойынша өңдеп, түрленедіру. Дипломдық жұмыстың артықшылығы Arduino микроконтроллерін қолдану арқылы сенімділік пен қауіпсіздікті арттыру және шығын көлемін азайту болып табылады.

Дипломдық жұмыстың теориялық бөлімінде сейсмология саласының бағыттары, жер сілкінісін тудырушы фактордың бірі болып табылатын тектоникалық тақталардың әсерлесу түрлері мен әдістері, сонымен бірге жер сілкінісінің қарқынылығы мен әсерін, магнитдудасын өлшейтін Рихтер және Қарқындылық шкалалары, сейсмометр және сейсмограф құрылғылары, эпицентр және геопицнтр ұғымдары туралы сөз қозғалады. Сейсмология саласында жер сілкінісі кезінде сейсмикалық толқындар және оның таралу түрлері жайлы түсіндіріледі. Сейсмологиялық толқындар жайлы алынған біліміміз келесі бөлімдегі зерттеу, сынақ жұмыстарында өз көмегін тигізеді.

Келесі бөлімде талшықты оптикалық зондтау жүйелерін қарастыратын боламыз. Соның ішінде талшықты брэгг торларының түсіндіре отырып, артықшылықтары мен кемшіліктері, жұмыс жасау принциптерін талқылаймыз. Талшықты оптикалық жүйелерді зерттей отырып, талшықты оптикалық кабельдер бойымен жарықтың таралу заңдылығын, сол арқылы сыртқы ортадағы түрлі параметрлерді (дірілді, температураны, қысымды) өлшеу әдістерін, алынған деректері кері тасымалдау жолдары және сигналды шудан бөліп алу әісі бойынша сүзгілерді қолдану жолдары мен схемалары қарстырылады. Аталған әдістер мен міндеттердің әр қайсысын, талшықты оптикалық жүйенің бір бөлігінің қызметін атқарады.. Қарастырып отырған талшықты оптикалық жүйелердің жұмыс істеу принципін түсіндіру үшін, әр әдіске түрлі математикалық теңдеулер мен есептер жазылып жұмыс істеу қағидасын жекелеп түсіндірілінеді.

Үшінші бөлімде Қазақстан соның ішінде сейсмикалық қауіптілігі жоғары аймақ Алматы қаласының сейсмикалық аудандастыру картасы әзірленеді. Сейсмикалық аудандастыру картасы Алматы қаласын сейсмикалық аудандастыру картасын жасау, қала халқы мен құрылымдардың қауіпсіздігін

бағалауда айрықша рөл атқарады. Көптеген елдерде сейсмикалық ауданастыру карталарын жасауда инженерлік параметрлерді қолданады.

Бұл мемлекеттерде сейсмикалық ауданастыру жердегі діріл параметрлерін алу есебінде ұйымдастырылады. Соның ішінде ең жиі қолданылатын әдістердің бірі жердегі ең жоғары үдеу және спектрлік үдеу әдістері. Елімізде сейсмикалық қарқындылығы жоры елді мекендерді (MSK-64(K)) қарқындылық параметрі бойынша ауданастырады.

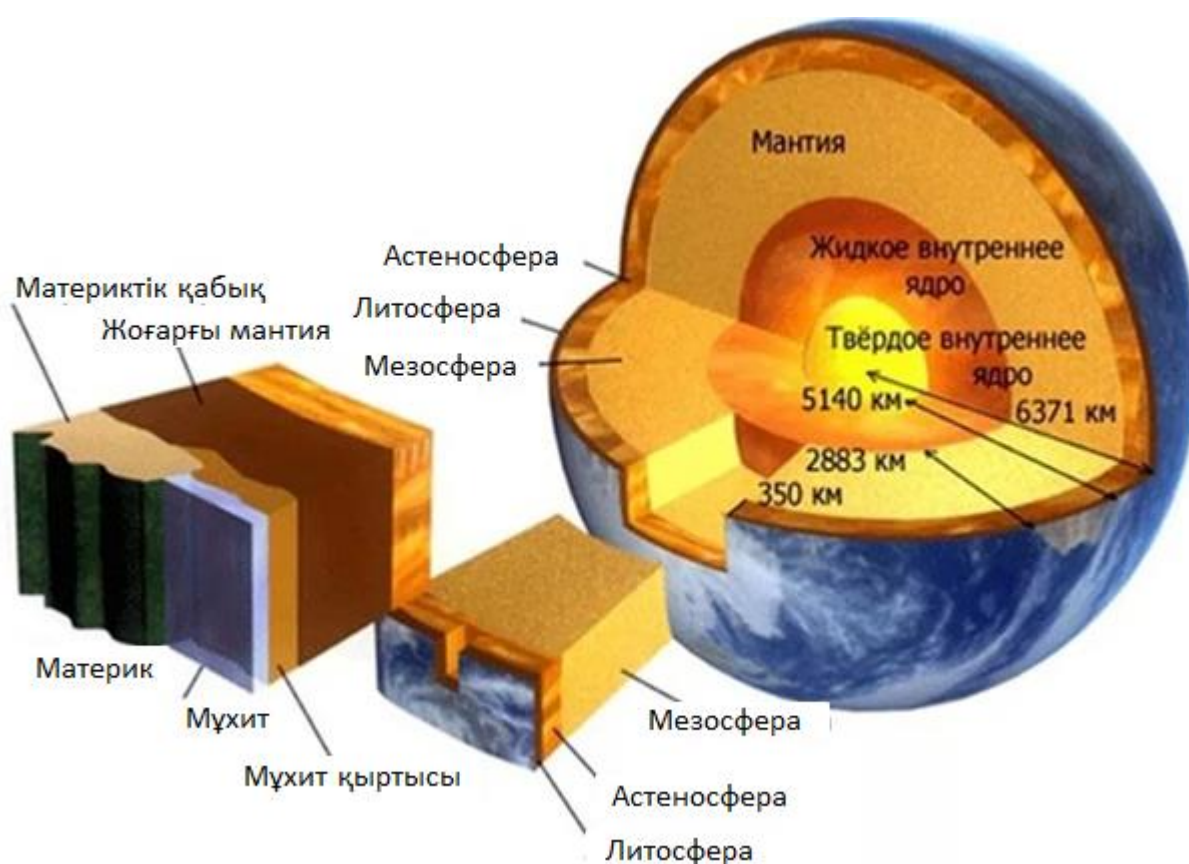
Қазақстандағы сейсмикалық жобалау карталарды детерминистік тұрғыда негізделген. Европа және Латын Америкасы елдерінде сейсмикалық жобалау карталары PSHA (ықтималдық қауіптілігін бағалау) әдісіне негізделген. PSHA (ықтималдық қауіптілігін бағалау) әдісінің артықшылығы ғимараттар мен құрылыс кешендерін тиімді етіп орналастыруға болады. Зерттеу жұмыстары кезінде Қазақстанның бірқатар жоғары оқу орындары Алматы қаласының сейсмикалық ауданастыруы бойынша PSHA (ықтималдық қауіптілігін бағалау) әдісі негізінде GSZ (Жалпы Сейсмикалық Ауданастыру) және SMZ (сейсмикалық микроаймақтау) ықтималдық карталарын әзірледі. Бұл карта бес картаның жиынтығы ретінде жасалынады. Оларға: екі PGA (жердегі ең жоғары үдеу) картасы, Алматы қаласының SMZ (сейсмикалық микроаймақтау ықтималдық картасы) сонымен қатар басқада карталар мен диаграммалар пакеті қосылды. Осы пакеттер мен теңдеулер арқылы PSHA-да есептеулер жүргізу үшін bgs (Британлық геологиялық қызмет) негізінде әзірлеген заманауи m3c бағдарламалық жасақтамасын қолданады. Ықтималдылықты бағалау төрт кезең арқылы жүзеге асады. Оларға: ықтималды жер сілкінісінің пайда болу орны мен себебін, сонымен қатар қайталану ықтималдылығын бағалау, анықталған жер сілкінісінің ошағы арқылы сол өңірдегі қайталануы мүмкін жер сілкінісінің жылдық мөлшерін алу сияқты маңызды кезеңдерге бөлінеді. Зерттеу жұмысында Алматы қаласының топырақ нәтижелері алынып, Алешиннің топырақтың қаттылық категориясы бойынша бөлініп және қатты топырақ үшін диаграммалық мәндер алынды. Зерттеу жұмыстарын қортындылай келе Алматы қаласының PSHA (ықтималдық қауіптілігін бағалау) әдісіне сүйене отырып PGA картасы жасалынды. Картаны жасау барысында соңғы 50 жыл ішіндегі тіркелген үлкенді кішілі жер сілкіністері, топырақ қаттылығы мен тығыздығы түрлі зерттеу сынақтары арқылы бағаланып салыстырылынды, сонымен қатар Алматы қаласындағы соңғы жылдары халықтың қоныстану саны анықталынып, жалпы Қазақстан аумағының геологиялық картасы әзірленді.

Жұмыстың техникалық бөлімінде жер сілкінісін алдын ала анықтау құрылысын құрастырмас бұрын жұмысты модельдеуге керекті құрылыстардың тізімі қарастырылып, соның ішінде ADXL345 акселометрлерінің ерекшелігі мен түрлері туралы айтылады. Техникалық бөлімде жобаға қолданылатын протоколдар мен жүйенің Arduino байланыс сенсорына жалғану матрицасы, жалпы базалық станцияның дизайны және жер сілкінісі туралы ерте ескерту жүйесінің құрылымы талқыланялады.

1 Жер сілкінісі туралы жалпы түсінік

1.1 Сейсмология ғылымы және оның бағыттары

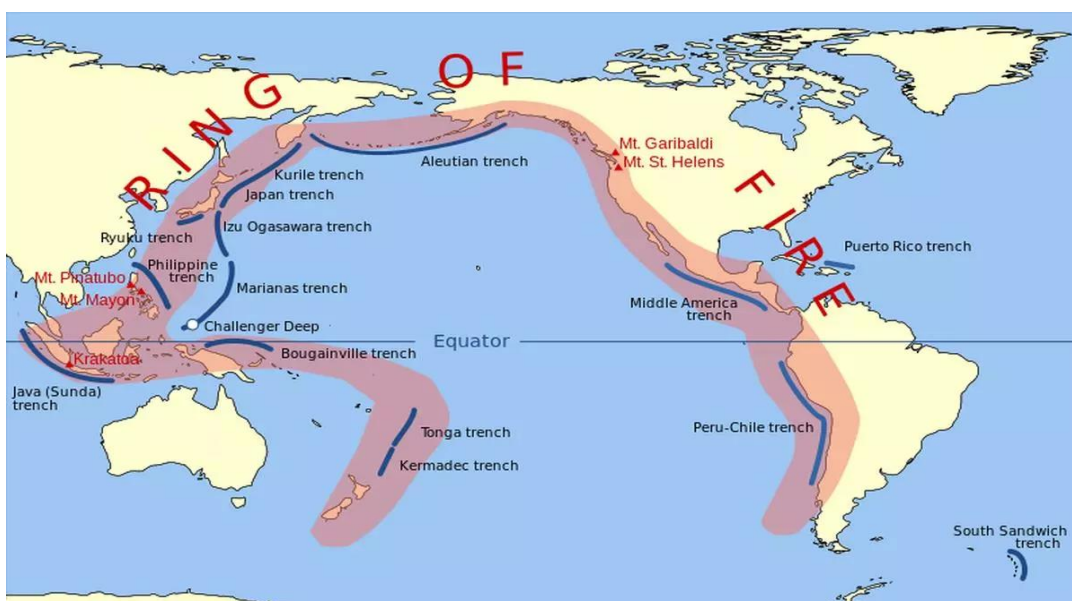
Сейсмология-жер сілкінісінің әсері мен корреляциясын зерттейтін геофизикадағы ғылым. Сейсмикалық процессі белгілі бір уақыттағы сейсмикалық құбылыстардың жиынтығын, олардың пайда болу уақыты мен себептерін, сондай-ақ мүмкін заңдылықтарын анықтайды. Практикалық мақсаты-жер сілкінісінің болатын уақытын және оның күшін, сондай-ақ оның пайда болу орнын анықтау. Жер сілкінісі болған жерлерді егжей-тегжейлі зерттеу үшін аймақтың параметрлері бағаланып, антропогендік және техногендік факторлары ескеріледі.



1.1-сурет – Жер шарының ішкі құрылысы

Сонымен қатар, сейсмология-жанартаулық белсенділік пен жер қыртысының қозғалысын зерттейтін ғылым саласы. Сейсмология ғылымы жер қойнауында болып жатқан процестерді анықтауға және түсінуге көмектеседі. Біздің жер қыртысымыз ондаған үлкенді және кішілі тақталарға бөлінген. Тектоникалық плиталардың үйкелісі, сырғуы, бөлінуі жер қыртысында жинақталған энергияны бөліп, жер сілкінісін тудыратын сейсмикалық толқындарды тудырады. Осы толқындарды зерттей отырып, жер сілкінісінің көздерін және оның шамасын анықтауға болады. Сейсмология жанартау

процестерінен туындайтын жер сілкінісінің белсенділігін зерттейтін ғылым саласы. Оған магмалық қозғалыстарды, тау жоталарының деформацияларын, бу мен газ шығарындыларын, жанартау атқылауынан туындаған сейсмикалық толқындарды бақылау кіреді. Мұндай сейсмикалық процестер жер бетіне шыққан кезде жер сілкінісін тудыруы мүмкін. Сейсмология жер қыртысы мен жер бедерін зерттеуде маңызды рөл атқарады және жер қойнауы туралы мәліметтер береді. Атап айтқанда, ол тау-кен өндіру, мұнай және газ кен орындарын барлау саласында қолданылады. Сейсмология ол бізге таулардың қалай пайда болатынын, плиталардың қалай қозғалатынын және олардың қандай сейсмикалық қауіп төндіретінін түсіндіреді. Бұл ғылым жер сілкінісін болжауға және жер сілкінісі қауіпінің алдын алуға көмектеседі [1].



1.2-сурет – Жер шарындағы сейсмикалық қауіптілігі жоғары аймақтар

Мұндай шаралар ғимараттар мен құрылыстардың тұтастығын қамтамасыз ету арқылы жер сілкінісінің алдын алады. Осы деректерді қорытындылау үшін сейсмология саласы келесі бағыттарды қамтиды:

- Сейсмикалық сейсмология: бұл жер сілкінісі және басқа сейсмикалық жағдайлар нәтижесінде жер қыртысы арқылы таралатын сейсмикалық толқындарды зерттейді. Ол сейсмикалық фотосуреттерді (сейсмикалық толқындардың жазбаларын) талдауды, сейсмикалық толқындардың параметрлері мен қасиеттерін зерттеуді және осы параметрлерді жердің ішкі құрылымын зерттеу үшін пайдалануды қамтиды.

- Геодинамикалық сейсмология: бұл пән жер қыртысының қозғалысын, платформалық тектониканы және геологиялық құрылымдарды құрайтын басқа процестерді зерттеуге бағытталған. Геологиялық сейсмология жер сілкінісінің себептерін түсінуге және олардың орналасуы мен беріктігін болжауға көмектеседі.

- Вулканология: сейсмологияның бұл саласы жанартау белсенділігімен байланысты сейсмикалық белсенділікті зерттейді. Жанартаулық жер сілкінісі кезінде ол халықты сейсмикалық жағдайлар туралы ескертеді және халықты қауіп-қатер туралы ескертуге көмектеседі.

- Инженерлік сейсмология: сейсмологияның бұл түрі жер сілкінісі кезінде ғимараттар мен инфрақұрылымға тигізетін әсері мен зардабын зерттейді.

- Сейсмикалық геофизика: сейсмологияның бұл түрі сейсмикалық мәліметтерді пайдалана отырып, жер қыртысы мен мантияның физикалық қасиеттерін зерттейді. Бұл сейсмикалық толқындардың таралуын және олардың әртүрлі тау жыныстарымен әрекеттесуін зерттеуді қамтиды.

Сейсмологияның әр саласының өзіндік зерттеу және қолдану әдістері бар. Бірақ әрбір бағыт жалпы сейсмикалық құбылыстарды зерттеуге және түсінуге, адамдар мен қоршаған ортаның қауіпсіздігін қамтамасыз етуге үлкен үлес қосады [2].

1.2 Тектоникалық тақата және олардың түрлері. Тектоникалық тақталардың жылжу әдістері.

Тектоникалық тақта-жер қыртысы мен мантия бетінде орналасқан тұрақты емес литосфераның үлкен бөлігі. Теориялық тұрғыдан алғанда, жердің литосферасының қабаты, жердің ядросы пайда болған жылудың әсерінен тұрақты қозғалыстағы плиталарға ыдырайды. Тектоникалық плиталар қозғалған сайын олар бір-бірімен әрекеттесіп, жер сілкінісі және жанартау атқылауы сияқты геологиялық құбылыстарға әкеліп соғады, олар кең спектрді туғызады.

Тектоникалық плиталар үш топқа бөлінеді: үлкен, кіші, және микро (плиталар). Барлығы сегіз негізгі тектоникалық плиталар бар: Тынық мұхиты, Солтүстік Америка, Оңтүстік Америка, Еуразия, Африка, Антарктика, Австралия және Үнді. Егер плиталардың ауданы 20 миллион шаршы шақырымнан асса, онда плиталар негізгі болып табылады, егер олар он бес шақырымнан асса, онда шағын плиталар, ал қалғандары микроплиталар деп аталады. Тектоникалық плитаға қатысты кейбір негізгі ұғымдар қалыптасады. Оларға мыналар жатады: плиталар шекараларының түрлері, субдукция процестері және теңіз түбінің кеңеюі, таулар мен мұхит жоталарының пайда болуы, жер сілкіністерінің таралуы және дүние жүзінде жанартаулық белсенділік.



1.3-сурет – Тектоникалық тақталардың түрлері және олардың бір-бірімен әрекеттесу бағыттары

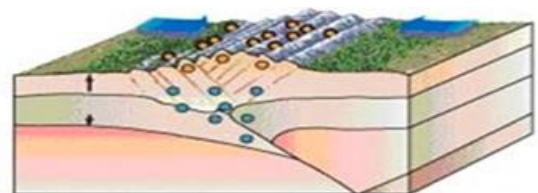
Тектоникалық тақталар табиғаттағы қауіптер туралы түсінігімізге маңызды үлес қосады.

Тектоникалық тақта шекаралары-бұл екі плитаның немесе бірнеше плиталардың бір-бірімен шектесетін аймағы. Тақта шекаралардың үш негізгі түрі бар. Олар дивергентті, конвергентті және трансформациялық шекараларға бөлінеді.

Бөлу (дивергенция): бұл әдіс кезінде тектоникалық плиталар бір-біріне қарама-қарсы қозғалады. Нәтижесінде мантия магмасы тектоникалық плитаны ығыстырып, жаңа мұхит қыртысын құрайды. Мұндай процестің мысалы ретінде орта мұхит жотасына мысал келтіруге болады [3].



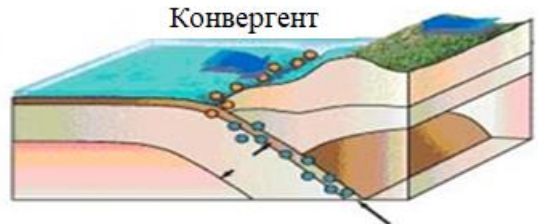
Дивергент



Конвергент



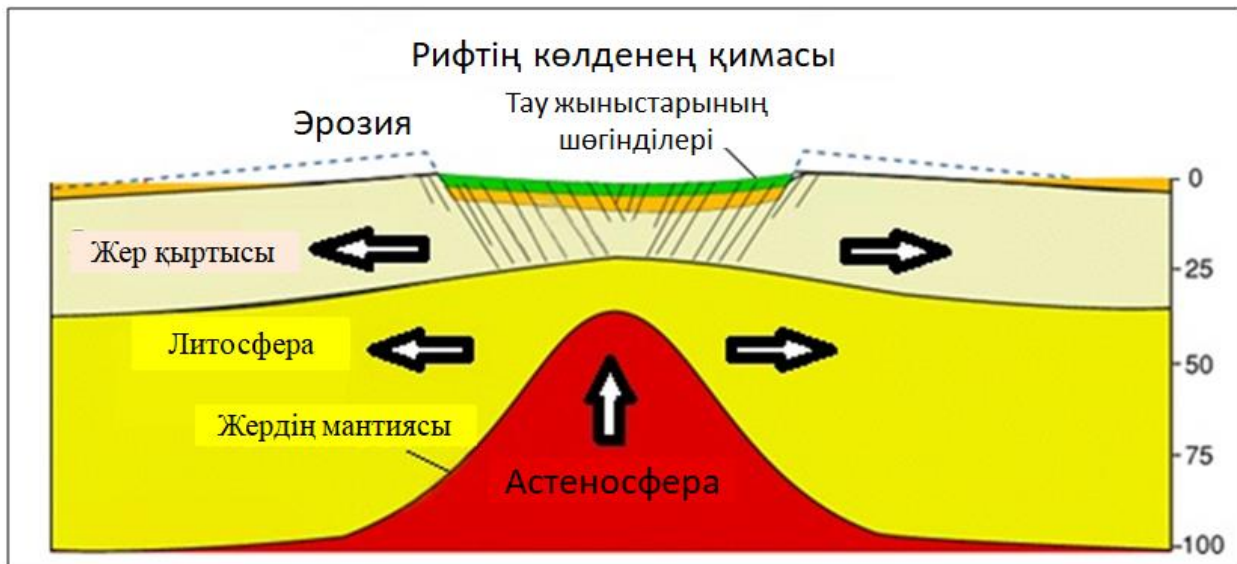
Трансформациялық шекара



Конвергент

1.4-сурет – Тектоникалық тақталардың әсерлесу түрлері

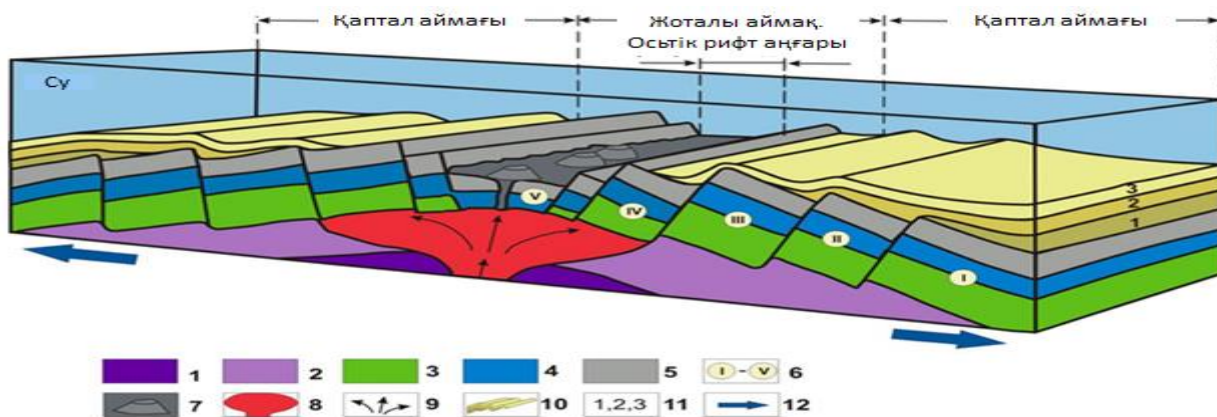
Рифт-жер қыртысында пайда болатын үлкен тектоникалық ақау. Рифт негізінен литосфераның көлденең созылу процесінде, яғни жарылу кезінде пайда болады. Рифтер әдетте мұхит жоталары мен мұхит бассейндерімен шектеседі. Рифтердің пайда болуы тектоникалық плиталар әртүрлі бағытта қозғалған кезде жер қыртысының ыдырауына әкеледі.



