

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт цифровых технологий и профессионального развития

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Қайратқызы Балғын

«Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе волоконно-  
оптических датчиков (ВОД)»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

6В07121 – Космическая техника и технологии

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

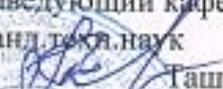
Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт цифровых технологий и профессионального развития

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ЭТиКТ,  
канд. техн. наук

  
Таштай Е.Т.  
«02» 02 2024г.



**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе  
волоконно-оптических датчиков (ВОД)»

6В07121 –Космическая техника и технологии

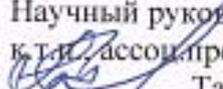
Выполнил

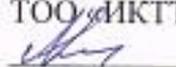
Кайраткызы Б.

Рецензент

Научный руководитель  
к.т.н. ассоц. профессор

Руководитель Лаборатории  
ТОО «ИКТТ», к.т.н. доцент

  
Таштай Е.  
«02» 02 2024г.

 Инчин А.С.

«02» 02 2024г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт цифровых технологий и профессионального развития

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

6В07121–Космическая техника и технологии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

Таштай Е.Т.

«02» 02 2024 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Дипломнице Кайратқызы Балғын по теме: «Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе волоконно-оптических датчиков - ВОД», утверждённый приказом Ректора Университета №1755-го «29» ноября 2023 г.

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2024 г.

1 Исходные данные к дипломной работе: При выполнении дипломной работы в качестве исходных данных использовать:

- 1.1 Диапазон регистрации землетрясений – 4-9 баллов
- 1.2 Вид сенсора – волоконно-оптический датчик на Брэгговских решетках
- 1.3 Условие снятия данных – 24x7x365
- 1.4 Стенд стационарный

2 Задание на дипломную работу: При написании дипломной работы раскрыть следующие задачи:

- 2.1 Обзор и анализ землетрясений как в мире, так и в Алматинской области
  - 2.2 Перспективы применения ВОД при исследованиях сейсмоявлений
  - 2.3 Разработка автоматической обработки сети передачи данных от ВОД
  - 2.4 Расчет расположения ВОД при сейсмоявлениях
- 3 Список литературы: При написании дипломной работы можно использовать на нижеследующие источники, но не только:
1. Гавричев В.Д. Дмитриев А.Л. Волоконно-оптические датчики магнитного поля . – СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013. – 83 с.
  2. Эрик Удд. Волоконно-оптические датчики ., М.: Техносфера , 2008 г . – 508с.
  3. Tulaykova T. Fiber optic sensors for environmental applications, Germany. LAP-LAMBERT – 2012, 209 p
  4. Дюбов А.С. Лабораторная установка по исследованию ВОД на основе решеток Брэгга – УДК 681.7 МНТК СПб., - 2021 г с. 333-337 с
  5. Боганик Г.Н. Сейсморазведка -Тверь, АИС - 2006, 375 с
  6. Короновский Н.В. Землетрясения: Причины, последствия, прогноз . М.: МГУ.: Соросовский образовательный журнал , №12, 1998 г – 71-78 с
  7. История алматинских землетрясений - <https://xn----ptbgks9a.kz/about-earthquakes/sejsmicheskaya-istoriya-almaty>
  8. Патент по прогнозу землетрясений на базе ВОД - <https://patentimages.storage.googleapis.com/dc/4f/80/980ef7b3c18c3a/RU2130195C1.pdf>
  9. Иванов Ф.И. Интенсивность и сейсмические воздействие землетрясений – Автореферат докторской диссертации - <https://earthpapers.net/preview/444035/a/#?page=20>

10. Силутина Е.М. Разработка стенда для калибровки ВОД деформации кручения , Вестник МГТУ , 2006 №1 , - 5с
11. Пнев А. Оптико-электронно-измерительные системы, Дисс . раб. М.: МГТУ – 2008 , 176с. - <https://studizba.com/files/show/pdf/11677-1-optiko-elektronnye-izmeritel-nye-sistemy.html>