1.5-сурет – Рифт құрылымының сыртқы түрі

Рифтер негізінен жер қыртысындағы магмалық мантия материалдарының нәтижесінде пайда болады. Қашықтық ұлғайған сайын екі литосфералық плитаның алшақтауы нәтижесінде магма жер бетіне көтеріледі, содан кейін салқындап, мұхиттық қыртысқа айналады.

Ал спрединг процесі-мұхиттық рифтер аймақтарында астеносферадан келетін базальттың магмалық еруінен жаңа мұхиттық қыртыстың пайда болуы. Спрединг әдісі рифтинг әдісінен кейін жүреді. Бұл бірінші рифтинг процесінің нәтижесінде мұхиттық қыртыстың пайда болады. Кейін осы процестің кеңеюі нәтижесінде бұл қабық кеңейеді.

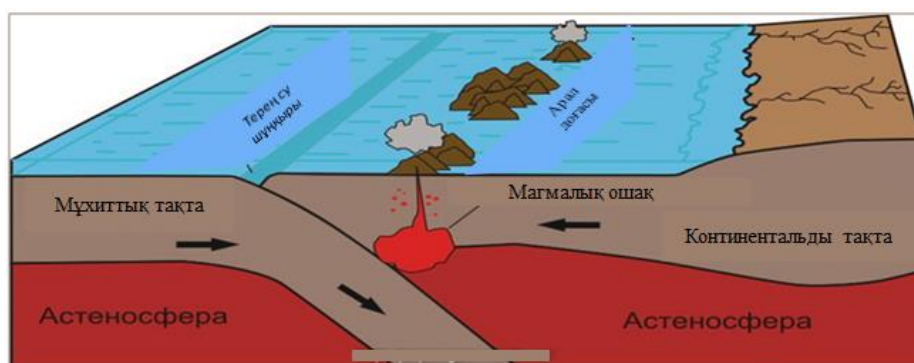


1.6-сурет – Орта мұхиттық жотаның құрылымы

Жақындау (конвергенция): бұл әдісте тектоникалық плиталар бір-біріне жақындаған кезде тектоникалық плиталар бір-бірімен соқтығысады. Бір тақта тығыз және ауыр болған кезде, ол субдукция деп аталатын процесте басқа тақтаның астына ығыстырып қозғалады. Осылайша жанартаулар мен таулар пайда болады. Бұл процесс үлкен жер сілкінісінің пайда болуына әкеледі. Мұндай қозғалыстың мысалы Тынық мұхиты жиігі.

Субдукция процесі-литосфералық плита басқа литосфералық плитамен соқтығысқанда екінші плитаның астына сырғу процесі. Бұл процесс тектоникалық плитаның негізгі механизмі болып табылады. Себебі бұл процестің нәтижесінде тау жыныстары, жанартаулар мен жер сілкіністері пайда болады.

Егер бұл процесті қысқаша сипаттайтын болсақ, онда екі литосфералық тақта соқтығысқанда, тығыз мұхиттық қыртыс, тығыздығы азырақ континенттік қыртыстың астына бата бастайды. Нәтижесінде терең теңіз ағындары мен арал доғалары пайда болады.



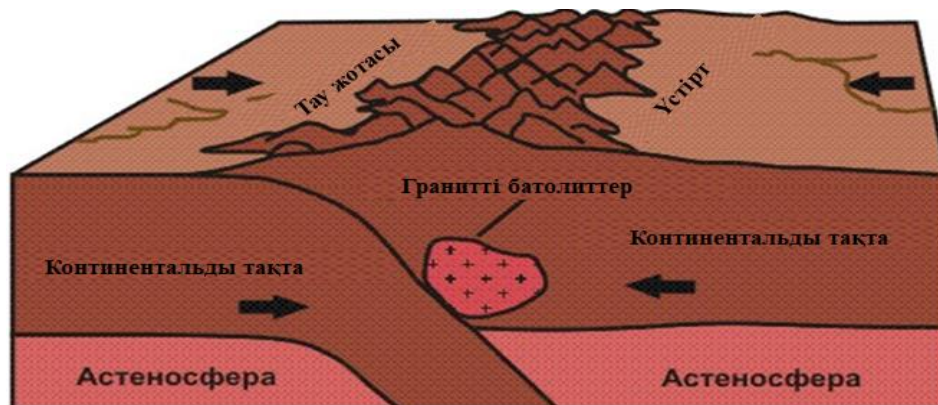
1.7-сурет – Субдукция процесінің моделі

Магма субдукция процесіне тән, ол континентальды циклдар немесе магмалық жарықтар шекаралары арқылы жанартаулардың атқылауын тудырады. Субдукция процесі екі тектоникалық плитаның соқтығысуы нәтижесінде пайда болатын жоғары қысымның нәтижесінде үлкен жер сілкінісін тудырады. Субдукция барлық конвергентті шекаралардың шамамен 80% - ын алады.

Субдукция керемет құрылымға ие. Олар келесі типтік құрылымдардан тұрады. Терең су шұңқырлары жанартаулардың атқылауы кезінде пайда болады. Сонымен қатар, балку температуралары магмалық процесс кезінде тау жыныстарының балку температурасының төмендеуіне байланысты түзіледі.

Обдукция-бұл субдукцияның қарама-қарсы процесі. Яғни, соқтығысу кезінде тығыз емес литосфера тығыз литосфераның астына түсудің орнына үстіне көтеріледі. Обдукция әдетте екі континентальды плиталар немесе бір континентальды плиталар мен мұхиттық плиталар арасында болады. Бұл жағдайда тығыз кішкене плитаны оның үстінде орналасқан кішкене плиталармен ауыстыруға болады. Соқтығығысу (колиизия) процесі екі

литосфералық тақтаның жер мантиясындағы конвекциялық ағындардың қозғалысы нәтижесінде соғылып қатпарлар мен тау жүйелерінің пайда болу процесі. Соқтығысу процесі ұзақ мерзімде жалғасады. Соның нәтижесінде миллиондаған жылдар бойы тау жоталары көтеріле береді. Мұндай процестің мысалы Гималай мен Тибет тау жүйелерінің өсуі.



1.8-сурет – Соқтығысу процесінің моделі

Трансформация: ығысу кезінде екі тектоникалық тақта бір-бірінен көлденеңінен сырғып өтеді. Бұл қозғалыс ақаулардың шекаралары бойымен жүруі мүмкін. Мұндай шекаралардың мысалы - Калифорниядағы Сан-Андреас таулы жотасы [\[4\]](#).

1.3 Жер сілкінісі туралы түсінік. Жер сілкінісінің түрлері мен магнитудасы

Жер сілкінісі-жер қыртысында жинақталған энергия кенеттен бөлініп, жер бетінің дірілдеуіне немесе тербелісіне әкелетін табиғи құбылыс. Жер сілкінісінің әлеуеті әртүрлі болуы мүмкін және жойылуға, кейде жаһандық апаттарға әкелуі мүмкін. Дәлірек айтқанда, ғимараттар мен инфрақұрылымның бұзылуына әкелетін жер сілкіністері адам шығынына алып келеді. Жер сілкінісін тудыратын негізгі факторлар тектоникалық плиталардың соқтығысуы, сырғуы, бөлінуі немесе геологиялық күштер болып табылады.



1.9-сурет – Жер сілкінісін тудыраты негізгі факторлар

Жер сілкіністерін әртүрлі критерийлер бойынша жіктеуге болады, соның ішінде құрылымның орналасуы, көлемі, эпицентрдің тереңдігі және оны тудыратын тектоникалық плиталардың соқтығысуы. Осы критерийлер бойынша жер сілкіністері келесі түрлерге бөлінеді.

Жер сілкінісі -тектоникалық циклдардың қозуы мен өзара әрекеттесуінен туындаған. Яғни, тектоникалық құрылымдар үйкеліс, сығылу немесе бір-бірінен бөліну нәтижесінде пайда болады. Тектоникалық жер сілкіністері өте жиі кездеседі және әлемнің кез келген жерінде болуы мүмкін.

Вулкандық жер сілкінісі-магмалық қозғалыстар мен белсенді жанартаулардың атқылауынан туындаған жер сілкінісінің бір түрі.

Қиратушы жер сілкінісі-жер асты шахталарының, жер асты кратерлерінің немесе басқа да жасанды құрылыстардың құлауы нәтижесінде орын алады.

Жарылғыш жер сілкінісі-ядролық сынақтар немесе карьерлердегі жарылыстар сияқты жасанды жарылыстардан туындаған [5].

Жер сілкінісінің магнитудасы-сейсмограф құралымен өлшенетін және осы жер сілкінісі кезінде бөлінетін жалпы толқындардың қатынасы. Стандартты сейсмографпен 100 км қашықтықтағы жер сілкінісі магнитудасын төмендегі формула бойынша анықтауға болады:

$$m = lgl \quad (1.1)$$

мұндағы:

l - сейсмикалық толқынның 100 км қашықтықтағы максималды амплитудасы.

Жер сілкінісінің магнитудасын біле отырып, жер сілкінісінің (E) энергиясын мына формуламен есептеуге болады:

$$\log E = 11,5 m \quad (1.2)$$

Жер сілкінісінің магнитудасы артқан сайын эпицентрден бөлінетін энергия тез артады. Жер сілкінісінің шамасын анықтаудың қысқа, ұзақ, таяз және терең әдістері бар. Әрбір әдіс толқындардың саны бойынша алынған магнитуда мөлшерімен ерекшеленеді. Жер сілкінісінің шамасы мына формула бойынша анықталады.

$$M = \lg(a/T) + f(\Delta, h) + C \quad (1.3)$$

мұндағы:

a - беткі топырақтағы толқындардың ығысу амплитудасы;

Δ - жер сілкінісі ошағы мен сейсмикалық станция арқылы жүргізілген радиус пен бұрыш арасындағы эпицентральды қашықтық;

h - жер сілкінісі ошағының тереңдігі.

Функция $f(\Delta, h)$ болып табылады көптеген жазбаларды өңдеудің нәтижесі және толқын амплитудасының төмендеуін ескертетін қашықтықпен, "станция" бойынша түзетілуін білдіреді, тіркеу аппаратурасын орнату шарттарын ескертеді. $F(\Delta, h)$ функциясы біртұтас эпицентральды қашықтыққа бақылаулар жүргізеді, осы арқылы толқындардың амплитудасын тікелей салыстыра аламыз.

Жер сілкінісінің магнитудасын біле отырып, жер сілкінісінің (e) энергиясын есептеуге болады. A/T шамасы - сейсмикалық толқынның әсерінен топырақтың деформациясының өлшемі ретінде қарастырылады. Энергия E мен магнитуда M арасындағы байланыс эмпирикалық формуламен өрнектеледі:

$$\lg E = A + BM \quad (1.4)$$

A және B коэффициенттерінің мәні сол магнит өрісіндегі сейсмикалық толқындардың энергиясымен салыстыру арқылы анықталады. A және B коэффициенттерін анықтау деформация квадратына пропорционал тау жыныстарының бірлік көлемінде толқын энергиясының болуына байланысты. Мұндай магнитудасы әртүрлі жер сілкіністері бірдей пішіндегі Цуга толқындарын тудырды, содан кейін B коэффициенті 2 болады. Шын мәнінде Цуга спектрі мен толқын ұзындығы шамаға байланысты. Гутенберг пен Рихтер шкалаларында туралау былай жазылады:

$$\lg E = 11,8 + 1,50M \quad (1.5)$$

немесе үлкен толқындар үшін:

$$\lg E = 6,5 + 2,3m \quad (1.6)$$

Көлемді толқындардың магнитудасы $2,5 + 0,63 m$ құрайды. Осы өрнек арқылы магнитуданы $M=8.7$ ауыстырсақ, бізде ең жойқын жер сілкінісі $E = 5 \times 10^{24}$ эрг-ге тең болады. Бұдан қорытынды жасай отырып, мұндай процестерде

энергияның жиналуы жер сілкінісі ошақтарында, мантияның негізгі қасиеттері бойынша орын алады.

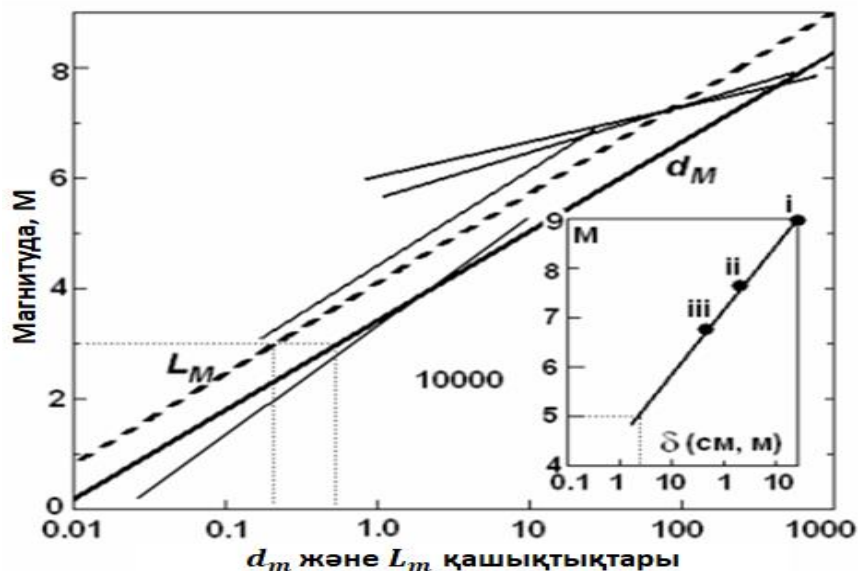
Осы зерттеулер нәтижесінде біз атом бомбасы мен жер сілкінісінен бөлінетін энергияны салыстырайық. Хиросима атом бомбасынан бөлінетін энергия 10^{20} эрг. Егерде біз бұрын соңды болған барлық атом бомбасын бір мезгілде жарсақ ($Q > 5 \times 10^{10}$ т), онда бұл бұрын соңды болмаған магнитудасы 11,3-ке тең жер сілкінісіне алып келеді (Q —килотоннадағы заряд). Егер бір жылдағы барлық бөлінетін энергияны есептесек онда магнитудасы $M=8.7$ үшін 5×10^{24} эрг мөлшеріндегі тағы 15% пайыз қосылғандағы энергияны аламыз. M магнитудасы жер сілкінісі ошақтары уақыт бойынша ғана емес (Гутенберг және Рихтер заңы), сонымен қатар кеңістікте де ретімен бөлінеді. Белгілі болғандай эпицентр мен жер сілкінісі ошағының арасындағы орташа қашықтық dM (км), (LM) өлшемі мен (M) магнитудасының қатынасымен сипатталады.

$$dM = 10^{(0,6M-1,94)}; LM = 10^{(0,6M-2,5)} \quad (1.7)$$

мұндағы:

d_m -геоблоктың іс жүзіндегі орташа мөлшері.

M -дегі 0.6 коэффициенті LM ошақтарының өлшемдерінің және сәйкес эпицентраралық қашықтықтардың DM әр қадам сайын 2 есе өзгергенін көрсетеді 0.5 бірлік магнитудасы. DM/LM шамасы 3.63 және жер сілкінісінің магнитудасына тәуелді емес. Мысалы, магнитудасы үшін $M = 3$, $dM_0 = 700$ м, ал $LM_0 = 200$ м [6].



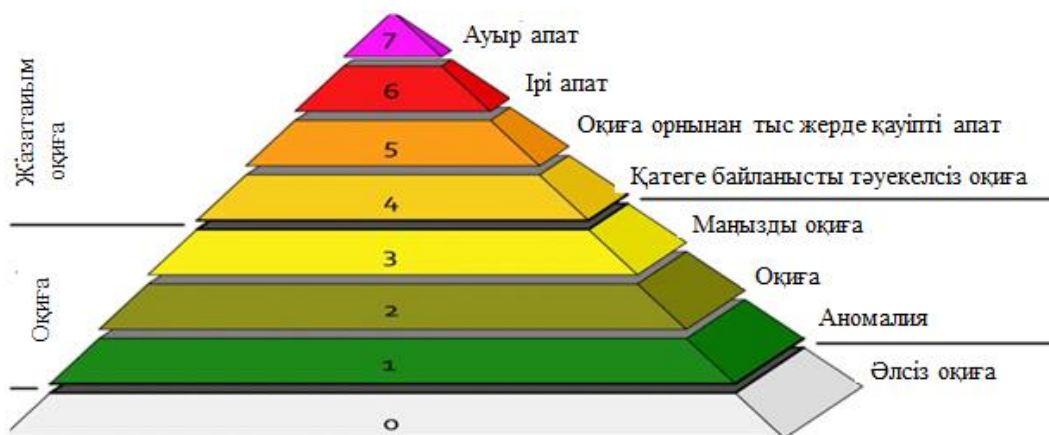
1.10-сурет – Жер сілкінісінің магнитудасы M -геоблоктың өлшемі dM , LM ақауларының ұзындығы.

1.4 Жер сілкінісінің күші мен әсерін өлшеу. Рихтер шкаласы

Рихтер шкаласы сейсмикалық толқындардың жер сілкінісі кезінде пайда болған кездегі күшін бағалау арқылы жер сілкіністерін тең пропорцияларға бөледі. Рейхтер шкаласын алғаш рет 1935 жылы Американдық сейсмолог Чарльз Рихтер ашты, ол 1941-1945 жылдары Американдық сейсмолог Бено Гутенбергпен Бірге Рихтер шкаласы теориясын дәлелдеді.

Рихтер шкаласы 0-ден 9 баллға дейінгі диапазонды қамтиды. Рихтер шкаласында көрсетілген мәндердің мәнін сипаттау:

- 3.0 балдан аз: әдетте сезілмейтін, әлсіз соққылар;
- 3.0-3.9 балл аралығы: әлсіз жер сілкінісі, тұрғын үй кешендеріне зақым келтірмейді;
- 4.0-4.9 балл аралығы орташа балдық жер сілкінісі тұрғын үй кешендеріне аздап зақым келтіруі мүмкін;
- 5.0-5.9 балл аралығы: орташа күшті балдық жер сілкінісі тұрғын үй кешендері мен инфрақұрлымдарға айтарлықтай зиян келтіруі мүмкін;
- 6.0-6.9 балл аралығы: үлкен балдық жер сілкінісі кең радиуста жойылуға және көптеген құрбандарға әкелуі мүмкін;
- 7.0 балл және одан жоғары: өте үлкен жер сілкінісі, үлкен аумақтарда қиратулар тудыруы мүмкін және жаһандық әсер етуі мүмкін;



1.11-сурет – Рихтер шкаласының балдық көрсеткіші

Рихтер шкаласы бойынша жер сілкінісі кезінде бөлінетін толқындар шығаратын энергия мөлшерін есептейді. Рихтер шкаласы әрбір бүтін нәтижені масштабта көрсететін логарифмдік шкаланы пайдаланады. Рихтер шкаласы бойынша 6 баллдық жер сілкінісі, сол шкала бойынша 5 баллдық жер сілкінісінен 10 есе күшті тербелістерді тудырады. Жер сілкінісінің түсуі кезінде дірілден бөлінетін толқын энергиясының мөлшері бірлікке 30 есе артады.

Қарқындылық шкаласы-жер сілкінісі кезінде адамдарға, ғимараттарға және жануарларға тигізетін әсері мен шамасын көрсететін жер сілкінісінің

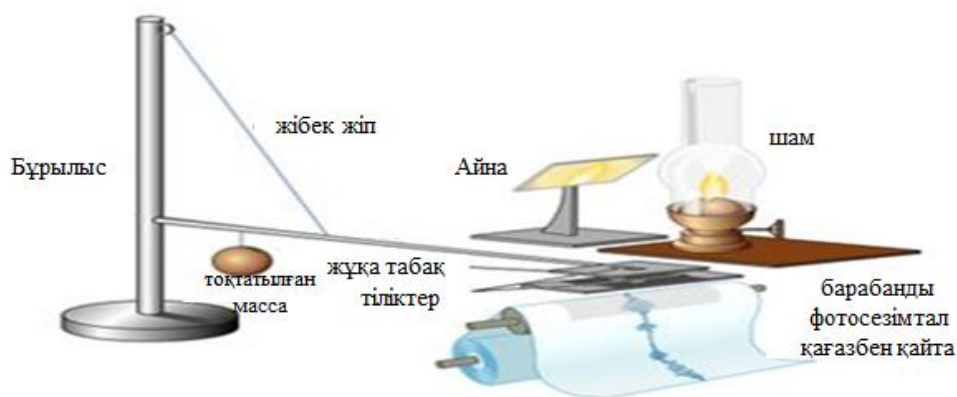
сапалық сипаттамасы. Ауырлық дәрежесі субъективті өлшем болып табылады және ол әр жағдайда әр түрлі болуы мүмкін. Жер сілкінісі кезінде қарқындылық шкалалары нүктелер немесе кинематикалық параметрлер арқылы жер бетінде берілетін сейсмикалық тербелістерді анықтайды.

Жер сілкінісінің қарқындылығы көртеген елдерде әртүрлі өлшенеді. Мысалы, Қазақстан мен Орталық Азия елдерінде жер сілкіністерін анықтау үшін 12 балдық Медведев-Шапонхейр-Карник шкаласы (MSK-64) қолданылады. Еуропа елдерінде 12 балдық еуропалық макро-сейсмикалық шкала қолданылса, Латын Америка елдерінде 12 балдық модификацияланған Меркалли шкаласы, Жапонияда Жапония метеорологиялық агенттігінің 7 балдық шкаласы қолданылады. Қазақстан аймағында сейсмикалық үдеуі жоғары және жер сілкінісінің күші жоғары аймақтар, қарқындылығы белгіленген аймақтарға бөлінеді. Мұндай аудандастыру құрылыс саласындағы қолайлы орындар мен шешімдерді іздеуге ықпал етеді [7].

1.5 Сейсмограф, Сейсмометр, Эпицентр және Геопицентр ұғымдары туралы жалпы түсінік.

Сейсмограф-жер бетінде таралатын әртүрлі сейсмикалық толқындарды тіркейтін құрылғы. Сейсмографтар жер сілкіністерін, электр сигналын аналогты цифрлық түрге түрлендіру, жердегі тербелістерді жазу арқылы тіркейді. Ол жер сілкінісі, жанартау белсенділігі немесе басқа геологиялық процестердің әсерінен болатын ауытқуларды анықтайды. Сейсмограф деректерді жазатын және сақтайтын жазу құрылғысы мен сезімтал сенсорлардан тұрады. Заманауи сейсмографтар электр сигналын аналогты-цифрлық түріне түрлендіру арқылы жердегі тербелістерді және жер сілкіністерін өлшейді.

Сейсмометрлер-сейсмологиядан алынған амплитуда мен жиілік сияқты физикалық параметрлерді тіркейді. Сейсмометр сейсмикалық орталықтың тереңдігі және оның жер сілкінісі кезіндегі геопицентр нүктесі туралы ақпарат береді. Сейсмометрлер, әдетте, жердің тербелісіне жауап беретін серіппелі немесе гироскопиялық жүйемен жабдықталған. Сейсмометрлер тік, көлденең және көлденең тербелістерді өлшей алады. Сейсмометр деректерді өңдеу үшін әртүрлі сенсорлар мен электрониканы пайдаланады. Осылайша, сейсмикалық толқындарды жазу үшін сейсмограф, ал осы толқындардың параметрлерін өлшеу және талдау үшін сейсмометр қолданылады [8].



1.12-сурет – Сейсмометр және сейсмограф

Гипоцентр-бұл жер сілкінісі немесе басқа сейсмикалық оқиғаның басталу нүктесі. Гипоцентр әдетте жер қыртысының бөлінетін немесе сейсмикалық толқындардың таралатын жері болып табылады. Гипоцентрдің орналасуы бірінші сейсмикалық толқынның станцияларға жетуімен анықталады.

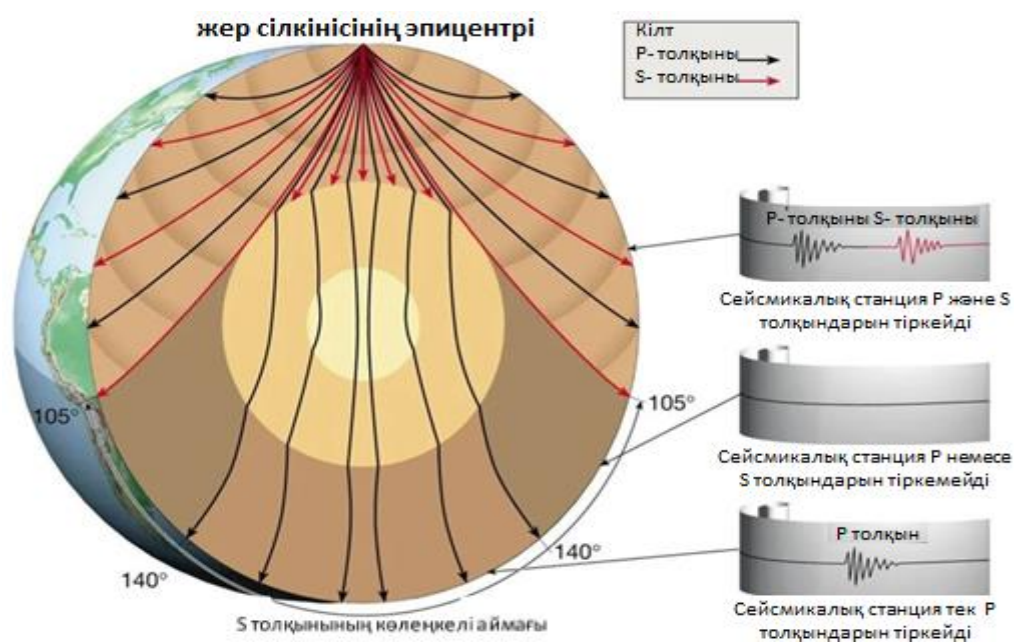
Эпицентр-жер бетіндегі гипоцентрдің үстінде орналасқан нүкте, атап айтқанда сейсмикалық толқындардың жер бетіне алғаш жеткен нүктесі. Гипоцентрлік нүкте әдетте жерден 100 км тереңдікте орналасады. Кейбір жағдайларда ол 700 км тереңдікте кездеседі. Кез келген жер сілкінісі орасан зор энергияның кенеттен бөлуден басталады. Таяз және күшті жер сілкіністерінде эпицентрлік аймақ онай және сенімді түрде анықталады. Эпицентр мен гипоцентр арасындағы қашықтық ұлғайған сайын сейсмикалық тербелістердің энергия ағынының тығыздығы төмендейді. Күшті жер сілкінісі кезінде сейсмикалық ауытқуларды шамалы ауытқулармен алдын ала байқауға болады. Бұл кішігірім тербелістердің гипоцентрлері итерілудің негізгі гипоцентріне жақын орналасқандығына байланысты. Сейсмологияда сейсмикалық соққы толқыны термині сирек зерттеледі. Өйткені мұндай толқындарды тығыздық энергиясы физикасындағы жер сілкінісімен қарастыра отырып, жарылыс физикасы сейсмикалық зерттеулер саласымен қатар жүретінін көрсетеді [9].



1.13-сурет – Жер сілкінісі ошағы және оның таралу аймағы

1.6 Сейсмикалық толқындардың түрлері және оның сипаттамасы

Сейсмикалық толқындар-геологиялық процестермен байланысты энергияның бөлінуі нәтижесінде жер қыртысы арқылы сейсмикалық толқындар мен тербелістердің белгілі бір түрінің таралуы. Сейсмикалық толқындар сейсмология саласында ерекше рөл атқарады. Себебі, бұл толқындар жер бетіне өтіп, оның құрылымы мен құрылысын зерттейді. Бұл геофизика мен сейсмология саласына айтарлықтай үлес қосады. Сейсмикалық толқындар жер сілкінісі және тектоникалық тақталардың соқтығысуы нәтижесінде пайда болатын жанартаулық белсенділік сияқты процестерден туындайды. Жер қатты және борпылдақ ортамен шектесетіндіктен, массивтік сейсмикалық толқындар жер беті бойымен еркін тарала алады, бұған топырақтың қасиеттері де ықпал етеді. Сейсмикалық толқындардың жиілік диапазоны 0,0001 МГц-тен 100 МГц-ке дейінгі диапазонды қамтиды. Жер сілкінісі кезінде сейсмикалық толқындар шығаратын тербелістердің мөлшері жойқын болады. Сейсмикалық толқындар жер сілкінісінің пайда болуын және оның таралу ортасын сипаттайды және жер сілкінісі кезінде ақпараттың негізгі тасымалдаушысы болып саналады [10].

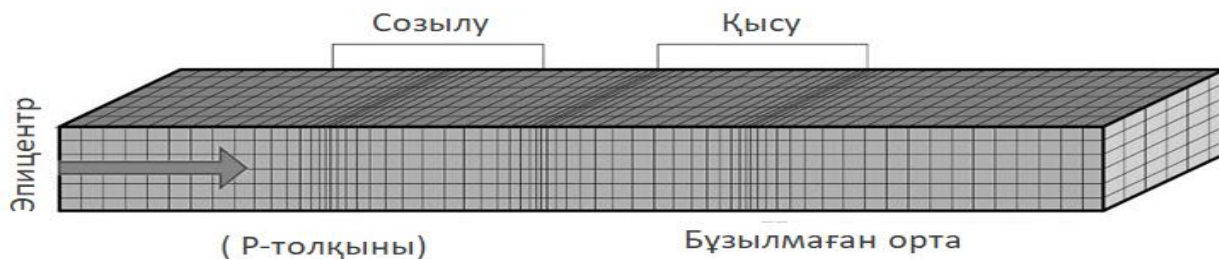


1.14-сурет – Сейсмикалық толқындадың жер қойнауы арқылы таралуы.

Сейсмикалық толқындар екі негізгі түрге бөлінеді: көлемдік толқындар және беттік толқындар. Бұл толқындардың таралуы, аты айтып тұрғандай, жердің ішкі және сыртқы қабаттары арқылы таралады. Қашықтық ұлғайған сайын тербелістердің қарқындылығы айтарлықтай төмендейді. Сейсмикалық толқындарды жазу үшін сейсмограф құрылғысы қолданылады. Сейсмикалық толқындар 3 негізгі түрге бөлінеді:

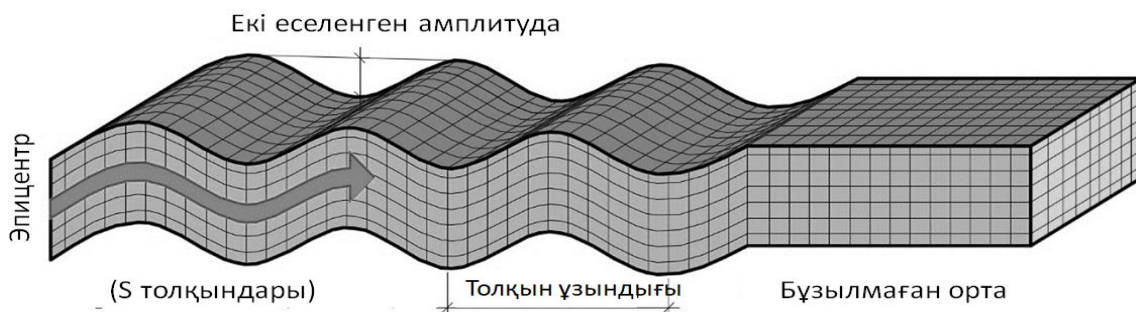
Бойлық толқындар (P-толқындар): бұл объектіні қысу, созу немесе сығу кезінде пайда болатын бойлық толқындар. Яғни, аты айтып тұрғандай, бойлық

толқындар бойлық ось бойымен қысылып, созылған құрттың қозғалысы сияқты таралады. Мұндай толқындар жер астындағы қатты және сұйық орта арқылы таралуы мүмкін. Жылдамдығы сейсмикалық толқындардың басқа түрлеріне қарағанда жоғары жылдамдықпен қозғалады. Р-толқындарының жылдамдығы ауада 330 м/с, суда 1450 м/с және гранитте 5000 м/с құрайды.



1.15-сурет – Бастапқы толқындардың (Р толқындары) таралу сұлбасы.

Көлденең толқындар (S-толқындар): бұл толқындар көлденең жазықтықта тік перпендикуляр бағытында қозғалады және сұйық ортада тарала алмайды. Көлденең толқындар перпендикуляр бағытта қозғалады. Бір жағынан екінші жағына жоғары және төмен жылжып, келе жатқан затты шайқайды. Жылдамдығы Р толқындарына қарағанда баяу. Мұндай толқындар жер бетінде үлкен апаттар мен қиратуларға алып келеді. Көлденең сейсмикалық толқындар таралу ортасында көлемдік өзгеріс жасамайды, толқынның таралуы перпендикуляр түрде қозғалады.



1.16-сурет – Көлденең толқындардың (S толқындары) таралуы сұлбасы

Бойлық V_p және көлденең V_s толқындардың жылдамдығы мына формула бойынша анықталады.

$$V_p = \left(k + \frac{4}{3m}\right); V_s = \frac{m}{r} \quad (1.8)$$

мұндағы:

k - жан-жақты қысу модулі;

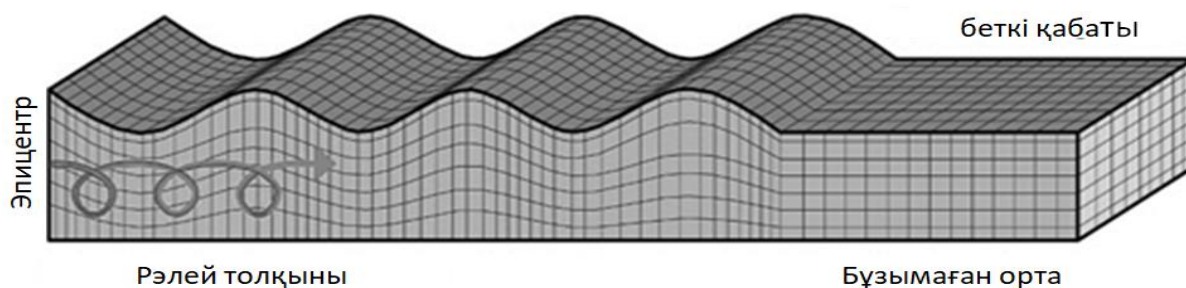
m - сдысу модулі;

r - тығыздығы.

Формуладан көріп отырғандарымыздай бойлық толқындардың жылдамдығы көлденең толқындардың жылдамдығынан 3 есе үлкен жылдамдықпен қозғалады. Біртекті және изотропты ортада толқындардың амплитудасы көзден қашықтықта кері пропорционалды түрде азаяды.

Беттік толқындар: бұл толқындар жер қыртысының беткі қабатында таралады. Бетті толқындар ең қауіпті толқындар қатарына жатады. Себебі мұндай толқындардың жиілігі төмен, амплитудасы жоғары және тербеліс уақыты ұзаққа созылады. P және S толқындарына қарағанда жойқын болып келеді. Мұндай толқындарға Рэлей және Лява толқындары жатады.

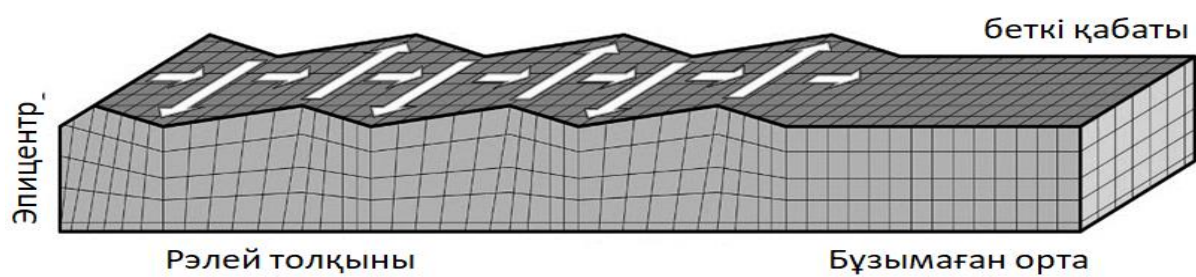
Рэлей толқындары: жер қыртысы немесе металл сияқты қатты ортада таралатын сейсмикалық толқынның бір түрі. Мұндай толқындар тектоникалық плиталардың, яғни қатты денелердің соқтығысуы немесе сығылу нәтижесінде туындайды. Толқыннан шығатын энергияны жер беті бойынша таратады және материалдың бөлшектері толқын бағытымен таралады. Рэлей толқындары эллиптикалық траектория бойынша көлденең бағытта қозғалады.



1.17-сурет – Рэлей толқындарының таралу сұлбасы

Лява толқындары бұл екі ортаның интерфейсі бойынша, яғни қатты және газ арасында немесе екі түрлі қатты денелер арасында таралатын толқындар. Қысқаша айтқанда жер беті мен ауа шекарасында таралатын толқындар.

Лява толқындарының біріншілері қатты денелердің бетінде таралып, толқынның фазалық жылдамдығы сол түскен бетке параллель бағытталады. Мұндай толқынның ортанғы бөлшегі толқын жылдамдығы мен нормаль векторы орналасқан жазықтыққа эллипстік қозғалыс жасайды. Ал тербеліс амплитудасы керсінше сол беттен алыстағанда әлсірейді. Лява толқындары біртекті көлденең поляризацияға ие болғандықтан толқын бөлшектерінің орын ауыстыруы жылдамдық векторына перпендикуляр болады. Толқын бөлшектерінің белгілі бір орта бетінде таралуына байланысты бойлық немесе көлденең болуы мүмкін. Осы айтылған толқын түрлері сейсмология, акустика, және инженерия салаларын зерттеуде қолданылады [11].

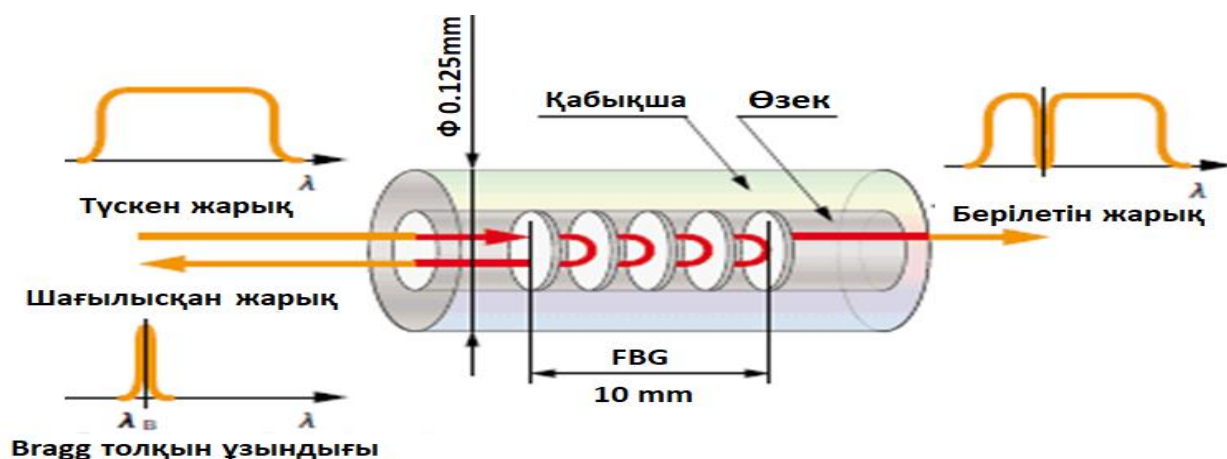


1.18-сурет – Льява толқындарының таралу сұлбасы

2 Талшықты оптикалық кабель негізіндегі сенсорлар

2.1 Талшықты Брэгг торлары және оның жұмыс істеу принципі

Брэгг талшықты торы – талшықты оптикалық жүйеде қысымды, температураны және кернеуді немесе басқа параметрлерді өлшеу үшін қажет талшықты-оптикалық тор. Брэгг торлы талшығының сәулесі мерзімді сыну көрсеткіші бар талшық өзегі арқылы таралады. Өзек бойымен берілетін жарық белгілі бір ұзындықтағы толқындарға айналады. Бұл қоршаған ортадағы өзгерістерді қабылдау және өлшеу үшін қажет. Әдетте ұзындығы бірнеше миллиметр болатын талшықты жағалау торы бар нәзік құрылым. Талшық бойымен ультракүлгін лазер кең жолақтан тар жолаққа бағытталған. Жасанды қарсылық өзек арқылы жарықты айналдыру үшін фазалық маска көмегімен енгізіледі. Бұл кремний матрицасының тұрақты өзгеруіне әкеледі. Бұл өзгерістер резонанстық құрылымды құра отырып, сыну көрсеткішінің модуляциялық өзгеруін тудырады [12].

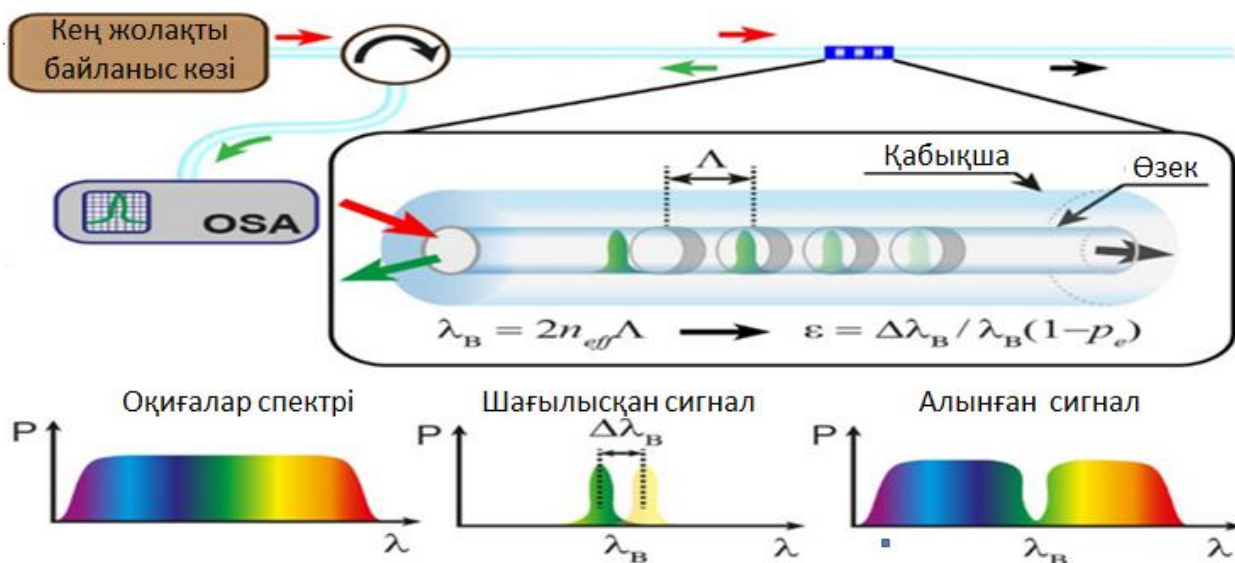


2.1-сурет – Талшықты Брэгг торы оптикалық талшықты кабельнің жұмыс істеу принципі

Брэгг талшықты-оптикалық торы сыну көрсеткішін өзгерту арқылы ядродағы толқын ұзындығын жазады. Шашыраңқы жарық импульстері ядро арқылы өтетін толқын ұзындығына байланысты болса да, жарық импульсі «монохроматикалық емес». Олар орталық толқын ұзындығының бүйірінде орналасқан толқын ұзындығының тар диапазонынан тұрады. Жарық импульсі оптикалық талшық арқылы өткенде, ол «хроматикалық беріліс» деп аталатын процестің нәтижесінде дами бастайды. Диффузия жарықтың толқын ұзындығымен сәл өзгеше жылдамдықпен қозғалуына әкеледі. Атап айтқанда, көк жарық (қысқа толқын ұзындығы) қызыл жарыққа (ұзын толқын ұзындығына) қарағанда тезірек таралады. Егер түзетілмесе, айырмашылық импульстің қаншалықты өткір немесе "жылдам" болатынын шектейді.

Телекоммуникация үшін дисперсия сонымен қатар жеке импульстар қабаттаса бастағанға дейін талшықтың қанша уақыт болуы мүмкін екенін шектейді [13].

Әрбір период арқылы жарықтың аз мөлшері сыну көрсеткінде шағылып отырады. Бастапқы жабынмен оралған талшықтың диаметрі 250 микрометрден тұрса, ал жабынсыз талшықтық диаметрі 125 микрометрді құрайды. Содан кейін жарық диаметрі 8 микрометрден тұратын ядорның ішінде таралады. Барлық шағылысқан жарық когерентті түрде бірігіп белгілі бір түрдегі толқын ұзындығын береді. Шығыстан алынған толқын ұзындығы кірістен берілген толқын ұзындығының жартысына жуығын құрайды. Бұл процесті Брэгг шарты немесе Брэгг толқын ұзындығы деп аталады.