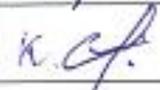
### ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Ожидаемые результаты
Обзор и анализ землетрясений как в мире, так и в Алматинской области	10.01.2024 - 20.01.2024 г.	Выполнен
Перспективы применения ВОД при исследованиях сейсмоявлений	20.01.2024-20.02.2024 г.	Выполнен
Разработка автоматической обработки сети передачи данных от ВОД	21.02.2024 - 01.03.2024 г.	Выполнен
Расчет расположения ВОД при сейсмоявлениях	02.03.2024 г 01.04.2024 г	Выполнен
4.Подготовка и написание общей структуры дипломной работы в соответствии с требованиями стандарта СТ КазНУТУ – 09 – 2017	02.04.2024 - 15.04.2024 г.	Выполнен

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Ассоциированный профессор , к.т.н. Таштай Е	07.06.24.	
Нормоконтролер	Ассистент, м.т.н. Кенгесбаева С.С.	07.06.24	

Научный руководитель  Таштай Е.

Задание принял к исполнению, дипломница  Қайратқызы Б.

Дата «18» 01. 2024г.

## **АННОТАЦИЯ**

Своевременное обнаружение сейсмических волн имеет важное значение для сохранения человеческих жизней. В данной дипломной работе рассмотрена возможность создания сети сейсмических датчиков на основе оптических волокон. Также рассмотрена возможность создания датчиков, не имеющих инерционных элементов, также на основе оптических волокон. В работе приведены расчеты, описывающие работу отдельных датчиков и сети датчиков. Решена проблема равномерного распределения датчиков сети по поверхности Земли.

## **АНДАТПА**

Сейсмикалық толқындарды уақтылы анықтау адам өмірі мен денсаулығы үшін өте маңызды. Бұл дипломдық жұмыста оптикалық талшықтар негізінде сейсмикалық датчиктер желісін құру мүмкіндігі қарастырылған. Сондай-ақ, оптикалық талшықтар негізінде инерциялық элементтері жоқ датчиктерді құру мүмкіндігі қарастырылған. Жұмыста жеке датчиктер мен датчиктер желісінің жұмысын сипаттайтын есептеулер келтірілген. Желі датчиктерін жер бетіне біркелкі бөлу мәселесі шешілді.

## **ANNOTATION**

Timely detection of seismic waves is essential to save human lives. In this thesis, the possibility of creating a network of seismic sensors based on optical fibers is considered. The possibility of creating sensors without inertial elements based on optical fibers is also considered. The paper presents calculations describing the operation of individual sensors and a network of sensors. The problem of uniform distribution of network sensors over the Earth's surface has been solved.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Обзор и анализ землетрясений как в мире, так и в Алматинской области	8
2 Перспективы применения ВОД при исследованиях сейсмоявлений	13
2.1 Конструкция датчиков старого образца	13
2.2 Оптический датчик на основе оптоволокна	16
3 Разработка сети автоматической сети передачи данных от ВОД	26
3.1 Логика работы датчиков и сети.	26
3.2 Расчет времени и магнитуды	29
3.3 Магнитуда	32
4 Расчет расположения ВОД при сейсмоявлениях	34
4.1 Проблема равномерного распределения датчиков по поверхности	34
4.2 Надежность сети	37
4.3 Цифровое решение проблемы равномерного распределения датчиков	40
Заключение	43
Перечень терминов и сокращений	44
Список использованной литературы	45
Приложение	46

## ВВЕДЕНИЕ

Цель дипломного проекта – повышение сейсмобезопасности путем разработки сети датчиков на основе оптических волокон. Для достижения цели необходимо выполнение задач:

1. Разработка сети, на основе оптоволокон для своевременного определения эпицентра сейсмического события.
2. Разработка датчика на основе оптического волокна.
3. Разработка алгоритма определения предполагаемой магнитуды землетрясения.

В современном мире остро стоит проблема сейсмической безопасности. Проблема относится как жизни и безопасности людей, так и материальных ценностей. Возможность прогнозирования землетрясения и его магнитуды может повысить уровень безопасности и спасти множество жизней.