2.2-сурет – Тұрақты амплитудасы мен модуляция кезеңі бар біркелкі Брэгг желісінің схемасы

Талшықты Брэгг торындағы сыну көрсеткіші жоғарғы индекстен төменгі индекске дейін өзгереді. Осы сыну көрсеткішінің модуляциясы таралған толқын ұзындығын айна тәрізді әрекет етуіне мүмкіндік береді. Талшықты Брэгг торында көрсететін толқын ұзындығы өзек бойындағы жоғарғы және төменгі индекстер арасындағы қашықтыққа байланысты:

$$\lambda_{\text{Брэгг}} = 2n \quad (2.1)$$

Өзек ішіндегі индексі жоғарғы және төменгі екі аймақ арасындағы ара қашықтық Λ деп белгіленген талшықты Брэгг торы периоды деп аталады. FBG «Талшықты Брэгг торы» жарықты " λ_B " Брэгг толқын ұзындығында жақсырақ және анығырақ көрсетеді, мына формула бойынша анықталады:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (2.2)$$

мұндағы:

n_{eff} талшықтың орташа тиімді сыну көрсеткіші.

Шағылыстың беріктігі индекс модуляциясының қаншалықты үлкен екеніне байланысты [14].

Сонымен талшық бойымен сәуле таралғанда сигнал әлсіреп өзінің пішімін өзгертіп жетеді. Талшықты Брэгг торының негізгі жұмыс істеу принципі келген сәулені қанағаттандыратын толқын ұзындығына айналдырып оны қатты кері шағылыстыру болып табылады. Тордағы толқын ұзындығын орнату және оны ұзақ уақыт бойы ұстап тұру Брэгг талшықты торының маңызды ерекшелігі болып табылады.

Брэгг торының талшықты-оптикалық сенсор ретінде көптеген артықшылықтары бар. Мысалы, талшықтың материалы мен өлшеміне, электромагниттік және радиожілік кедергілеріне төзімділігіне, қоршаған ортадағы орналасуына байланысты қауіпсіздігіне, жоғары өткізу қабілеттілігіне және ұзақ мерзімді сапасына байланысты төмен құны. Сонымен қатар, брэгг талшықты тор технологиясы ақпаратты тасымалдау үшін мультиплекстеуді және байланыстыруды қажет етпестен толық өлшемдерді қамтамасыз етеді [15].

Талшықты Брэгг торының кернеуге тәуелділігін талшық бойымен таралатын толқын ұзындығы бойынша анықтауға болады.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\Delta(n_{ef}\Lambda)}{n_{ef}\Lambda} = \left(1 + \frac{1}{n_{ef}} \frac{dn_{ef}}{d\varepsilon}\right) = (1 + p_e)\Delta\varepsilon \quad (2.3)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = k\Delta\varepsilon \quad (2.4)$$

Брэгг торының k коэффициенті - фотоэластикалық қалыпты (осьтік созылу кезіндегі сыну көрсеткішінің өзгерісі). Оптикалық талшықтағы p_e мына мәнге тең:

$$p_e \approx -0,21 \quad (2.5)$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta\varepsilon} = k\lambda_0 = 0,79\lambda_0 \quad (2.6)$$

FBG «Талшықты Брэгг торы» 1550 нм оптикалық талшық үшін деформацияға сезімталдығын арттыру формуласы:

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta\varepsilon} = 1,2 \frac{pm}{(\mu m/m)} \quad (2.7)$$

Талшықты оптикалық брэгг торының кернеуге тәуелділігіне ұқсас температураға тәуелділігінде толқын ұзындығын деформациялау арқылы анықтауға болады:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\Delta(n_{ef}\Lambda)}{n_{ef}\Lambda} = \left(\frac{1}{\Lambda} \frac{\Delta\Lambda}{\Delta T} + \frac{1}{n_{ef}} \frac{\Delta n_{ef}}{\Delta T} \right) \Delta T = (\alpha + \zeta) \Delta T \quad (2.8)$$

мұндағы:

α - талшықтағы жылу беру бойынша кеңею коэффициенті;

ζ -термо-оптикалық коэффициент (яғни сыну көрсеткішінің температураға тәуелділігі).

Температураға сезімталдықты жуықтау үшін бұл шамалар температура диапазоны үшін тұрақты $\alpha = 0,55 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$; $\zeta = 5,77 \times 10^{-6}$ жуықтап жылу сезімталдылығының берілуі.

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta T} = (\alpha + \zeta) \lambda_0 = 6,3 \lambda_0 \quad (2.9)$$

Талшықты оптикалық Брэгг торының 1550 нм оптикалық талшық үшін деформацияға сезімталдығын арттыру формуласы:

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta T} = 10 \text{ pm}/^\circ\text{C} \quad (2.10)$$

2.2 Су астындағы оптикалық кабель негізінде сейсмикалық мониторингтің принциптері мен қолдану салалары.

Қазіргі уақытта су асты кабельдерін талшықты оптикалық датчик ретінде сейсмикалық бақылау жүргізуде кеңінен қолданылады. Талшықты оптикалық сейсмикалық бақылау датчиктері негізінен оптикалық интерферометрден, Талшықты Брэгг торынан, оптикалық поляриметрден және үлестірілген акустикалық зондтаудан тұрады. Осы төрт оптикалық датчиктердің жұмыс істеу принциптері мен су асты оптикалық кабельдері бойынша сейсмологиялық бақылау жүргіземіз. Осы арқылы төрт оптикалық датчиктердің артықшылығы мен кемшіліктері анықталынады. Сол арқылы датчиктердің техникалық талаптары қарастырылады.

Мұхит біз үшін айрықша маңызды орын алады. Себебі су астын зерттеу арқылы табиғи ресурстар мен жер сілкінісін бақылау жүргізіледі. Мұхит астын зерттеуде жердің ішкі құрылымы, су асты сейсмологиясы мен океанография сияқты салаларда маңызды ақпараттарға қол жеткіземіз. Көптеген мемлекеттер су асты қайықтары арқылы сейсмикалық мониторинг жүргізуде. Осы зерттеулер бойынша жер сілкінісінің салдарын анықтау және талдау жүргізу үшін сейсмометр, манометр сияқты сейсмикалық бақылау құралдары су астынан бірнеше жүз метр тереңдікте орналасады.

Қазіргі таңда қолданылатын сейсмикалық құралдардың көпшілігі электрлік жабдықтармен жабдықталған. Бұл сейсмикалық құрылғыларды электромагниттік кедергіге, коррозияға, қысымға төзімді етеді. Сейсмометрлер мыңдаған метр қашықтықта пайда болған сейсмикалық толқындарды

жеткіліксіз қабылдайды. Сеймометрлердің біріктірілген желісі қосымша мәліметтерді алатынына қармастан нақты уақыт бойынша қабылданған асинхронды деректердің мүмкіндігі азайтады.

Талшықты оптикалық сенсор - бұл электронды құрылғыларсыз әр түрлі физикалық параметрлерді анықтау үшін қолданылатын құрылғы. Трансмиссияның аздығы мен шағын масштабының арқасында талшықта оптикалық сенсорларды ұзақ қашықтыққа дейін кең сенсорлық желілермен жалғауға болады. Соңғы жылдары талшықты оптикалық датчиктер дамытылып жүз шақырымда миллиондаған зондтау нүктелерін өлшей алатындай нәтижеге жетті. Бұл өлшеудің жоғарғы тығыздығы мен деректерді қабылдаудың тамаша синхрондылығын көрсетеді. Талшықты оптикалық сенсорлар электронды датчиктермен салыстырғанда жоғарыда айтылған шектеулерді енсере алады. Талшықты Брэгг торы - талшықты оптикалық жүйе бойынша кернеуді, температураны және деформацияны немесе басқада параметрлерді өлшеуге қажетті талшықты оптикалық тордың түрі болып табылады. Талшықты брэгг торы талшығының сәуленуі, талшықтың өзегі арқылы мерзімді сыну көрсеткіші бойынша таралады. Өзек бойымен таралған жарық белгілі бір толқын ұзындығына айналады. Бұл Талшықты брэгг торының қоршаған ортадағы өзгерістерді қабылдау және өлшеу үшін қажет. Әдетте талшықты Брэгг торының ұзындығы бірінеше миллиметрдей болатын микроқұрылым. Талшық бойымен кең жолақтан тар жолққа ультракүлгін лазер жіберіледі. Жарықтың өзек бойымен таралуы үшін фазалық масканы қолдану арқылы жасанды кедергі енгізіледі. Бұл кремни матрицасында тұрақты өзгеруге алып келеді. Бұл өзгертулер резонанстық құрылымды құру арқылы сыну көрсеткішінің модуляциялық өзгертуін тудырады.

Негізінде Брэгг толқын ұзындығы талшықтың өзегінің сыну көрсеткіші мен тор қадамының функциясы болып табылады. Термо оптикалық эффект және фотоэластикалық әсер бойынша тиімді индекс пен кадамды сыртқы кернеу мен температураның арқасынла өзгерте аламыз. Брэгг толқын ұзындығы өзегі мен сыртқы өлшем арасындағы байланысты келесі өрнек арқылы өлшеуімізге болады.

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B [\eta_1 (1 - p_e) \epsilon + (\eta_2 \cdot \alpha + \beta) \Delta T] \quad (2.11)$$

мұндағы:

p_e - фотоэластикалық коэффициент;

α - талшық өзегінің термиялық кеңею коэффициенті (СТЕ);

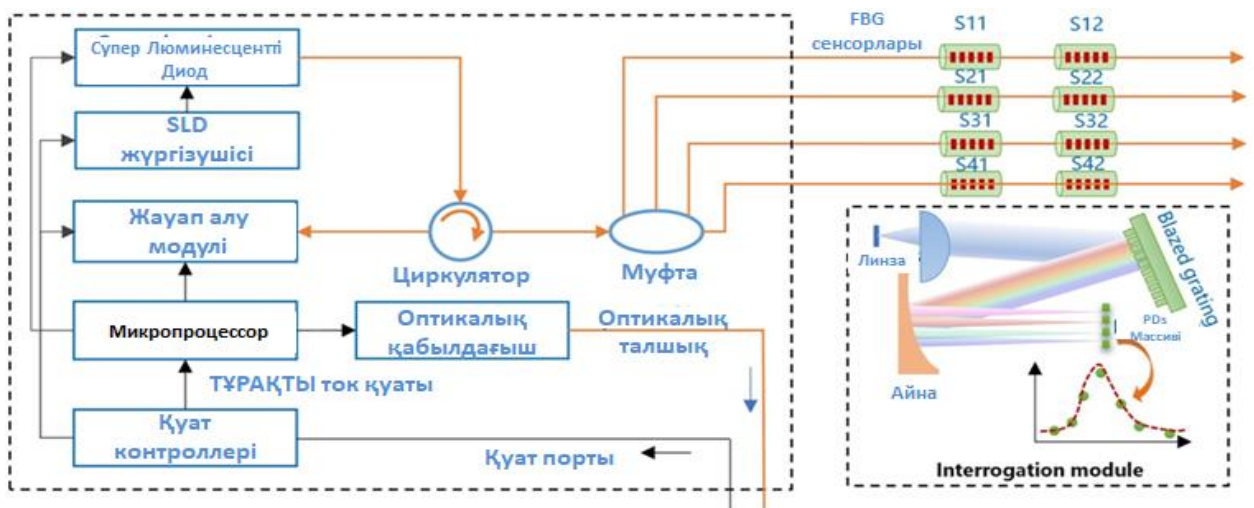
β - термо-оптикалық коэффициент;

η_1 - кернеуге берілетін қысым мен дірілден туындайтын сыртқы кернеудің мөлшерін сипаттайтын фактор Брэгг торында белгілі бір материалмен орау кезінде жылу кеңеюінің тасымалдау коэффициенті.

Бұл екі коэффициентті датчиктерді калибрлеу арқылы анықтауға болады. Температура сенсорында температураның өзгеруін Брэгг толқын ұзындығын тудыратындай етуге болады. Ол үшін фотоэластикалық әсерден аулақ болу

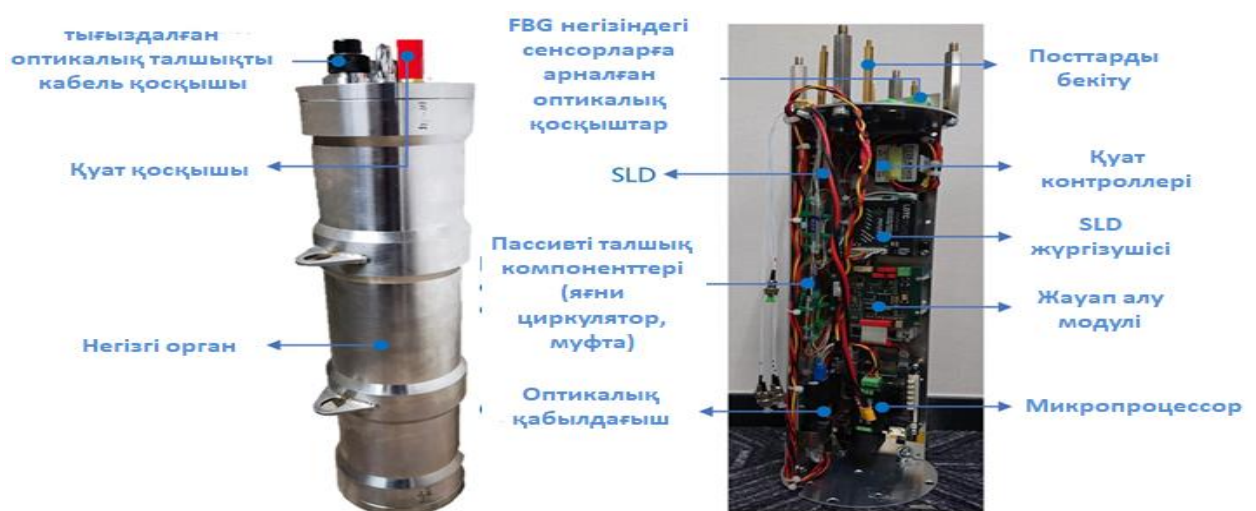
керек, ал қысым мен температура кезінде датчиктің температура әсерін төмендетуге болмайды, оны тек өтеу керек [16].

Сенсорлық жүйелерде жауап алу функциясын орындау үшін алдымен сигналды демодуляциялау арқылы сигналдың өзгеруін өлшеу керек. Бұл зерттеуде жауап алу жүйесі қарастырылады. Жауап алу жүйесі схемалық құрылысы суретте көрсетілген. Онда супер люминесценттір диодттары (SLD), лазерлік драйвер, жауап алу модулі (Ibsen I-MON), микропроцессор, қуат реттегіш, оптикалық қабылдағыш, циркулятор және қосқыш сияқты құрылғылар қолданылады. Муфта қабылданған оптикалық сигналды төрт жолға бөліп, олардың әр қайсысы Брэгг толқын ұзындығы (FBG) негізіндегі сенсорға жалғанылады. Супер люминесценттір диодттары (SLD)-дің толқын ұзындығының диапазоны 80 нм-ден 1510-1590 нм-ге дейін жетсе, ал минималды қуаты 16 мВт құрайды. Мұндай диодтан бөлінетін қуат пен диапазон мөлшері муфтадан шығатын төрт шығыс порты үшін жеткілікті. SLD диодының тогы мен температурасын жүргізуші (драйвер) басқарады. Оптикалық циркулятор қабылданған жарықты бірінші және екінші порттарға жіберіп, шағылысқан жарық циркулятор арқылы кері айналып үшінші портқа өтеді. Жауап алудың демодуляция әдісіне тоқталсақ, кірске жіберілген жарықтың қарқындылығын анықтау үшін бір сызықта орналасқан 512 фотодиодтары (PDs) қолданылады. Модульдеудің (2.3-суреттің) кірістіруінде тор мен айна кең жолақтағы жарықты толқын ұзындығындағы әр түрлі жарықтың компонентінде дифракциялайды. Келген жарықты дәл калибрлеуден кейін әрбір фотодиод (PD) белгілі бір толқын ұзындығы бойынша қарқындылық алады. Аппараттық құралдың ажыратымдылығы 170 pm құрайды. Бір Брэгг толқын ұзындығы (FBG)-нің шағылысқан спектрлік шыңындағы толқын ұзындығының өткізу қабілеті шамамен алғанда 500-700 pm тең болса, ең жоғарғы спектрді профильдеуге әдетте 4-5 Pd мөлшерінде шығын жұмсалады. Әдетте PDS-те шыңдарды дәл анықтау үшін Гаусс алгоритмі қолданылады. Нәтижесінде Гаусс алгоритмі арқылы жауап алудың мәні шамамен 0,5 pm шамасында болуы қажет. FBG-де «Брэгг толқын ұзындығы» шағылысу спектрінің шыңдарын біле отырып, трансивер 100 Мбит/с жылдамдық арқылы оптикалық талшықты кабель бойымен қашықтықтан бақылап және қабылдай аламыз. Қуат және талшықты кабельдер арқылы осы айтылған процесс бойынша электр және байланыс функцияларын қамтамасыз ете аламыз. Бұл сүңгуір қайықтардың зондтау жүйесінің дербес немесе желідегі басқа жүйелермен бірлесіп қарқынды түрде жұмыс істеуіне көмектеседі



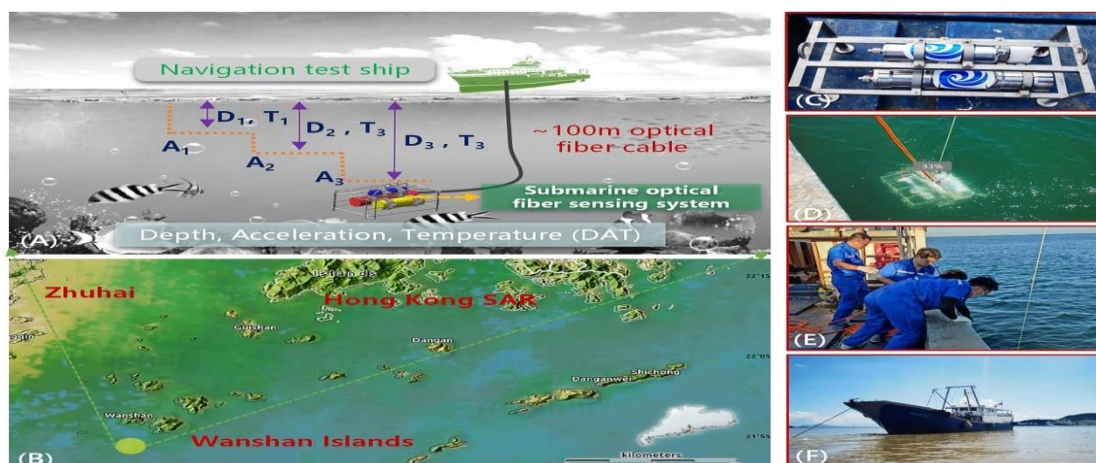
2.3-сурет – Ұсынылған жауап алу схемалық орналасуы.

Ұсынылып отырған сүңгуір қайықтың оптикалық зондтау жүйесінің схемасы негізінде жауап алу жүйесінің прототипі құрастырылды. Суретте көрсетілгендей жүйе жоғарғы қысымға және коррозияға төзімді болуы үшін оны тот баспайтын болат цилиндрдің ішіне орналастырады. Негізгі корпустың биіктігі 566 мм, ішкі диаметрі 120 және сыртқы диаметрі 132 мм-ге тең. Мұндай корпустың ішіндегі құрылғыларды қайта реттеу арқылы оның өлшемін кішірейтіп оңтайландыруға болады. Корпусты мұхит астына түсіру нәтижесінде корпус 3 сағаттан астам уақыт бойы 15 МПа қысымда сыналып, корпуста ешқандай қателік табылмады. Яғни корпусты еш қыйындықсыз 1000 метр тереңдікте қолдануға болады. FBG негізіндегі сенсорларды әр түрлі жағдайларда қолдануға және тасымалдауға болады. FBG негізіндегі сенсорларды жағадан кемеге немесе станциядан жағаға тасымалдау үшін оптикалық кабельдердің болуы жеткілікті.



2.4-сурет – Өзірленген сүңгуір қайықтардан жауап алу жүйесінің прототипінің түсірілген суреті

Ұсынылып отырған талшықты оптикалық зондтау жүйесінің тұрақтылығы мен өнімділігін тексеру үшін суретте көрсетілгендей теңіз астында зерттеу жұмыстары жүргізілді. 2.5(a)-суретте FBG сенсоры негізінде тереңдік, үдеу және температура параметрлері арқылы үш түрлі сынақ жолы көрсетілген. Яғни (D1, A1, T1), (D2, A2, T2) және (D3, A3, T3). Бұл сынақ Қытайдағы Перл өзенінің сағасына жақын белгілі бір аумақта өткізілді. Алынған фотосуретте талшықты оптикалық зондтау жүйесі сыртқы батарея арқылы қуаттанады. Алынған нәтижелерді салыстыру үшін жүйеге жақын аймақта коммерциялық өткізгіштік, температура, тереңдік сияқты құрылғылар орнатылған.



2.5-сурет – Қытайдағы Перл өзенінің сағасына жақын белгілі бір аумақта сүңгуір қайықтағы оптикалық талшықты зондтау жүйесін тексеру үшін жүргізілген теңіз сынағы

Қарастырылып отырған мұхиттағы оптикалық талшықты зондтау жүйесі қысымды, температураны, деформацияны анықтайтын жоғары сезімтал оптикалық датчиктерді Брэгг толқын ұзындығы (FBG) принципі негізінде жасалған. Тереңдікті анықтау қысым сенсоры арқылы анықталынады.

$$h = P/\rho g \quad (2.12)$$

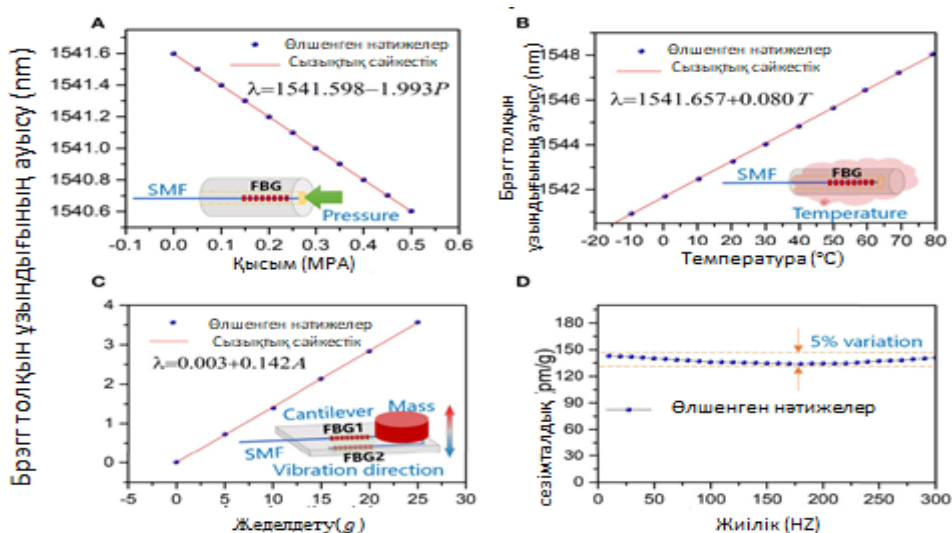
мұндағы:

P-датчикпен анықталатын судағы қысым;

ρ -теңіз суының массалық тығыздығы, әдетте $1,02 \sim 1,07 \text{ г/см}^3$ диапазон аралығын қамтиды және гравитациялық үдеуі $9,8 \text{ м/с}^2$ тең.

Қысым сенсоры цилиндрлік түтікте орналасады, ал 1540 нм болатын Брэгг толқын ұзындығы оралады. Яғни 2.6(a)-суретінде схемалық түрде Брэгг толқын ұзындығы цилиндрлі түтіктің ортасында орналасады, кейін оның бір ұшы алдын ала кернеледі. Су қысымы жоғарылаған кезде алдын ала кернелген Брэгг толқын ұзындығы белгілі бір дәрежеде босатылады. Нәтижесінде Брэгг толқын ұзындығының ығысуы пайда болады. Қысымның сезімталдылық

өнімділігі сенсорға орнатылған гравитациялық қысым мен 0-0,5 Мпа жоғалтылған қысым арқылы анықталады. Қысымның әрбір өзгерген мәні үшін толқын ұзындығы жазылады. Эксперименталды түрде өлшенген нәтижелерден қысымға сезімталдық $-1,993$ нм/Мпа құрайды. Максималды калибрленген қысым 0,5 Мпа дейін, яғни тереңдіктің өзгеруі ~ 50 м жетуі мүмкін.



2.6-сурет - Қысым, температура және діріл датчиктерінің эксперименталды түрде өлшенген реакциялары

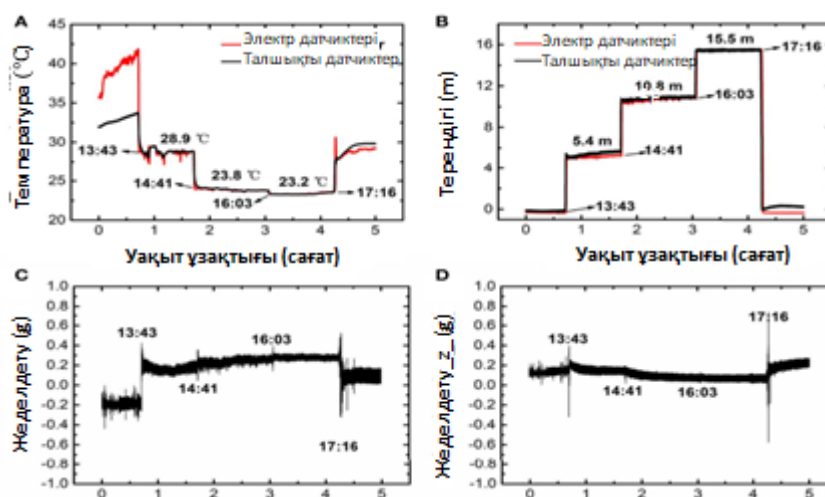
Температура сенсорыда температура дәл бақыланаты ортаға орналасады. Бұл сенсор FBG-дің тот баспайтын цилиндрінде орналасады. Дұрыс туралау арқылы FBG сырқы кернеудің өзгерісін сезбейді, тек температура ғана толқын ұзындығын ығыстыра алады. 2.6(в)-суретте көріп отырғандай калибрленген температураның сезімталдылығы $0,08$ нм /°C құрайды. Жауап алу модулінің ажыратылымдылығын $\sim 0,5$ pm екенін ескерсек, онда қысым мен температураның мәні $\sim 0,25$ кпа (тереңдіктің өзгеруіне сәйкес $\sim 0,024$ м) және $0,006^\circ\text{C}$ құрайды. Брэгг толқын ұзындығының өзгеруі мен өлшеу жолақтарының арасындағы әсер сызықтықты көрсетеді және ал r^2 фитингі $0,999$ -дан асады.

Діріл датчигінің сезімталдылығы датчиктің ұшына бекітіледі және әр түрлі үдеулерді қолданады. 2.6(с)-суретінде көрсетілгендей консольдің үстіңгі және астыңғы жағына екі Брэгг толқын ұзындықтары (FBG) қолданылады. Сол арқылы белгілі бір дәрежедегі қысу мен сығылу кернеуін қабылдайды. Осы екі Брэгг толқын ұзындықтарының (FBG-дегі) бір-бірінен айырмашылығы үдеуді сипаттау және калибрлеуде қолданылады. Осы екі Брэгг толқын ұзындықтарының үдеуге қарсы ығысуы 2.6(с)-суретте бейнеленген, мұнда сезімталдық $0,142$ нм/г-да ($g = 9,8$ м/с²) деп есептесек, ал өлшенген үдеу 25 г құрайды. Діріл сенсоры FBG тербеліспен бірге торға уақытылы кернеуді индукциялау үшін жоғарғы жағындағы инерциялық массасы бар консольге оралады. Әртүрлі жиіліктердегі діріл есептелінеді және сәйкес сезімталдық

анықталынады, ол 2.6(d)-суретте көрсетілген. Реакцияның кең жиілік диапазонында тұрақты дерлік (вариацияның 5% шегінде) сақталуы мүмкін екенін байқауға болады, ал сенсор 10 Гц-тен аз шағын жиіліктерде сезу қабілетін көрсетеді.

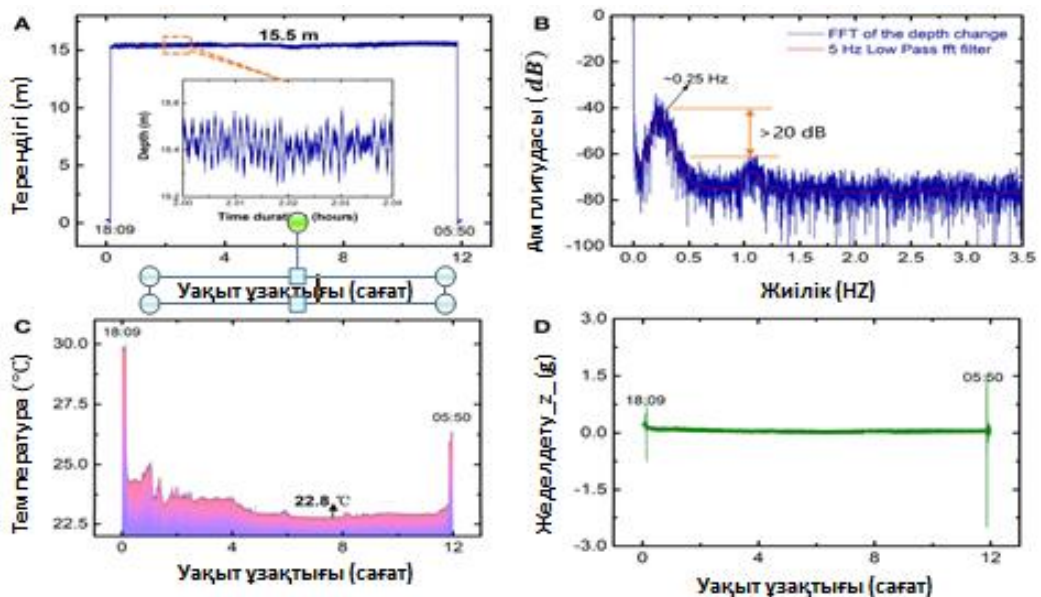
Теңіз сынағында тереңдікті, үдеуді және температураны нақты уақыт бойынша анықтау нәтижелері (2.7-суретте) көрсетілгендей температура, қысым, діріл датчиктері сияқты бірлескен құрылғылармен сыналады және анықталынады. Қарастырылып отырған жүйелер теңіз деңгейіне 5 метр, 10 метр және 15 метр тереңдікте орнатылған. Нақты белгілі бір тереңдікте коммерциялық құрылғысы арқылы өлшеуге болады. Белгілі бір кезеңде жүйе 1 сағаттан астам уақытта ілініп, содан соң келесі кезеңге өтеді. Алынған нәтижелер салыстыру арқылы коммерциялық құрылғы бойынша өлшенетін тереңдік пен температура да сызылады. Алынған нәтижелер арқылы FBG негізіндегі сенсорлар тереңдік пен температураны тура өлшей алатындығын және коммерциялық құрылғысымен салыстырғанда шағын вариацияларды анықтағанын көруге болады. Үдеуді қарастыратын болсақ кенеттен пайда болған секірулер жүйенің келесі кезеңге өтуін айқын көрсетеді.

Комерциялық құрылғысына электрлік діріл сенсоры жалғанбағандықтан сылыстырулар жүргізілмейді. Бірақ сенсорлық жүйені қозғалмалы орнын ортогональді түрде орналастырсақ онда оны екі сенсорлы үдеу түрінде аламыз. Алынған нәтижелер 5 сағат уақыт аралығында бірінші тереңдігіміз (~5,4 м) сынақ күні сағат 13:43-те жетті, ал FBG сенсорындағы температура 28,9°С дейін төмендеді, 14:41-де екінші тереңдік (~10,8 м) жетсе, температурамыз ~23,8°С-қа дейін төмендеді, тереңдік ~15,5 м-ге дейін көтерілгенде, 16:03 уақытында температураның төмендеуі азайды, шамамен 23,2°С температураны көрсетті.



2.7-сурет – (А) температураның , (В) тереңдіктің және (С, D) теңіз астындағы сүңгуір қайықтың оптикалық талшықты сезу жүйесінің үдеуінің өлшенген нәтижелері

Келесі суретте талшықты оптикалық сенсор бойынша белгілі бір тереңдіктегі 12 сағаттық мерзім ішінде қысымның су атындағы толқын ұзындығының динамикасын алу сынақтары көрсетіледі. 2.8-сурет белгілі бір уақыт аралығындағы тереңдік бойынша тереңдік, температура және үдеу бақыланып сынық жүргізілді. Сынақтың алғашқы күні 18:09-да жүргізіліп, келесі күні 05:50-де аяқталады. Сынақ уақытының түнде жүргізілу себебінен алынған нәтижелер бойынша температура біртіндеп төмендеді. 2.8(с)-суретінде байқағанымыздай су температурасы ~15,4 м тереңдікте ~25°С-тан ең төменгі нүктеде ~22,8°С-қа дейін төмендеді. Осы уақыт аралығында алынған үдеу өзгеріссіз қалады, себебі кез-келген тереңдікте үдеудің мәні өзгермейді. Үдеудің өзгеруі тек шөгу немесе шығару процессі кезінде пайда болатын деформацияның әсерінен туындауы мүмкін. 2.8(а)-суретте уақыт бойынша тереңдіктің өзгерісі көрсетілген. Алынған нәтиже бойынша әр тереңдікте толқын ұзындығының өзгерісі қарастырылады, ал 2.8(в)-суретте тереңдіктің өзгеруі бойынша Жылдам Фурье түрлендіруінің мәні көрсетіледі. Осы нәтижені алу арқылы сигналдың шуға қатынасы анықталып, GPS бақылауындағы қалтқылар алынған толқын диапазонын талшықты зондтау жүйесінде қолданады [17].



2.8-сурет – Теңіз астындағы 12 сағаттан астам уақыт ішінде тереңдіктің, температураның және үдеудің өлшенген нәтижелері.

Қазіргі уақытта мұхит астындағы бақылаулар үшін абельдік обсерваториялар мен таратылған оптикалық талшықты зондтау жүйелері. Талшықты оптикалық зондтау жүйесінің ерекшелігі әр түрлі оптикалық талшықты сенсорларды бір жүйеге біріктіруге болады. Біз қарастырып отырған зерттеуде температура, үдеу және қысым датчиктерін бір жүйеге біріктіріп артық шығынды азайту. Сол арқылы белгілі уақыт аралығында су асты өзгерістерін талшықты оптикалық зондтау жүйесімен барлық параметрлерді

тіркеу және салыстыру. Алынған нәтижелер қысымның, температураның және үдеудің толқын ұзындығының орташа ауытқуы сәйкесінше $\sim 0,004$, $\sim 0,01$ және $\sim 0,02$ нм кұрайды, бұл ~ 2 кпа, $\sim 0,1^\circ\text{C}$ және $\sim 0,14$ г өлшеу дәлдігіне сәйкес келеді. Өлшеу дәлділігінің жоғары киберленуін орнату және терең зерттеу жұмыстарын жүргізу арқылы, FBG спектрлерін демодуляциялауды одан әрі жетілдіруге болатынын дәлелдейді[18].

2.3 Қазақстандағы сейсмикалық қауіптілігі жоғары аймақтар. Алматы қаласының сейсмикалық қауіптілігін ықтималды бағалау

Қазақстан аумағының шамамен 11% (300 мың км²) сейсмикалық қауіптілігі жоғары аймаққа кіреді. Осы сейсмикалық жоғары аймақтарда шамамен 5 млн халық қоныстанған. Бұл өңірлерде елдегі өнеркәсіптің 40% - дан астамы шоғырланған және бұл аймақтар 400 ден астам елді мекендерді қамтып отыр. Соның ішінде осы өңірдегі халықтың 1,7 миллион астам халқы мен ірі өнеркісіптердің көп шоғырланған жері Алматы қаласы. Тарихқа сүйенетін болсақ Алматы қаласы ХІХ ғасырдың аяғы мен ХХ ғасырдың басында Солтүстік Тянь-Шань тауларынан таралған ең күшті жер сілкіністерін бастан өткерді. Атап айтқанда 1887 жылғы Верныйдағы магнитудасы 7.2 баллдық, 1889 жылғы Шіліктегі магнитудасы 8.3 баллдық, 1911 жылғы Кеміндегі 8.2 баллдық жойқын жер сілкіністері орын алды. Осындай жер сілкіністері үлкен апаттар мен адам шығындарына алып келуі мүмкін. Мұндай жағдайлардың себебі тек жер сілкінісінің күштілігі ғана емес, сонымен қатар аймақтық сейсмикалық қауіптіліктің бағаланбауы, ғимараттардың орналасу орны мен техникалық қауіпсіздік шараларының сақталынбауы болып табылады.

Ең алғаш рет Қазақстанда соның ішінде сейсмикалық қауіптілігі жоғары аймақ Алматы қаласы үшін жер қозғалысының сандық параметрін өлшеу арқылы жер сілкінісінің ықтималдық қауіптілігі алынды. Негізінен еліміздің тек Шығыс және Оңтүстік Шығыс өңірлеріне ғана сейсмикалық бақылаулар мен зерттеулер жүргізуде. Ал еліміздің қалған өңірлерінде сейсмологиялық бақылау және барлау жұмыстары әлсіз дамуда. Айта кетерлігі еліміздің бұл өңірлері мұнай және газ өндіруші аймақ болғандықтан ықтимал сейсмикалық қауіптілік деңгейін бағалауды қажет етеді.

Соңғы жылдары Алматы қаласының аумағы екі есеге өсті. Ал соңғы рет Алматыдағы сейсмикалық аймақтық бақылау 30 жыл бұрын жүргізілген. Сол себепті Алматы қаласына инженерлік параметрлер арқылы жүргізілген сейсмикалық қауіптіліктің заманауи талдауы қала аумағын тиімді етіп сейсмикалық аудандастыруға ықпал етті. Мұндай әдіснамалық зерттеулер еліміздің басқада өңірлерінде қолданудың бастамасы болды. Инженерлік параметрлердегі ықтималды бағалауды сейсмикалық аудандастыруға, сейсмикалық қауіпті бағалауға, әр түрлі аймақтардың дамуын ұтымды жоспарлауға, сонымен қатар сейсмикалық құбылыстарға қарсы тиімді етіп қолдануға болады. Сейсмикалық аймақтық бөлу негізінде сейсмикалық

карталарды жасау, жер сілкінісі кезіндегі шығын мөлшерін азайтып алдын ала дайындық жасауға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта сейсмикалық қауіптілікті бағалау әр елде әр түрлі әдістермен қарастырылады. Көбінесе көптеген мемлекеттер сейсмикалық аудандастырудың инженерлік тәсілін қолданады. Бұл мемлекеттерде сейсмикалық аймақтық бөлу жердегі қозғалыс параметрлерін өлшеу нәтижесінде жасалды. Оның ішінде PGA «жердегі ең жоғары үдеу» және спектрлік үдеу әдістері жиі қолданылады. Қазақстанда сейсмикалық қарқындылығы жоғары елді мекендерді «MSK-64(K)» қарқындылық параметрі бойынша аудандастырады.

Қазақстандағы сейсмикалық жобалауға арналған құқықтық норма тек детерминистік түрғыға негізделген. Ал PSHA «ықтималдық қауіптілігін бағалау» әдісін қолдану арқылы ғимараттар мен құрылыс кешендерін тиімді етіп орналастыруға болады. Бұл жер сілкінісі кезінде құрылыс кешендерін сақтандыруға басымдылық береді. Ықтималдылық картасында инженерлік және қайта сақтандыруда ықтималдылық әдіске басымдылық береді. Себебі ол сейсмикалық апат кезінде қауіптілікті азайтуға және оны басқаруда қолданылады.

Қазақстандық сейсмологтар және еліміздің бірқатар жоғарғы оқу орындарының мамандарымен бірлесіп PSHA «ықтималдық қауіптілігін бағалау» әдісі негізінде Алматы қаласының аумағындағы өңірлерде GSZ «жалпы сейсмикалық аудандастыру» және SMZ «сейсмикалық микроаймақтау» ықтималдық карталарын әзірледі.

Бұл 1: 2,500,000 масштаб мөлшеріндегі бес картаның жиынтығы ретінде жасалынды. Оған Қазақстандағы сейсмикалық-генеративті аймақтардың картасы, екі ықтималды макро сейсмикалық қарқындылықты көрсететін екі PSHA «ықтималдық қауіптілігін бағалау» картасы, қауіптілігі орташа мәндерді көрсететін геометриялық орташа PGA «жердегі ең жоғары үдеу» картасы тау жыныстары мен топырақтардың әсерін көрсетеді. Алматы қаласындағы SMZ «сейсмикалық микроаймақтау» нәтижелері бойынша ықтималдылық картасына «MSK-64(K)» және PGA-дан 50 жыл ішінде тіркелген 10% және 2% асатын ықтималдылықтар сонымен қатар басқада басқа карталар мен диаграммалар пакеті әзірленді. Осы алынған мақалада PGA-дағы ықтималдықтарды талдау және қауіптерді картаға түсіреді [\[20\]](#).

Қазақстанда ықтималдылықты талдау мен қауіптілікті бағалауда инженерлік параметр тұрысынан GSZ «жалпы сейсмикалық аудандастыру» және SMZ «сейсмикалық микроаймақтау» әдістерін пайдаланды. Ол үшін мәліметтер базасына жер сілкінісінің жаңартылған каталогтары, жер сілкінісі жиі қайталанып тұратын өңірлердегі соңғы 50 жылдағы жаңартылған картасы және деформация күйін анықтайтын теңдеулер мен өрнектер жүйесі кіреді. Осы теңдеулер арқылы PSHA есептеулер жүргізу үшін bgs «British Geological Survey» негізінде әзірлеген заманауи m3c бағдарламалық жасақтамасын қолданады. Қазақстанда қолданылатын детерминистік тәсілдің кемшілігі өңірде тіркелген ең үлкен сейсмикалық тербеліс сол учаскедегі ең үлкен тербелістер

жиі болатын нүкте арқылы есептелініп белгісіз тіркелген тербелістер ескерілмейді. Ал ықтималды бағалаудың артықшылығы барлық ықтималды шамадағы жер сілкіністері тіркеліп оның таралу нүктесі бағдарламалық есептеулер арқылы анықталынады. Ықтималды бағалауда сейсмикалық ошақтардың альтернативті модельдері, түрлі зерттеулер мен болжамдар арқылы жер сілкінісінің қайталану уақыты, теңдеулер мен бағдарламалық жасақтамалар арқылы түсініксіз жайттарды анықтауға мүмкіндік береді. Кез-келген жер сілкінісі сейсмикалық станцияларда белгілі бір уақыт аралығында алынады. Белгілі бір участкадегі жер сілкінісі қуаты өз мөлшерінен асып кететін болса нүктелер торы жағдайында кеңістіктік үлестіру арқылы қауіптілік қисығы деп аталатын карта алынады. PSHA әдісі төрт кезең арқылы алынуы мүмкін:

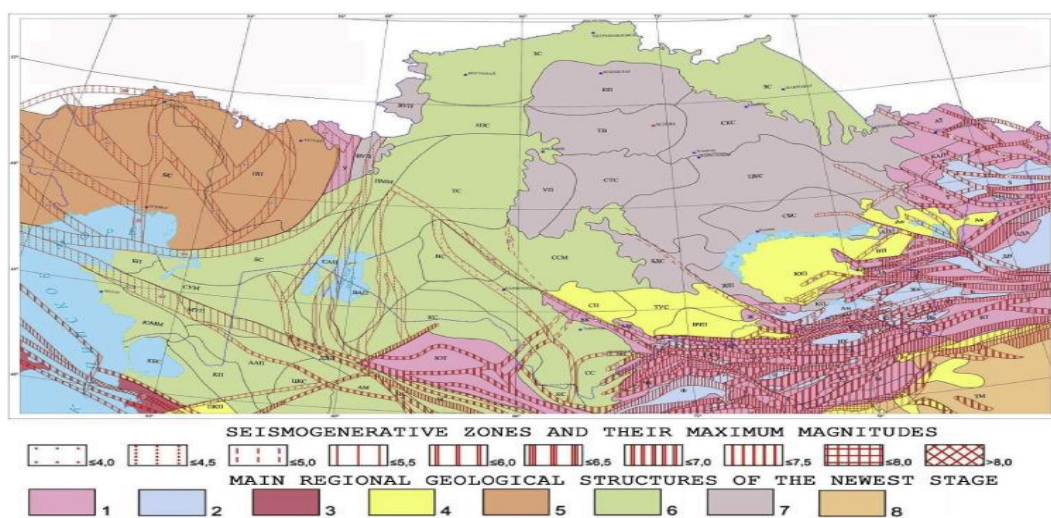
- Жер сілкінісінің ықтималды пайда болу орнын анықтау және сипаттау. Яғни сол жердегі жер сілкінісінің пайда болу себебі, қайталану мерзімі мен болуы мүмкін күштілігі;

- Бастапқыда анықталған жер сілкінісіні ошағының, сол нүктеге жақын аймақтарда күтілуі мүмкін жер сілкіністерінің жылдық мөлшерін шамалап есептеу;

- Сол учаскедегі жақын аймақтарда болған жер сілкіністерінің санын есептеу;

- Белгілі бір уақыт аралығында жер қозғалысының асып кету ықтималдығын бағалау.

Қазақстан аумағындағы геологиялық, геофизикалық, тектоникалық мәліметтерді жинау арқылы аумақтық сейсмикалық картасы жасалынып шықты. Онда аймақтардың орналасу орнына байланысты сейсмологиялық қауіптілігі жоғары аймақтар іріктелініп алынды. Қазақстанның сейсмогенеративті аймақтарының және оған іргелес аумақтардың картасы суретте көрсетілген.