По этой причине данная дипломная работа останется актуальной пока земля остается геологически активной. Но сейсмическое событие сложно предсказуемое явление. По сути, без круглосуточного полного мониторинга процессов происходящих в недрах земли предсказать землетрясение невозможно. Эпицентр землетрясения в большинстве случаев находится в безлюдных местах (из-за низкой плотности НП). Поэтому если удастся засечь время и место эпицентра, то учитывая ограниченную скорость сейсмической волны возможно определить время достижения волны к населенным пунктам и предупредить население.

Учитывая, что скорость сейсмической волны 600 – 1500 м/с, а датчики могут передавать сигналы со скоростью света, цель вполне достижима.

# 1 Обзор и анализ землетрясений как в мире, так и в Алматинской области

Алматы и его регион на протяжении последних 80 лет неоднократно подвергались землетрясениям разной силы. Среди наиболее значительных событий можно выделить следующие:

1. 1978 год: Землетрясение с магнитудой от 6.2 до 7.1 произошло в регионе Алматы. Это событие имело интенсивность VIII по шкале MSK-64;
2. 1990 год: Несколько землетрясений, включая одно с магнитудой 6.1 и интенсивностью VII, произошли в Восточно-Казахстанской области, затронув также Алматы;
3. 2009 год: Землетрясение магнитудой 5.4, произошедшее в регионе Алматы, привело к повреждениям, но обошлось без жертв;
4. 2013 год: Землетрясение с магнитудой 6.6, эпицентр которого находился в 225 км от Алматы, вызвало значительные колебания зданий в городе, заставив многих жителей провести ночь на улице;
5. 2024 год: Самое сильное землетрясение за последние 10 лет произошло 23 января 2024 года с магнитудой 7.0, его эпицентр находился на юго-востоке от города.

Эти данные свидетельствуют о значительной сейсмической активности в регионе, которая требует постоянного мониторинга и принятия мер по обеспечению сейсмоустойчивости зданий и инфраструктуры.