2.9-сурет – Қазақстанның аумақтық сейсмикалық картасы

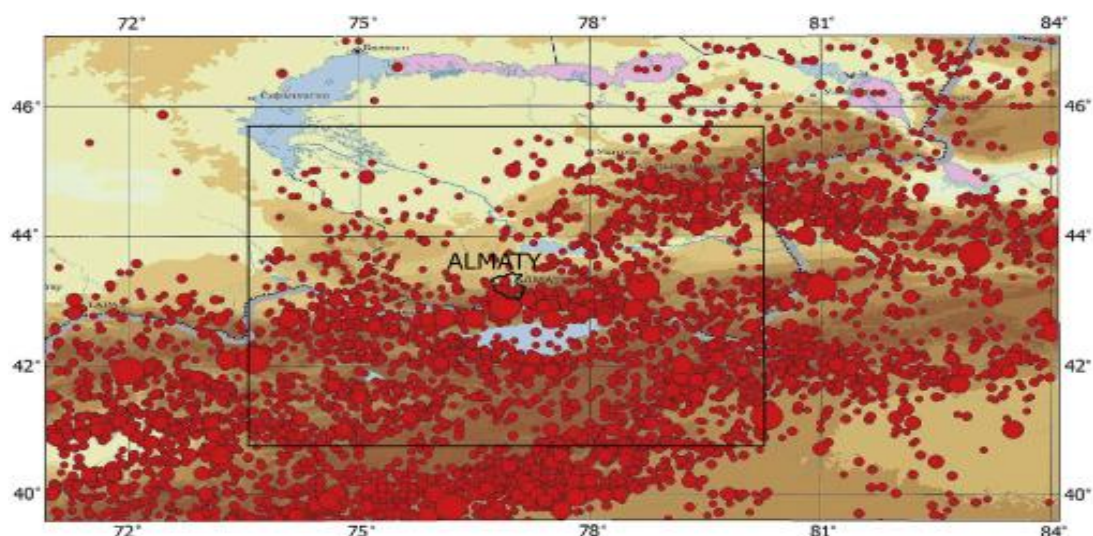
Сейсмогендік аймақтар тектоникалық платформалардың шекаралары мен таулы аймақтардың орналасу орны бойыша бағаланады. Сейсмогендік аймақтар картада дәлірек нақтыланғаннан кейін сейсмикалық қауіптілігі төмен аумақтарға талшықты оптикалық зондтау құрылғысы арқылы алыс қашықтықтан деректер алынып қосымша сейсмикалық қауіптілігі төмен аймақтар белгіленіледі. Сейсмикалық көздегі аймақтардың қауіптілігі бірдей болып келеді. Қазақстанда жалпы 250 км құрайтын жалпы 94 аймақ бар. Әрбір аймақ магнитудалық-жиіліктік сипаттамалары, максималды шамасы, ықтимал тереңдігі және жарылыстың күтілетін бағыты сияқты параметрлерді қолданады. Қазақстанда GSZ «жалпы сейсмикалық аудандастыру» өте үлкен аймақты қамтитындықтан, оның бастапқы моделі жеңілдетіліп содан соң әрбір аймақтағы таралуы мәні емес, тіркелген өлшемнің максималды шамасы алынады. Аламаты қаласының өзінде 35 егжей-тегжейлі зерттелген сейсмикалық көздер бар. Егер сол сейсмикалық көздерден тіркелген жер сілкінісінің потенциалы анықталмаған жағдайда оны екі түрлі ықтималдылық арқылы анықтауға болады. Әрбір сейсмикалық көздің ішіндегі жылдық жер сілкіністер санын Гутенберг - Рихтер теңдеуіндегі a және b мәндері арқылы анықталынады.

Қазақстанда көп бөлігі сейсмотектоникалық аймақта орналасқандықтан түрлі критерилерді негізіндегі Gmpe «жер қозғалысын болжау теңдеулері» жиынтығын пайдаланады. Кез-келген бегісіз жер сілкінісінің магнитудасы мен қашықтығын тәуелсіз модельдеу жүгізу үшін қолда бар жергілікті деректер жеткіліксіз. Сол себепті GMPEs-тің алдын-ала іріктеудің негізгі критерийі қолданылады. Онда тіркелген жер сілкінісінің модельінің сенімділігі, барлық қашықтықтағы шамалар мен диапазондарың жарамдылығы және қазіргі уақытта қолданылатын барлық халықаралық модельдер қолданылады. Сонымен қатар жаһандық жер сілкінісі жағдайында жергілікті деректер емес, халықаралық деректер жиынтығынан алынған модельдерге артықшылық беріледі. Gmpe алу әдістерінде функционалды формаға қажетті сипаттамаларының болуына назар аударады. Мысалы оның қанықтылығы, шамаға тәуелді қашықтығы және серпімді емес әлсіреудің әсерін имитациялайтын терминдерге артықшылық беріледі. Гноселогиялық белгісіздікті анықтау үшін көптеген пакеттік деректер арқылы тенденциялық үлгілерді пайдаланады.

Алматы қаласының сейсмикалық қауіптілігін бағалау 8 Еурокодының ережелік әдісіне сүйенеді. Оның артықшылығы қауіптілікті бағалау макросейсмикалық қарқындылық тұрғысымен қатар инженерлік параметрлерді қолдануында. Қауіптілікті бағалау кезінде деректер базасына керекті мәліметтер қоры енгізіледі. Келген деректерді есептеу үшін Монте-Карло әдісін қолданады. Ол Карнело әдісінің нәтижесімен бірдей мән береді.

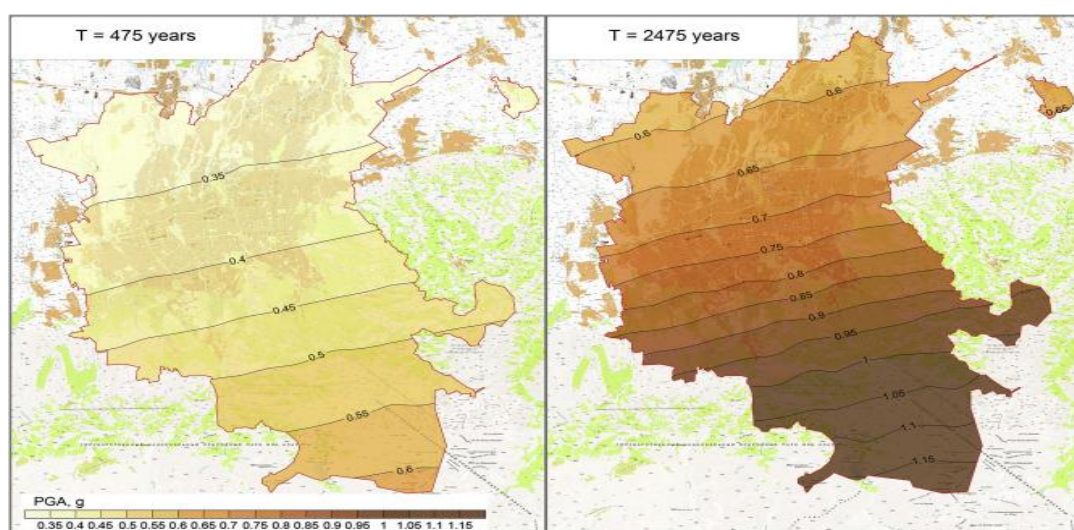
Жоғарыда қарастырылып өткен PSHA «ықтималдық қауіптілігін бағалау» процедурасының Алматы қаласының сейсмикалық қауіптілігін бақылауда қолданылды. PGA-да «жердегі ең жоғары үдеу» асып кетудің екі ықтималдығы 50 жылда 10% (қайтару мерзімі 475 жылға сәйкес келеді) және 50 жылда 2% (немесе қайтару мерзімі 2475 жыл). Есептеулер бойынша тау жыныстарының

сейсикалық қаттылығы $R = 2000 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ және $V_{s30} = 800 \text{ м}/\text{с}$, $\rho = 2,5 \text{ т}/\text{м}^3$ болатын ескере отырып карта салынды.



2.10-сурет – Зерттелетін аумақ пен сейсикалықты көрсететін оңтүстік-шығыс Қазақстан картасы ($4 \geq M_{\text{вт}} \geq 8$, Б.з. д. 250 жылдан 2018 жылға дейін).

Келесі суретте байқағанымыздай PGA деңгейі бойынша қайтару мерзімі 475 және 2475 жылдар аралығындағы Алматы қаласындағы тіркелген жер сілкіністері салыстырылған. Қайтару мерзімі 475 жылы қаланың оңтүстік-шығыс-шекарасында $0,31g$ тіркелінсе, ал қаланың таулы бөлігінде $0,62 g$ -ға дейін біркелкі өсті. Қаланың ең көп салынған бөлігі $0,32-0,45 g$ аралығында контурмен көрсетілген. 2475 жылы 475 жылмен салыстырғанда жер сілкінісінің қауіптілігінің жоғарылағанын көруімізге болады. Қаланың ең көп салынған бөлігі $0,6-0,9 g$ контурлар шегінде көрсетілген.



2.11-сурет – Алматы қаласының сейсикалық қауіптілігінің фондық картасы

Америка және басқада батыс елдерінде сейсмикалық аудандастыру аспаптық параметрлерде және құрылыс инженерлерінің көмегімен жүргізіледі. Алғашында посткеңестік мемлекеттерде макросейсмикалық қарқындылық негізгі шығыс параметрлері ретінде қоданылды. Оған дәлел макросейсмикалық қарқындылықты PGA, спектрлік үдеу сияқты параметрлерге түрлендіру арқылы құрылыс саласында қолданды. Фондық сейсмикалық қауіптілік пен микрозонациялық карта жұмыстарында «MSK-64(K)» шкаласы қолданылынады. Оның кемшілігі қарқындылық көрсеткіштері мен үдеу арасындағы байланысты қате көрсетілуінде. Ең алғаш рет Ресейде осы шкаладағы кемшіліктерді ескере отырып жанадан жетілдірілген шкала жасалынып шығарылды. Қазіргі таңда Ресейде сейсмикалық соққы мен кеңістікте үздіксіз таралатын топырақ массивінің параметрлерін алатын жаңа құрылғы әзірленіп, құрылыс саласына осы әдісті енгізуде.

Алматының микрозонациясын PGA-дағы макросейсмикалық қарқындылық тұрғысынан бағалау қарқындылықты жанама емес тікелей өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеуде Алешиннің микрозонацияның үздіксіз теориясына негізделген әдісі қолданылады.

Сайт әсерлерін PSHA-ға біріктіру сейсмикалық қауіптілік жағдайында көрсетілген қыйындықтар тудырып отыр. Сайттың жауабын PSHA-ға енгізуде гибриді (ықтималдық-детерминистік) тәсілдердің бірнеше түрлері ұсынылады. Алматы микроаймағын құруда гибридік тәсілді қолданылады. Тау жыныстарынан алынған PSHA жиілікке тәуелді топырақ коэффициентіне көбейтілді ($v_{S_{30}}$ функциясы және топырақ тығыздығы). Топырақ факторларының сейсмикалық қаттылық R ($v_{S_{30}}$ көбейтіндісі және топырақ тығыздығы ρ_{30}) топырақ қасиеттерінің сейсмикалық параметрлерін алып компьютерлік модельдеу арқылы алынады. Жоғары жиілік диапазоны үшін алынған топырақ факторларының мәні Американдық BC мәндеріне жақын. Мұнда сейсмикалық әсер, топырақтың қасиеттері кесте түрінде алынып, топырақ категориялары бойынша бөлінеді. Алешиннің формасында фондық әсер ету деңгейі үздіксіз үдеу мәнімен арқылы түсіндіріледі. Мұндай сипаттамалар АҚШ пен Ресей стандарттарында қолданылады. Осы бойынша кез келген топырақтан алынған мән $v_{S_{30}}$ түрінде көрсетілген топырақтың қасиеттеріне тәуелді екенін көрсетеді.

Алешиннің тәсілі бойынша жер сілкінісі кезінде алынатын мәндер топырақтың қаттылығын ескере отырып анықталынатынын дәлелдейді.

$$\log Fa = -0.4 \log R + 1.32 \quad (2.13)$$

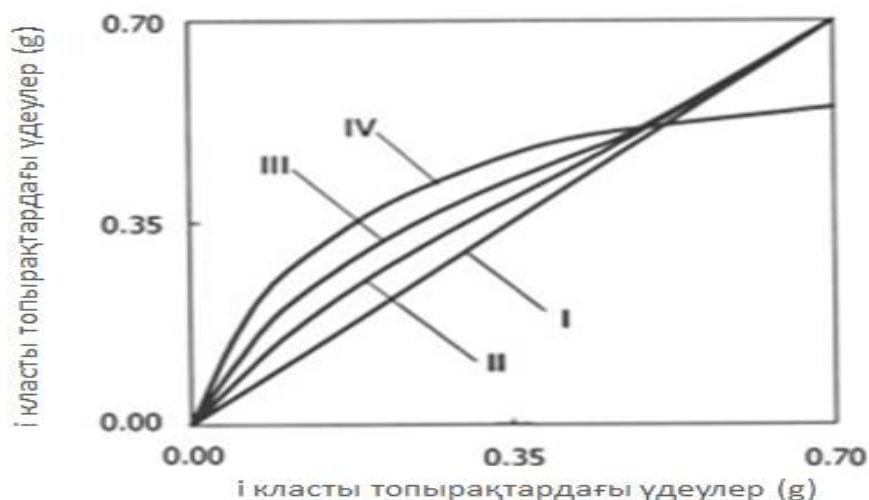
$$\log Fv = -0.6 \log R + 2 \quad (2.14)$$

Бір-біріне тең мультипликативті учаске коэффициенті сейсмикалық қаттылығы $2000 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ тең. Мұндай тәсілдің артықшылығы қарқындылықты PGA кері түрлендірусіз топырақ топырақ параметрлерін геотехникалық және

геофизикалық аспаптардың көмегімен зерттеу жұмыстарын жүргізу арқылы тікелей есептеуге мүмкіндік береді. 1-кестеде келтірілген коэффициенттерді қолдану арқылы сызықтық емес мінез-құлық диаграммасы алынады. Алынған мәндер бойынша борпылдақ топырақ үшін PGA деңгейін төмендететінін, қаттылығы $v_{S30} < 270$ м/с топырақтарда қолданылатыны ескеріледі. Топырақ қаттылығының деградациясының сәйкес ең жоғары үдеу мәндеріне әсерінің диаграммасы 2.12-суретте көрсетілген [19].

Кесте 1 – Сызықтық емес мінез-құлықты есепке алу коэффициенттері

| Сейсмикалық қаттылық $\tau/(m^2 \cdot c)$ | Тау жыныстарының жай-күйі үшін бастапқы сейсмикалық үдеу (g) ($V_{s30} = 800$ м/с) | | | | |
|---|---|-----|------|------|------|
| | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 |
| 200 | 1 | 0.7 | 0.5 | 0.45 | 0.4 |
| 600 | 1 | 0.9 | 0.75 | 0.7 | 0.6 |
| 1300 | 1 | 1 | 0.9 | 0.85 | 0.8 |
| 2000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

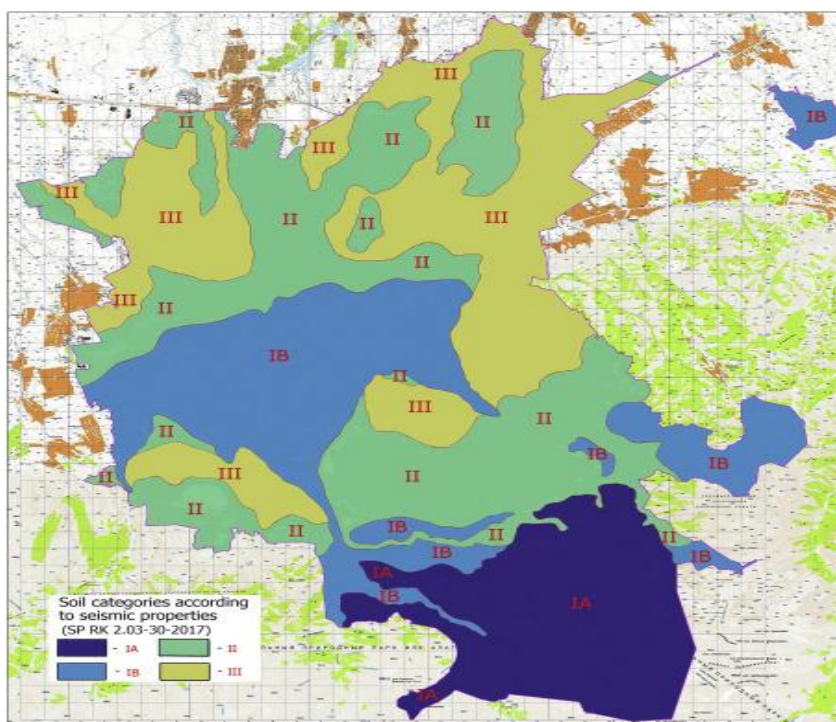


2.12-сурет – Топырақтың қаттылығының ең жоғары үдеулерге әсері (өзгертілген). I-тас, II – қатты топырақ, III – "орташа топырақ", IV-жұмсақ топырақ.

Алматы қаласы Іле Алатаулы таулы бөліктерінде орналасқандықтан Орталық Аяйдағы жер сілкінісі жиі орын алатын аймақтар қатарына кіреді. Алматы бассейні палеоген-неоген және төрттік дәуірдегі шоғырланбаған шөгінділер кешенінен қамтиды. Алматы маңында тереңдігі 4 км жететін палеозой дәуірінен қалған жер төселер кездеседі. Қазмииз және ИГИ Алматы маңындағы аудандарда геологиялық-геофизикалық зерттеулер жүргізді. Онда жаңа бұрғылау әдісі қолданылып сол зерттелген аудандардың жылдамдық құрылымын алу үшін геофизикалық профильдермен және тектоникалық жарылыстарды картаға түсіріп толықтырды. Зерттеу жұмысында сейсмикалық

сыну маркшейдерлік іс, тік электрлік дыбыс (қарсылық) және жерге енетін радиолокация сынды бірқатар әдістер қолданылды.

Аумақты 1:25000 масштабындағы картаға түсіру үшін 1км²-ге 3-4 ұңғыма бұрғыланылды. Барлығы 626 мұрағаттық ұңғыма пайдаланылып, зерттеу жұмыстарына тағы 68 жаңа ұңғыма қазылды. Алынған нәтижелерде аймақтың литологиялық құрамы мен топырақ қабаттарының қалыңдығын ескере отырып "субаймақтарға" жіктеледі. Сол арқылы топырақ жағдайын типтері бойынша қаланың геотехникалық аудандастыру картасы жасалды.



2.13-сурет – Геотехникалық зерттеулер мен сейсмикалық дыбыстар негізінде сейсмикалық қасиеттері бойынша топырақ категорияларының картасы

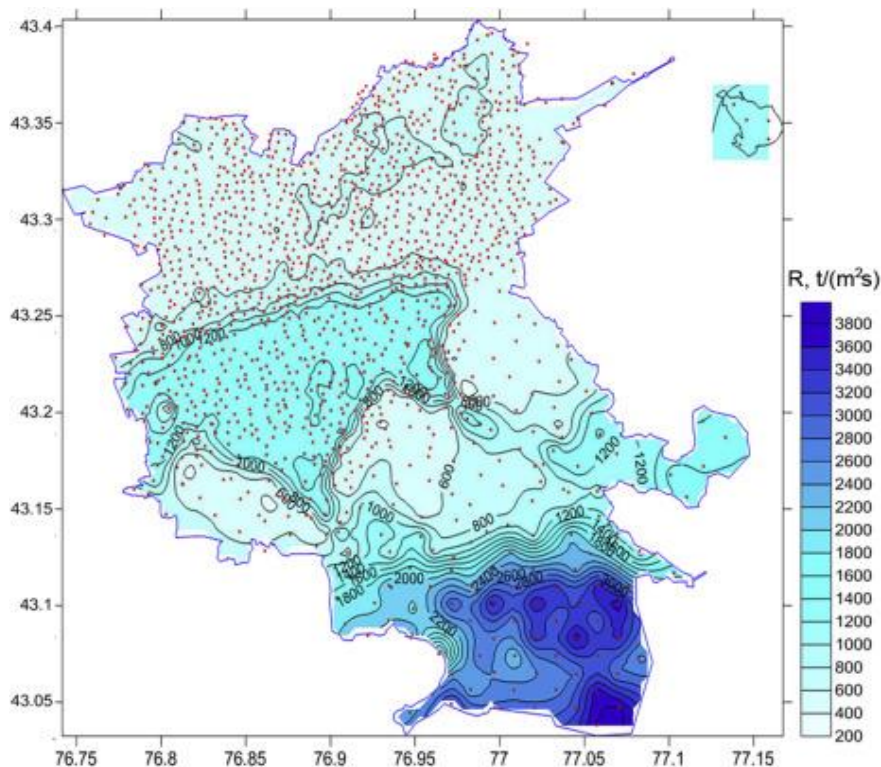
Алматы қаласы үшін сейсмикалық қаттылықты анықтау 1451 аймақтан алынан 30м биіктіктегі ығысу толқындарының орташа жылдамдығы мен тығыздығын қолданады. Сейсмикалық қаттылықты анықтау орташа V_{s30} және P_{s30} келесі қатынастарды қолдану арқылы шешіледі:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (2.14)$$

$$P_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{p_i}} \quad (2.15)$$

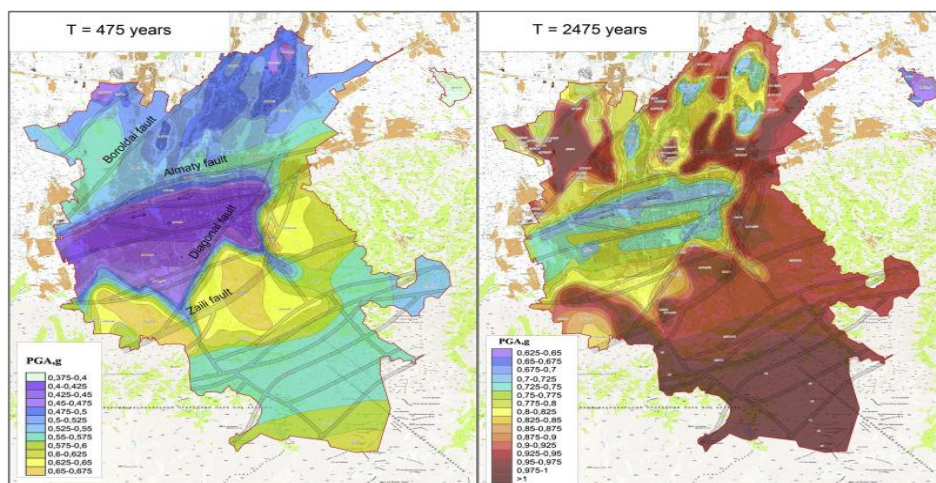
h_i , v_i және p_i - топырақ қабатының тереңдігі (метрмен), ығысу толқынының жылдамдығы және тығыздығы i . N-30 м топырақ массивіндегі қабаттардың

жалпы саны. Алынған қаттылық мәндерінің ареалды таралуы 2.14-суретте көрсетілген.



2.14-сурет – V_{s30} және тығыздық деректерінен анықталған сейсмикалық қаттылықты бағалау.

Топырақ жағдайында жер сілкінісінің спектріне топырақ коэффициенттерінің өзгерісін ескеруіміз керек. Мұнда топырақ коэффициентінің γ_n сейсмикалық қаттылыққа γ тәуелділігі сызықтық тәуелділік формуласы бойынша есептеледі. Қатты топырақ үшін $V_{s30} \geq 270$ м/с жоғары фондық үдеу кезінде сызықтық емес коэффициент, ал борпылдақ топырақ кезінде ($V_{s30} < 270$ м/с) γ_{pa} ұсынысына сәйкес максималды мәні 0,675 γ -нан аспайды. Деректерді контурлау үшін зондтау аймақтарына критинг әдісі қолданылады. Айта кететін жайт сайттар біркелкі жіктелмегендіктен, интерполяция әдісі бұрмаланулар тудыруы мүмкін. Мұндай карталар парактикада қолдану кезінде алдын ала топырақ категория картасына карап түзетулер жүргізіледі. Суреттегі көрсетілген соңғы карта бойынша 6 γ -мен өлшенген PGA қолданылады. Мұнда контуралар 0,025 γ аралығында салынған, интервалдардағы ішіндегі мәндер әркелкі өседі.



2.15-сурет – Алматы қаласы бойынша сейсмикалық микроаймақтандыру карталары

3 Жер сілкінісін ерте ескерту жүйелерін жобалау

3.1 DXL335 акселометріне шолу

Жер сілкінісі туралы алдын ала ескерту талшықты оптикалық сенсорлық желілерде дабыл немесе мәтіндік хабарлама арқылы беріледі. Сенсорлық жүйелерден алынған ақпарат халыққа неғұрлым ерте жіберілсе, соғұрлым қауіпсіздік шаралары жасалады. ІС технологиясының дамуының нәтижесінде қазіргі микроконтроллерде ішкі жад блоктары, аккумулятор, ALU, жедел жады, енгізу-шығару порттары және басқа компоненттерден деректерді оқу, өңдеу және жазу құралы ретінде пакетті қолдайтын үзіліс порттары орнатылған. Сол себепті сенсорлық жүйелерде көптеген қызмет түрлерін орындайтын микроконтроллерге артықшылық беріледі. Жер сілкінісі кезінде үлкен сұранысқа ие құрылғылардың бірі Arduino микроконтроллері және акселометр құрылғысы.

Акселометрдің бағыттағы қозғалысты анықтау түрі бойынша бойынша үш түрге бөлінеді. Сәйкесінше объектінің бір бағыттағы қозғалысын анықтауға арналған бір осьті үдеу, объектінің 2 бағыттағы қозғалысын анықтауға арналған 2 осьті үдеу және 3 бағыттағы қозғалысты анықтауға арналған 3 осьті үдеу акселометрлері қолданылады. Акселометрдің ішіндегі кең таралған модельдің бірі ADXL-3,3 вольтты аналогтық кірісі бар 3 осьті акселерометр сенсоры. ADXL акселометрінің өзі бірнеше серияға бөлінеді. Соның ішінде ADXL330, ADXL335 және ADXL345 акселометрлері жоғары сезімталдылыққа ие. Акселометрдің (x, y, z) осьтері бойынша әр қайсысы $\pm 3g$ сезімталдылықты құрайды. Сол арқылы статикалық және динамикалық үдеуді, объектінің қозғалысын, соқтығысулар мен тербелістерді өлшеуге болады.

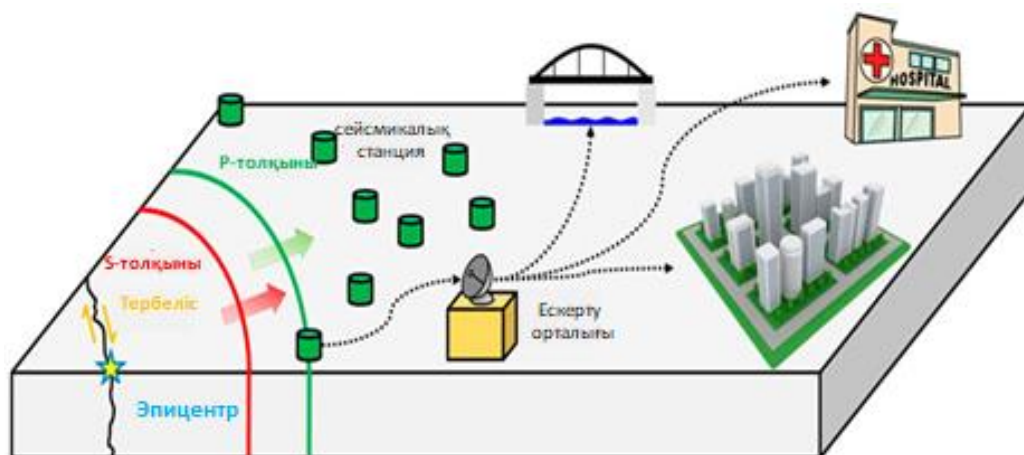
ADXL335 акселерометрін қолдану арқылы жер сілкінісін алдын ала анықтауға болады. Аталған жүйе мынандай міндеттерді қамтиды. Олар мынадай қадамдардан тұрады:

- ADXL335 акселерометрі бойынша алдын-ал ескерту жүйесін қалай жобалау керектігі;
- пайда болған діріл көрсеткішінің анықтамасын алу үшін акселометр арқылы калибрлеу жұмысын жүргізу;
- алынған деректерді байланыс құралдары бойынша сенсордан клиентке және клиенттен серверге жіберу жолдары;
- серверге деректер жіберілген кезде пайда болған жоғалтулар мен қателерді анықтау жолдары.
- Жер сілкінісі туралы ерте ескертуді жариялау жолдары [\[21\]](#).

3.2 Жер сілкінісі туралы ерте ескерту жүйесі

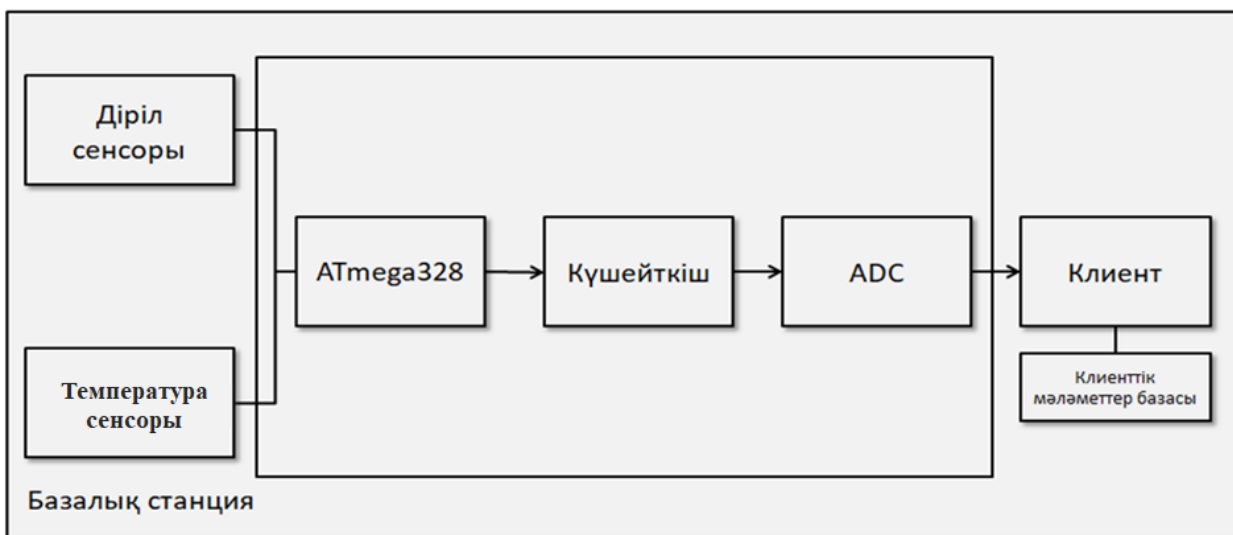
Ерте ескерту жүйесі дегеніміз-табиғатта күтілуі мүмкін апаттарды халыққа түрлі заманауи құрал жабдықтар мен бағдарламалық әдістердің

көмгегімен анықтау арқылы алдын ала ескерту. Ерте ескерту жүйелері арқылы халыққа табиғатта болып жатқан ахуал алдын ала ескертіліп, адамдар мен құрылымдарды өмірін қауіпсіз етеуге кепілдік береді. Қазіргі таңда алдын ала ескерту туралы ақпарат екі түрлі жолмен алынады. Бірінші тәсіл апатқа дейінгі құбылыстарды енгізу арқылы жүргізілсе. Екінші тәсіл заманауи құрылғылар мен спутниктер арқылы мезгіл-мезгіл сейсмологиялық белсенділікті бақылау арқылы жүзеге асырылады [22].



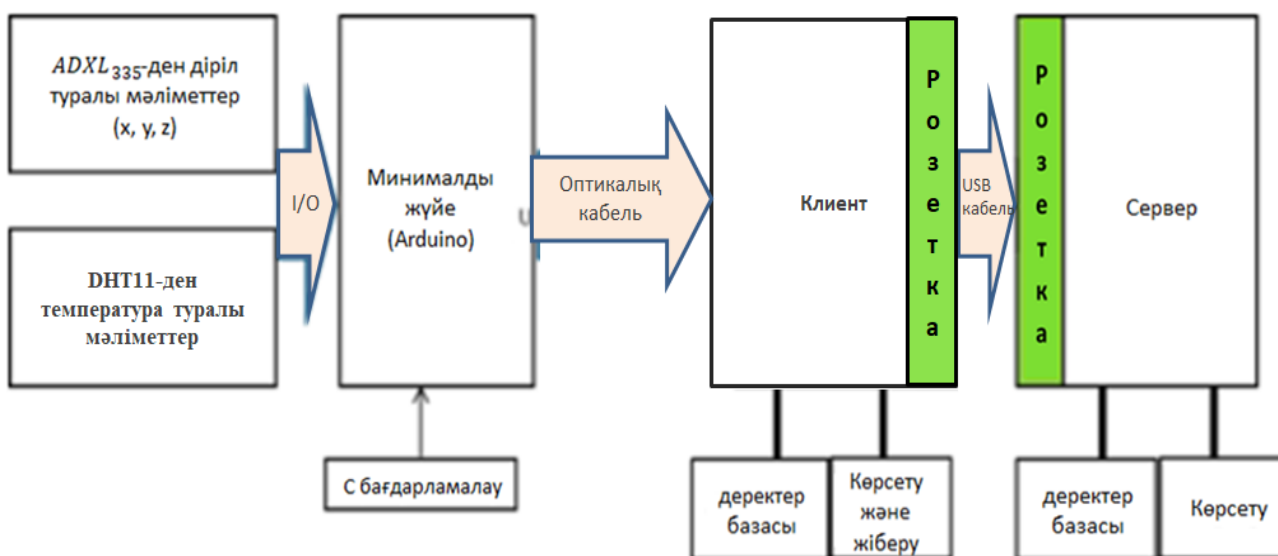
3.1-сурет – Жер сілкінісі туралы ерте ескерту жүйесінің техникалық принциптері

Жер сілкінісі туралы алдын ала ескерту жүйесінің дизайны екі бөліктен тұрады. Оларға: базалық станция мен серверді жатқызамыз. Екі бөліктен де алынған деректерді куәландыратын құжаттамасы болады және екі бөлікке де деректерді бақылауға және өңдеуге рұқсат берілген. Атап айтқанда пайдаланушы серверге келген деректердің дұрыстығын тексеруге толық құқығы бар. Бақылау станциялары жер сілкінісіне жақын орналасады және екі бөліктен тұрады. Оларға мыналар жатады: сейсмикалық датчиктер мен Arduino микроконтроллері, ADXL335 діріл сенсоры ретінде 3 осьте дірілді анықтайды, DHT11 позиция сенсоры бойынша температура мен ылғалдылық параметрлерін анықтайды және оны NMEA 0183 стандарты арқылы түрлендіреді. Осы аталған барлық элементтер енгізу/шығару түйреуіштері арқылы байланыстырылады. Arduino-да 32 КБ ATmega328 микроконтроллерімен, блок күшейткішімен және деректерді күшейту және түрлендіру үшін ADC-мен бағдарламалық құрылғысымен жабдықталған. Дерекқордағы барлық деректер мен сенсордан алынған барлық деректер Arduino микроконтроллері жадысында сақталады.



3.2-сурет – Базалық станцияның дизайны

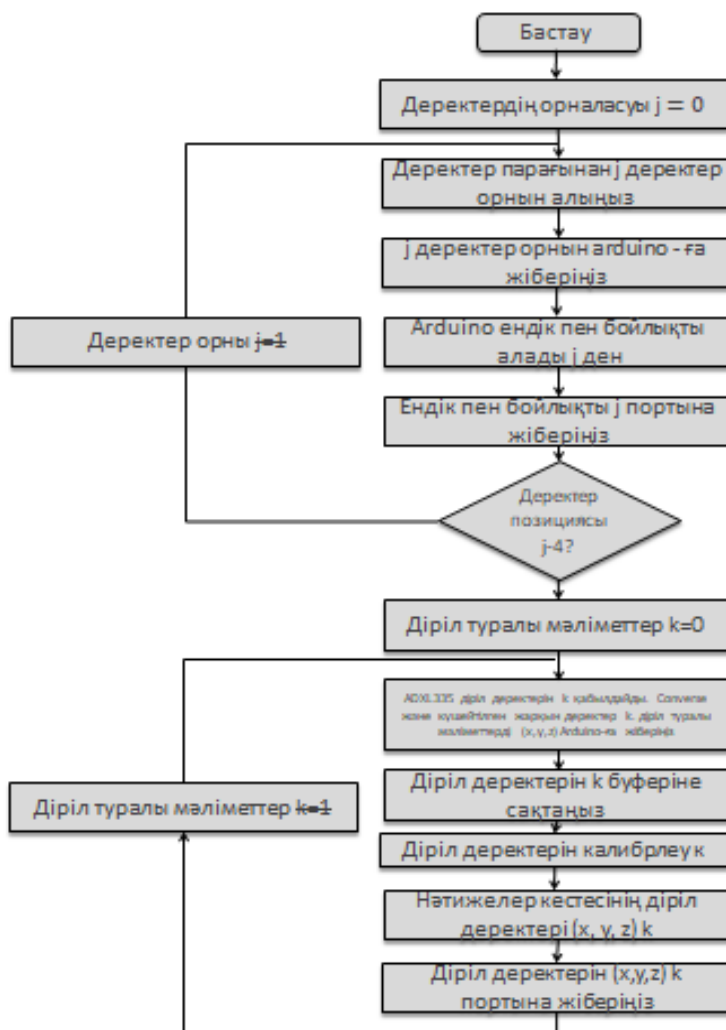
Клиент серверге еш кедергісіз USB кабелі арқылы қосылады. Әдетте серверлер, сейсмикамен айналысатын бөлімдер, үкімет ғимараттарының қасында орналастырылады. Сондай-ақ серверлерде базалық станциядан алынған барлық деректері дерекқор жүйесінде сақталады. Сенсорлық жүйенің толық дизайны 3-Суретте көрсетілген.



3.3-сурет – Жер сілкінісі сенсорының толық дизайны

Жер сілкінісін анықтайтын сенсорлық жүйерді жобалау аппараттық және бағдарламалық жасақтамадан тұрады. Ақпараттық дизайнның міндеті Ардуиноны клиентпен, сенсордан ардиноға және клиенттен серверге байланыстыру. Ал бағдарламалық жасақтама болса Байланыс деректерінің датчиктерін (ADXL335, DHT11) Arduino-ға, Arduino-ны клиентке және түйінді серверге қосуды қамтиды. Сенсордан екі деректер алынады, атап айтатын

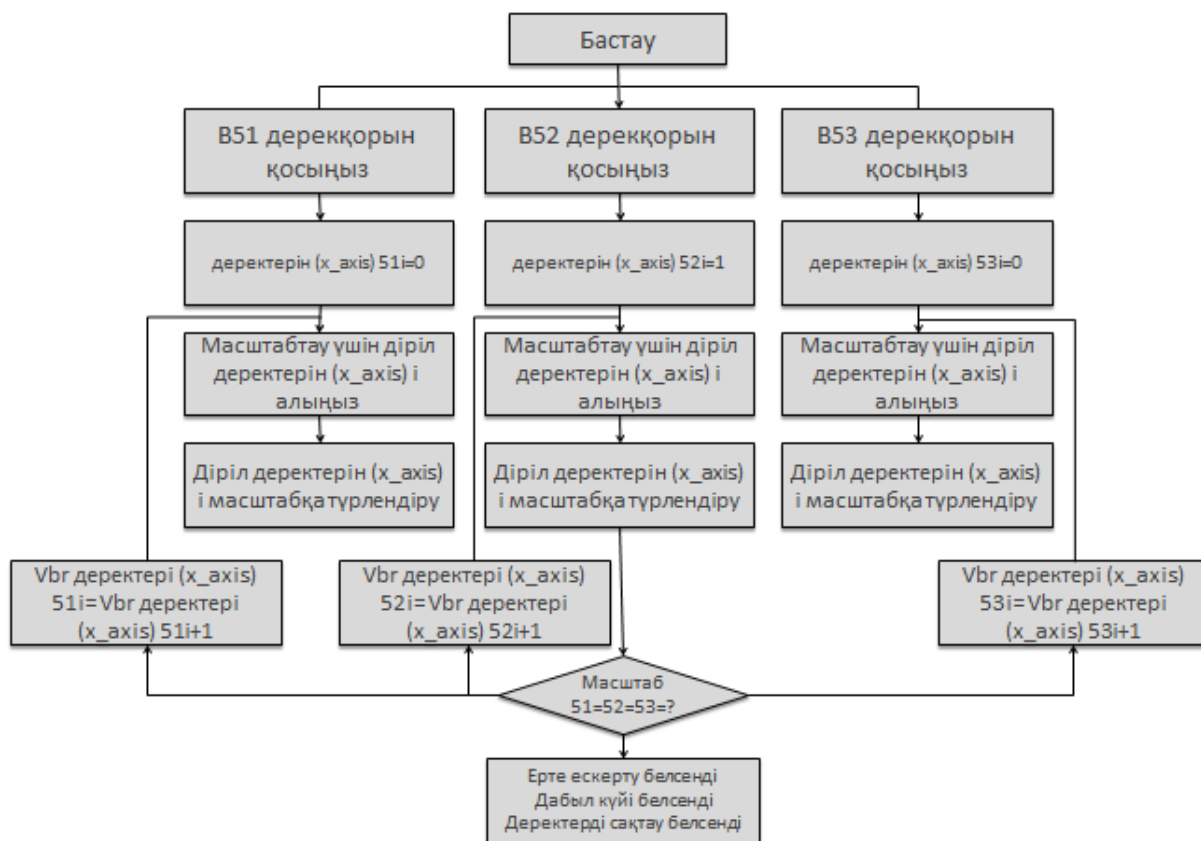
болсақ DHT11 позициялық деректер және ADXL335 діріл деректері (x,y,z). Бірінші сенсордан позициялық деректер қабылданып портқа енгізіледі. Содан соң Arduino діріл деректерін (x, y, z) қабылдайды және калибрлеу үшін буферде сақтайды. Arduino буферде сақталған деректерді zero_G және масштаб мәндерімен калибрлейді. Zero_G дегеніміз сенсор қозғалмайтын күйде болған кезде осьтің мәні, ал масштаб - әр осьтің өзгеруінің орташа мәні. Есептеулер негізінде zero_G мәні әр ось үшін 384, 383 және 473, ал масштаб 102,3 құрайды. X, y, z кернеуін және Үдеуін (A)10,11 генерациялау үшін қолданылатын бір векторлық формула [23].



3.4-сурет – Arduino-ға байланыс сенсоры

Есептеулер кезінде дірі анықталынбаса ADXL335 x осі, y осі және z осі бойынша кернеу 0,000, 0,000, 0,000 мәнін көрсетеді және үдеудің мәні 0 ге тең болады. Тиісінше Vx_axis, Vy_axis және Vz_axis мәндері диаграммада қолданылады. Vy_axis мәні жер сілкінісі өзгерітері кезінде масштабты анықтау үшін пайдаланылады. Діріл болмаған жағдайда 3 осьті кернеу мәні калибрлеу мәнінде тұрақтанады. Бірақ триггерді беру кезінде кернеу мәні өзгереді.

Жоғалған немесе қате деректерді өңдеу екі фазада жүзеге асырылады: анықтау және түзету қатесі. Анықтау фазасында діріл деректері алынып, оны акселометрден алынған түпнұсқа деректерімен салыстырады. Егер салыстыру кезінде алынған деректер дұрыс болса, интернеттен шынайы күй алынады. Егер деретерің бір бөлігі бос болса, жоғалту деректерінің күйі пайда болады. Түзету кезеңі клиенттен дұрыс ақпаратты қайта жіберуді талап ету арқылы жүзеге асырылады.



3.5-сурет – Жер сілкінісі туралы ерте ескерту жүйесінің құрылымы

3.5-суретте ерте ескерту күйін анықтау көрсетілген. Серверге әртүрлі орындардағы 3 сенсордан 3 діріл мәні қажет. Әрбір сенсор діріл деректерін (x осі, y осі, z осі) дерекқорға жібереді және сервер бірінші діріл деректерін белгілі бір шкала ауқымында тексереді және сәйкестендіреді. Егер барлық сенсорлар бірдей масштабты берсе, сервер жер сілкінісі туралы алдын ала ескертуді жариялайды және дабылды іске қосады. Бұл әдіс жалған сигналдарды болдырмау үшін қолданылады [24].

3.3 Arduino микронтролері арқылы жер сілкінісін анықтау жүйелерін әзірлеу

Біз бұл жұмыста акселерометр және Arduino Uno тақтасы көмегімен жер сілкінісі кезінде адамдар мен ғимараттардың тұтастығын қамтамасыз ету және оның алдын алу шараларын қарастыратын боламыз. Акселерометр-үдеуді өлшеуге арналған құрал. Акселерометрдің көмегімен, үдеуді өлшейтін датчиктер арқылы сейсмикалық толқындар мен жиіліктерді, жер сілкінісі нәтижесінде пайда болатын тербелістерді анықтауға болады. Акселерометрді құрылымдық денсаулық мониторингімен (SHM) қолдану арқылы деректерді талдау жер сілкінісінің орны мен шамасын анықтауға болады. Мысалы мына мақалада IOT және GSM технологиясымен әр түрлі аналогты және сандық деректерді өңдеу және түрлендіру әдістерін пайдаланып SHM жүйесіне біріктірілген. Бұл зерттеулерде толқын пішінін түрлендіру, жылдам Фурье түрлендіруі, Кальман сүзгісі мен Заттар Интернеті (IoT) және машиналық оқыту сияқты әртүрлі технологияларды пайдалану нәтижесінде деректерді өңдеудің бірнеше әдістерін пайдаланады. Бұл мақаланың артықшылығы жер сілкінісі кезінде микроэлектромеханикалық жүйелерге (MEMS) негізделген сенсорлар мен талшықты оптикалық кабельдің көмегімен энергия ресурстарын үнемдеу және есептеу ресурстарын уақыт бойынша оңтайландыру мен өңдеу болып табылады. Менің жұмысымда талшықты оптикалық кабель арқылы арқылы жер сілкінісін анықтайтын және жер сілкінісін адын ала ескерту құрылғыларын (дабыл жүйесі және ұялы ескерту хабарламалары) пайдаланып Arduino Uno және басқада микропроцессорлардың көмегімен біртұтас құрылғы жасау.

Жобының құрылымдық сұлбасына тоқталатын болсақ, ADXL3353 осьтік Акселерометрі мен DTH11 датчигі сәйкесінше деформация, температура мен ылғалдылық мәндерін қабылдайды. Бақылау датчиктері алынған ақпаратты микротолқындар ретінде орталық құрылғыға тасымалдайды. Орталық құрылғыға келген аналогты сигналдар сандық түрге түрленіп деректер өңделеді.

Жұмыс барысында датчиктерден алынған деректерді тарату және қабылдау үшін екі Arduino тақтасы қолданылады. Таратушы бөлікте бақылау сенсорларынан деректер қабылданып, аналогты сигналдар сандық түрге түрленіп өңделсе, қабылдаушы бөлігінде алынған деректер серверде, алынған деректер мен параметрлері көрсетіліп сақталады. Жоғарыда қарастырылып өткендей SHM жүйесінде бақылау сенсорлар желісімен біріктіру арқылы алдын-ала ескерту дабыл жүйелерін қосып, мониторинг арқылы жер сілкінісінің күшін бақылайды.

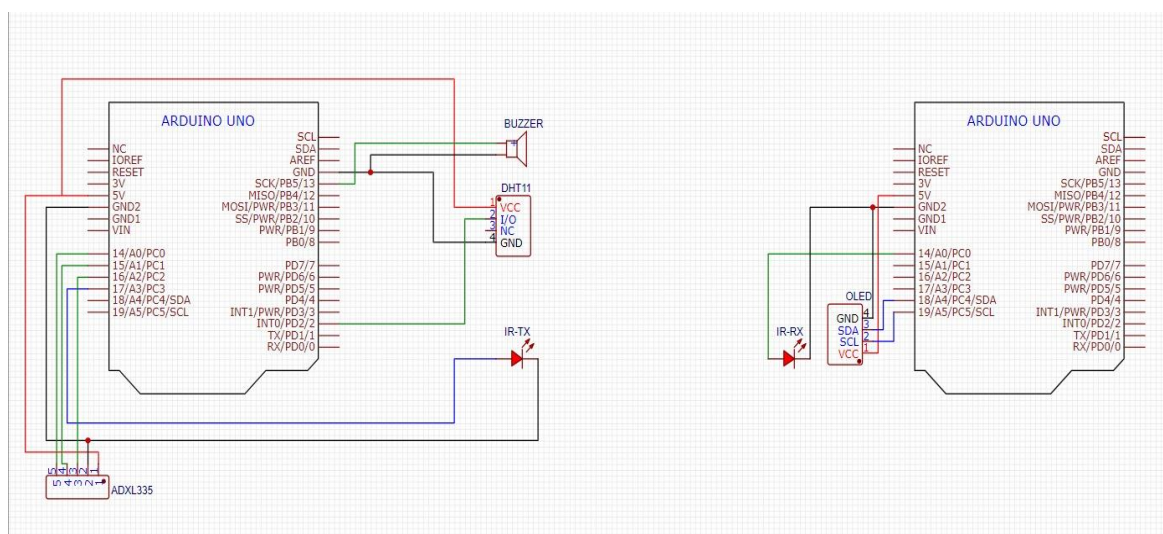
Arduino микроконтроллерін оптикалық талшықпен байланыстыру алыс қашықтыққа сигналдардың сапасын төмендетпей жылдамдығын азайтпай тасымалдайды.

Оптикалық талшықты Arduino микроконтроллерімен тікелей жалғау мүмкін емес. Себебі таратқыш арқылы 1,5 вольт кезінде 15 мА токты көрсетеді.

Егерде тартқыштан қабылдағышқа 1,7 В кернеу берілсе , оған 60 мА қажет. Сонымен, 1,5 вольт пен 1,7 вольт арасында 0,2 вольт айырмашылық бар, ал ток 15-тен 60 ма-ға дейін жетеді. Мұндай жағдайда 0,2 вольт айырмашылығы 45 мА ток айырмашылығын көрсетеді жәнеде бұл Arduino микроконтроллерінің істен шығуына алып келеді. Сол себепті Arduino-мен үйлесімді әмбебап таратқыш тізбегін жасау маңызды.



3.6-сурет – Arduino микроконтроллерінің құрылымдық сұлбасы



3.7-сурет – Arduino микроконтроллерінің принципіалды сұлбасы

3.4 Керекті құрал жабдықтар тізімі

Arduino UNO-бұл atmega328 микроконтроллері негізінде жасалған қарапайым электронды прототиптер мен жобаларды жасауға арналған платформа. Дәлірек айтқанда қолданушы мен микроконтроллер арасын байланыстырушы болып табылатын тақта. Оған аппараттық құралдар мен платалар және бағдарламалық жасақтама кіреді. Бұл тақтаға құрылғылардың

ыңғайлы орналасып, микробағдарламаны бағдарламалау ортасынан тікелей жүктеуге мүмкіндік береді. Arduino тақтасының артықшылығы оның өлшемі, өнімділігі және көптеген кітапханалардың болуы. Arduino микроконтроллері менің құрастырылатын сұлбамда орталық басқару жүйесі ретінде қарастырылады.



3.8-сурет – Arduino Uno микроконтроллері

Акселерометр-ол орнатылған объектінің үдеуін, соның ішінде гравитациялық үдеуді өлшейтін құрылғы. Ол көбінесе бұрыштық жылдамдықтарды өлшеу үшін, сондай-ақ объектінің кеңістіктегі бағытын анықтау үшін қосымшаларда қолданылады.

Жер сілкінісі үшін акселерометрлерді жер сілкінісін анықтау және өлшеу үшін пайдалануға болады. Олар ғимараттарға, көпірлерге, топыраққа және басқа объектілерге дірілді бақылау және жер сілкінісінің параметрлерін, мысалы, магнитудасы мен ұзақтығын анықтау үшін орнатылуы мүмкін.

Сипаттамалары:

- Қуат кернеуі 2,0-3,6 В;
- Жоғары сезімталдық $\pm 16G$ дейін;
- I2C интерфейсі (400 кГц);
- Өлшемдердің кең ауқымы ;
- 3 зондтау осьтері;
- Шағын, төмен профильді пакет: 14-LGA терминалы;
- Төмен қуат: $V_S = 2,5$ В күту режимінде 0,1 мкА (үлгі);
- Өлшемдері 23 x 10 мм.



3.9-сурет – ADXL3353 осьтік акселерометрі

Жер сілкінісін анықтауға арналған акселерометрдің жұмыс принципі сейсмикалық толқындар нәтижесінде жер бетінің үдеуін өлшеуге негізделген.

Үдеуді анықтау: акселерометр үдеуді, объектінің қозғалыс жылдамдығының өзгеруін өлшейді. Жер сілкінісі болған кезде жер беті тербеле бастайды, бұл үдеудің өзгеруіне әкеледі.

Деректерді талдау: акселерометр өлшенген үдеуді электрлік сигналға айналдырады, содан кейін ол талданады. Бұл сигнал болуы мүмкін өңдеу Arduino сияқты микроконтроллерді немесе жер сілкінісін анықтауға арналған басқа жабдықты пайдалану.

Оқиға іске қосылды: үдеу деңгейі белгілі бір шектен асканда, жүйе жер сілкінісі болды деп есептей алады және ескерту сигналы іске қосылады немесе қосымша талдау үшін деректерді жазуды бастайды.

Дыбыстық сигнал - бұл құрылғының аты атап тұрғандай жүйеде дыбыстық ескерту үшін қолданылады. Бұл модульдер жұмыс істеуі үшін міндетті түрде дыбыстық сигнал қажет. Дыбыстық сигналдар акселерометрден Arduino Uno деректер қорына беріледі. Дыбыстық сигнал Arduino микроконтроллер дерек қорынан сандық сигналды алып дабыл сигналын іске қосады. Пьезоқабылдағыштар екі биттік 1 және 0 санау жүйесіне негізделген командаларды дыбыстық сигналдарға түрлендіреді. Пьезоқабылдағыштың суреті көрсетілген.



3.10-сурет – Дыбыстық сигнал құрылғысы

Талшықты оптика қоршаған ортадан алынған ақпаратты жарық импульстары түрінде шыны талшық немесе пластикалық талшық арқылы жіберу технологиясы. Бір талшықты оптикалық кабель бірнеше жүздеген шыны оптикалық талшықты құрайды. Талшықты оптикалық кабельдер әдетте бес құрамдас бөліктен тұрады. Оларға: жарық сигналдарын тасымалдайтын орта өзек; ядроны төменгі сыну көрсеткішімен қоршап тұрған және жарықты қамтитын қаптама; өзекті қорғауға қызмет ететін жабын қаптамасы; талшықты-оптикалық беріктік элементі мен кабельдік күртеден тұрады.

Жобалық жұмыста екі микроконтроллерді жалғау үшін Simplex оптикалық патч сымын падаланамыз. Әдетте Simplex оптикалық патч сымдардың құрылысы қарапайым, бір оптикалық немесе пластикалық талшықты өзектен және сыртың қабықтан тұрады. Деректерді берудің әдісі

бойынша бір режимді және көп режимді патч сымдар деп бөлінеді. Simplex-ті бір режимді патч сымдары деректерді бір бағытта алыс қашықтыққа тасымалдауға қолданылады. Simplex көп режимді патч сымдары кең мөлшердегі деректерді тасымалдау үшін үлкен өлшемді өзек диаметрін қолданады. Көп режимді патч сымдарында белгілі уақыт аралығында көптеген деректер өтеді, бірақ уақыт өте келе белгілі бір қашықтықта сигналдардың сапасы төмендеп жылдамдығын азайтады. Бір режимді патч сымдарының өзегінің диаметрі 8-ден 10 микронға дейін, ал көп режимдінің диаметрі 50 немесе 62,5 микронға дейін жетеді.



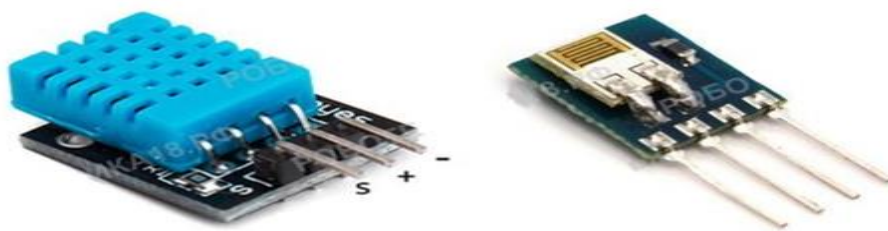
3.11-сурет – Simplex SM оптикалық патч сымы (G. 652.D)

DHT11-бұл термистор және сыйымдылық ылғалдылық сенсорынан тұратын сандық сенсор. DHT сенсоры арзан бағамен қатар мынадай сипаттамаларға ие: 3,5-5V аралығында қуат көзін қабылдайды, температураны 0-ден 50 градусқа дейін, 2 градус дәлдікпен есептейді, ылғалдылықты 20% - дан 95% - ға дейін, 5% дәлдікпен анықтайды.

Сыйымдылық ылғалдылық сенсоры-бұл текстолитте өткізгіш мыс фольга пластиналары бар айнымалы сыйымдылықты конденсатор. Бұл конденсатор ауа өткізбейтін қақпақпен қоршалған, оның үстінде ылғал сіңіретін қабат бар. Су бөлшектері осы қабатқа тиген кезде оның диэлектрлік өтімділігі өзгереді, бұл конденсатордың сыйымдылығының өзгеруіне әкеледі.

Сипаттамалары:

- Температураны өлшеу шектері: 0...+50 °C;
- Ылғалдылықты өлшеу шектері: 20...90% RH;
- Температураны өлшеу қателігі: ± 2 °C;
- Ылғалдылықты өлшеу қателігі: $\pm 5\%$ RH;
- Жұмыс кернеуі: 5V.



3.12-сурет – DHT11 сенсоры тақтада және корпуссыз

ҚОРЫТЫНДЫ

Жоба және зерттеу нәтижелерін талдау және талқылау нәтижесінде мынадай қорытынды жасауға болады. Жобалық жұмыс барысында жер сілкінісін алдын ала анықтау жүйесінің жұмыс істеу принциптері мен құрылымдық сұлбасы қарастырылып, түрлі теңдеулер жүйесімен матрицаларды қолдана отырып, алдын ала дайындық жұмысы жасалынды. Теориялық және эксперименттік зерттеулер барысында мынадай мақсаттар мен міндеттерге сәйкес келесі нәтижелер алынды.

Теориялық мәліметерді талдау жүргізу арқылы сейсмология және жер сілкінісі туралы білімімізді жинақтап, нақты бір ой қалыптастыру.

Талшықты оптикалық бақылау жүйелерінің жұмыс істеу шарттары мен қағидаларын теңдеулер мен матрицалар бойынша құрылымдық сұлбаларын түсіндіріп, негізгі бөлімде алған білімімізді сынақ, зерттеу жұмыстары негізінде дәлелдеу.

Сынақ нәтижесі негізінде талшықы оптикалық бақылау жүйелерін Қазақстанның соның ішінде Алматы қаласының топырақ деформациясымен қаттылығын бақылау арқылы сымсыз байланыс желісі бойынша алдын ала ескерту жүйесін құрастыру.

Жер сілкінісінің ерте ескерту жүйесінің құрылымдық сұлбаларын талдау, протоколдар мен деректерді сенсордан серверге, клиенттен серверге деректерді жіберу әдістерін қарастыру арқылы, жоба алдында зерттеу жұмыстарын жүргізу.

Дипломдық жұмысты қарастырылған деректерді қортындылай келе жер сілкінісін анықтай отырып мониторинг арқылы алынған параметр нәтижелерін компьютерде көрсету.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] P. Shearer 2009 “INTRODUCTION TO Seismology SECOND EDITION” Scripps Institution of Oceanography University of California, San Diego Condie, K. C. (2019). Plate tectonics: a very short introduction. Oxford University Press.
- [2] Юрий Витальевич Попов. (2019). “Основные положения тектоники литосферных плит” Геологическая энциклопедия онлайн.
- [3] Злобин Т. К. Геодинамические процессы и природные катастрофы: учебное пособие / Т. К. Злобин. -Южно-Сахалинск 2010. -228 с.
- [4] Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М. (2011) “ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ”.
- [5] Germán Portillo (2016) METEOROLOGÍA EN RED " GEOLOGY the Richter scale”.
- [6] Левин Б. В., Сасорова Е. В., Борисов С. А., Борисов А. С. Оценка параметров слабых землетрясений и их сигналов // Вулканология и сейсмология. — 2010, № 3, - С. 60-70 — ISSN: 0203-0306.
- [7] John Milne (2024) “Geophysics” Development of the first seismographs
- [8] В.В. Кузнецов (2014) “Сейсмология и сейсмические методы”, “ФИЗИКА ЗЕМЛИ” ISBN 978-5-91559-065-5 Учебник-монография.
- [9] Саваренский Е. Ф., Кирнос Д. П., Элементы сейсмологии и сейсмометрии, 2 изд., М., 1955; Буллен К. Е., Введение в теоретическую сейсмологию, пер. с англ., М., 1966; Саваренский Е. Ф., Сейсмические волны, М., 1972; Бреховских Л. М., Волны в слоистых средах, 2 изд. М., 1973.
- [10] Лекционный материал: “Сейсмические волны: типы и использование” Восточно-Казахстанский технический университет имени Даулета Серикбаева.
- [11] Wei Jin *, Т.К.У. Lee, S.L. Ho, H.L. Ho, K.T. Lau, L.M. Zhou, Y. Zhou “Structural Strain and Temperature Measurements Using Fiber Bragg Grating Sensors” 2006, Pages 389-400.
- [12] A. Bunge ¹, K. Bremer ², B. Lustermann ³, G. Woyessa ⁴ “Polymer Optical Fibres Fibre Types, Materials, Fabrication, Characterisation and Applications” 2017, Pages 119-151.
- [13] Tejasrikumar Kori, Amogh Kori, Akshata Kori, Somesh Nandi “A Study on Fiber Bragg Gratings and Its Recent Applications” L. Barolli et al. (Eds.): IMIS 2019, AISC 994, pp. 880–889, 2020.
- [14] Dr Crispin Doyle Senior Applications Engineer, Smart Fibres Ltd. 2003 “OPTICAL FIBRE SENSING Fibre Bragg Grating Sensors An Introduction to Bragg gratings and interrogation techniques”.
- [15] MDPI and ACS Style Yu, J.; Xu, P.; Yu, Z.; Wen, K.; Yang, J.; Wang, Y.; Qin, Y. Principles and Applications of Seismic Monitoring Based on Submarine Optical Cable. *Sensors* 2023, 23, 5600.
- [16] Liu Z, Zhang S, Yang C, Chung W-H and Li Z (2022) Submarine Optical Fiber Sensing System for the Real-Time Monitoring of Depth, Vibration, and Temperature. *Front. Mar. Sci.* 9:922669. doi: 10.3389/fmars.2022.922669.

[17] Shimeng Chen, Jiahui Wang, Chao Zhang, Mengqi Li, Na Li, Haijun Wu, Yun Liu, Wei Peng and Yongxin Song (2023) “Marine Structural Health Monitoring with Optical Fiber Sensors: A Review”.

[18] T. Abakanov, A. Lee, A. Sadykova, N. Stepanenko, N. Silacheva, R. Saqdyrov Methodology of development of seismic zoning maps for the earthquake prone regions in Kazakhstan (on the example of east Kazakhstan province). Almaty (2013).

[19] N.V. Silacheva, U.K. Kulbayeva, N.A. Kravchenko “Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations” Geodesy and Geodynamics Volume 9, Issue 2, March 2018, Pages 131-141

[20] Yoga Priyana , Folkes Laumal , Emir Husni “Development of Earthquake Early Warning System Using ADXL335 Accelerometer”.

[21] Omar Velazquez, Gianluca Pescaroli, Gemma Cremen, Carmine Galasso (2020) “A Review of the Technical and Socio-Organizational Components of Earthquake Early Warning Systems”.

[22] Dhanasingh Sivalinga Vijayan, Arvindan Sivasuriyan, Devarajan Parthiban (2022) “Earthquake Early warning systems EEWSs and Their Applicability in modern research a review”.

[23] Meng Zhang, Xue Qiao, Barnabas, C. Seyler, Baofeng Di, Yuan Wang, and Ya Tang (2021) Brief communication: Effective earthquake early warning systems: appropriate messaging and public awareness roles.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ШІКІРІ

дипломдық жұмысқа

Асанов Ердос Нұржанұлы

6B06201 – Телекоммуникация

Тақырыбы: «Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық сенсорларды құрастыру және модельдеу».

Дипломдық жұмыста Arduino микроконтроллерін талшықты оптикалық кабельмен біріктіру арқылы жер сілкінісін ерте ескертетін құрылғы құрастыру.

Сейсмология ғылымы және оның бағыттары. Жер сілкінісін тудырушы факторлар мен сейсмикалық толқындар туралы жалпы түсінік қалыптастырылып.

Одан әрі жер сілкінісін бақылауға қолданылатын талшықты оптикалық сенсорлық бақылау жүйелердің жұмыс үстеу принциптерін, тендеулер жүйесі мен құрылымдық сұлбалар арқылы түсіндірілді.

Талшықты Брэгг торлары негізінді жасалған талшықты оптикалық датчиктер жүйесінің өлшеу дәлділігі зерттеліп, сынақ жұмыстары арқылы дәлелденді, содан-соң Алматы қаласының сейсмикалық аудандастыру картасы талқыланылды.

Жұмыстың соңғы кезеңінде SHM жүйесіне негізделген бақылау сенсорлар жүйесін талшықты оптикалық кабельмен біріктіру арқылы жер сілкінісі кезінде алдын ала ескерту құрылғысын құрастыру

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

Студент Асанов Ердос Нұржанұлы өздігінен жұмыс жасай алатынын көрсетті. Жалпы дипломдық жұмысқа “95/A/ өте жақсы” деп бағалап, ал студент Асанов Ердос Нұржанұлы 6B06201 – Телекоммуникация білім беру бағдарламасының бакалавр академиялық дәрежесіне сай деп есептеймін.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф.

профессор PhD

 Н.К.Смайлов

« 30 » 05 2024 ж.

СЫН ПІКІР

дипломдық жұмысқа

Асанов Ердос Нұржанұлы

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық
сенсорларды құрастыру және модельдеу».

- а) графикалық бөлім 36 парақ;
б) түсініктеме 61 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАЗУ

«Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық сенсорларды құрастыру және модельдеу». Дипломдық жұмыс аңдатпа, кіріспе бөлімінен және төрт тараудан, қорытынды және қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Бірінші бөлімде жалпы сейсмология салсының түрлері, жер сілкінісін тудырушы факторлар, тектоникалық тақталардың әсерлесу түрлері мен әдістері, сейсмикалық толқындар, жер сілкінісінің магнитудасы және оны өлшейтін құрылғылар мен түрлі ұғымдар қарастырылады.

Екінші бөлімде талшықты оптикалық зондтау жүйелерінің жұмыс істеу принциптерін түрлі есептік теңдеулер мен құрылымдық сұлбалар арқылы түсіндіреді. Сынақ, жабалау, зертеуде жұмыстарында Қазақстан соның ішінде Алматы қаласының сейсмикалық аудандастыру картасы әзірленеді.

Үшінші бөлімде Arduino микроконтролері негізінде бақылау сенсорлық жүйесі құрастырылып, оны талшықты оптикалық кабельмен біріктіру арқылы жер сілкінісі кезінде алдын ала ескерту құрылғысы жасалынады.

Жұмыстың бағасы

Жалпы дипломдық жұмысқа “өте жақсы” (95%) деген баға, ал студент Асанов Ердос Нұржанұлы 6B06201 – Телекоммуникация білім беру бағдарламасының бакалавр дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Сын-пікір беруші:

Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті
қауымдастырылған профессор т.ғ.к.

Н.А.Сейлова

« 30 » 05 2024 ж.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Асанов Ердос Нұржанұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық сенсорларды құрастыру және модельдеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 2.3

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 63

Знаки из других алфавитов: 21

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:

2024-05-28

Дата



Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Асанов Ердос Нуржанұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық сенсорларды құрастыру және модельдеу

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 2.3

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 63

Знаки из других алфавитов: 21

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:

2024-05-28

Дата

Заведующий кафедрой



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

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

Автор: Асанов Ердос Нұржанұлы

Тақырыбы: Сейсмологиялық бақылаулар үшін талшықты-оптикалық сенсорларды құрастыру және модельдеу

Жетекшісі: Нуржигит Смайлов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.5

Дәйексөз (35): 0.6

Әріптерді ауыстыру: 21

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 63

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:

2024-05-28

Күні

Кафедра меңгерушісі