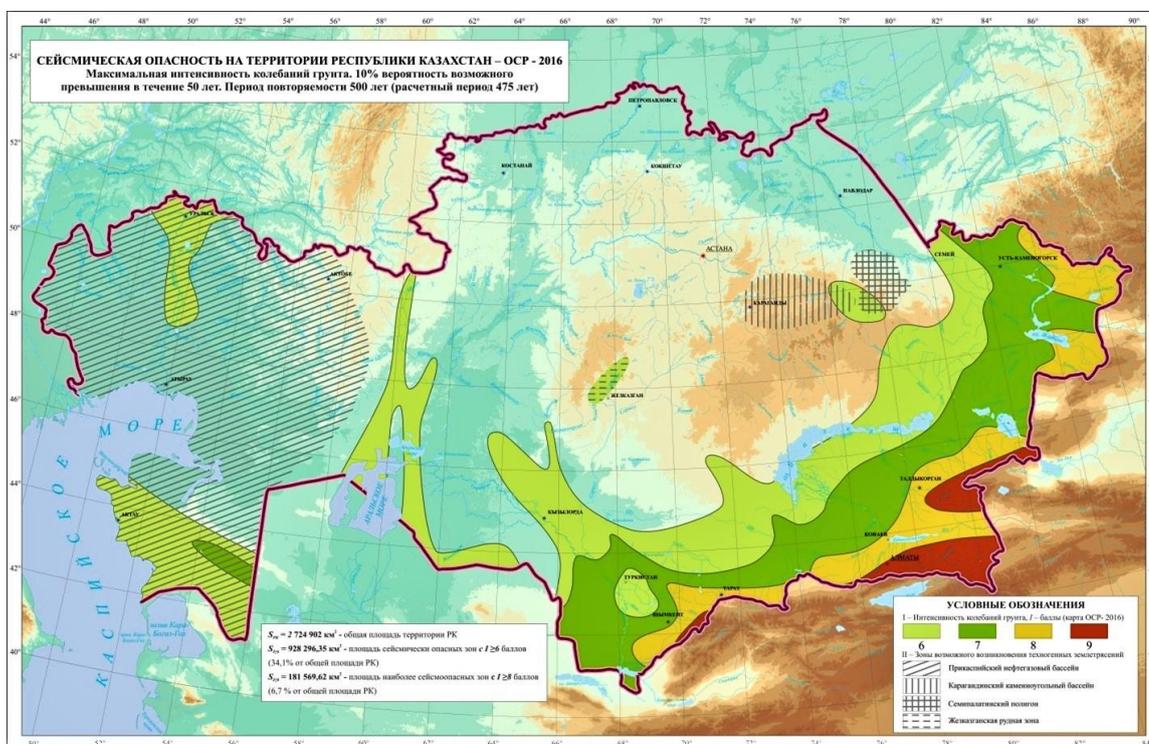


Рисунок 1.1 – Карта «Сейсмическая опасность на территории РК-ОСР-2016 г.»

Таблица 1.1 – Землетрясения в Алматы за последние 80 лет с магнитудой от 2 до 10 баллов:

Дата	Магнитуда	Глубина (км)	Местоположение	Примечания
2024-01-23	7.0	13	263 км южнее Алматы	Самое сильное землетрясение за последние десятилетие
2022-12-12	5.3	15	25 км восточнее Алматы	Значительное землетрясение
2019-01-08	4.6	12	50 км северо-восточнее Алматы	Часто ощущаемое землетрясение
2017-07-18	4.8	10	40 км юго-западнее Алматы	Часто ощущаемое землетрясение
2015-03-14	4.9	11	20 км южнее Алматы	Часто ощущаемое землетрясение
2013-01-28	6.6	-	225 км юго-восточнее Алматы	Сильное землетрясение с афтершоками
2010-05-01	5.2	13	35 км севернее Алматы	Значительное землетрясение
2009-06-13	5.4	-	Регион Алматы	
2006-02-21	4.4	9	60 км юго-восточнее Алматы	
2003-12-01	6.0	-	Синьцзян, Китай	Ощущалось в Алматы
1992-04-04	6.3	8	Регион Алматы	
1990-09-27	4.5	-	Восточно-Казахстанская область	
1990-08-03	6.1	-	Восточно-Казахстанская область	
1990-06-14	6.8	-	Восточно-Казахстанская область	
1985-09-19	4.7	14	70 км западнее Алматы	
1978-06-24	6.2-7.1	-	Регион Алматы	
1971-06-16	4.9	18	10 км южнее Алматы	
1958-11-07	5.1	16	Регион Алматы	
1948-05-24	4.5	12	55 км северо-восточнее Алматы	

При анализе землетрясении имеет значение 3 основных параметра: средний период повторяемости явления, среднее значение магнитуды и среднеквадратическое отклонение амплитуды от среднего значения.

Нас интересует землетрясения, магнитудой выше 4-5 баллов, так как для безопасности людей и инфраструктуры именно эти показатели являются пороговыми. Так как землетрясения 1-2 баллов происходят каждый день (почти) их в расчеты для анализа не берем. Для анализа сперва необходимо определить средний период между землетрясениями. Для расчета среднего времени между землетрясениями магнитудой выше 5 баллов в регионе Алматы, возьмем даты соответствующих землетрясений из предоставленной таблицы 1:

1. 2024.01.23

2. 2022.12.12,
3. 2013.01.28
4. 2010.05.01
5. 2009.06.13
6. 2003.12.01
7. 1992.04.04
8. 1990.08.03
9. 1990.06.14
10. 1978.06.24

Вычислим временные интервалы между этими землетрясениями и затем найдем их среднее значение:

1. 2024.01.23 - 2022.12.12 = 1 год и 1 месяц
2. 2022.12.12 - 2013.01.28 = 9 лет и 11 месяцев
3. 2013.01.28 - 2010.05.01 = 2 года и 9 месяцев
4. 2010.05.01 - 2009.06.13 = 11 месяцев
5. 2009.06.13 - 2003.12.01 = 5 лет и 6 месяцев
6. 2003.12.01 - 1992.04.04 = 11 лет и 8 месяцев
7. 1992.04.04 - 1990.08.03 = 1 год и 8 месяцев
8. 1990.08.03 - 1990.06.14 = 2 месяца
9. 1990.06.14 - 1978.06.24 = 12 лет

Переведем все интервалы в месяцы:

1. 13 месяцев
2. 119 месяцев
3. 33 месяца
4. 11 месяцев
5. 66 месяцев
6. 140 месяцев
7. 20 месяцев
8. 2 месяца
9. 144 месяца

Теперь найдем среднее значение:

Средний интервал:  $(13+119+33+11+66+140+20+2+144)/9 \approx 60.9$  месяцев

Таким образом, среднее время между землетрясениями магнитудой выше 5 баллов в Алматы составляет примерно 60.9 месяцев, что соответствует примерно 5 годам.

Для расчета среднего значения магнитуд землетрясений магнитудой выше 5 баллов, используем те же данные:

1. 2024.01.23 - 7.0
2. 2022.12.12 - 5.3
3. 2013.01.28 - 6.6
4. 2010.05.01 - 5.2
5. 2009.06.13 - 5.4
6. 2003.12.01 - 6.0
7. 1992.04.04 - 6.3

8. 1990.08.03 - 6.1
9. 1990.06.14 - 6.8
10. 1978.06.24 - 6.2-7.1 (берем среднее значение 6.65)

Теперь вычислим среднее значение магнитуды:  
 $(7.0+5.3+6.6+5.2+5.4+6.0+6.3+6.1+6.8+6.65)/10=6.13510$

Средняя магнитуда землетрясений магнитудой выше 5 баллов в регионе Алматы составляет 6.14 баллов.

Чтобы рассчитать среднее значение магнитуд всех землетрясений в Алматы за последние 80 лет, возьмем все доступные данные из таблицы 1 и вычислим среднее значение.

Вот полные данные из таблицы:

1. 2024.01.23 - 7.0
2. 2022.12.12 - 5.3
3. 2019.01.08 - 4.6
4. 2017.07.18 - 4.8
5. 2015.03.14 - 4.9
6. 2013.01.28 - 6.6
7. 2010.05.01 - 5.2
8. 2009.06.13 - 5.4
9. 2006.02.21 - 4.4
10. 2003.12.01 - 6.0
11. 1992.04.04 - 6.3
12. 1990.09.27 - 4.5
13. 1990.08.03 - 6.1
14. 1990.06.14 - 6.8
15. 1985.09.19 - 4.7
16. 1978.06.24 - 6.65
17. 1971.06.16 - 4.9
18. 1958.11.07 - 5.1
19. 1948.05.24 - 4.5

Теперь вычислим среднюю магнитуду:  
 $(7.0+5.3+4.6+4.8+4.9+6.6+5.2+5.4+4.4+6.0+6.3+4.5+6.1+6.8+4.7+6.65+4.9+5.1+4.5)/19 \approx 5.46$

Средняя магнитуда всех землетрясений в регионе Алматы за последние 80 лет составляет примерно 5.46 баллов.

Чтобы вычислить среднеквадратическое отклонение (стандартное отклонение) магнитуд землетрясений в Алматы, следуем следующим шагам:

1. Находим среднее значение магнитуд, которое мы ранее вычислили, и оно равно  $\mu=5.46$
2. Находим квадрат отклонения каждой магнитуды от среднего значения.
3. Вычисляем среднее значение этих квадратов отклонений.
4. Находим квадратный корень из этого среднего значения.

Данные магнитуд: 7.0, 5.3, 4.6, 4.8, 4.9, 6.6, 5.2, 5.4, 4.4, 6.0, 6.3, 4.5, 6.1, 6.8, 4.7, 6.65, 4.9, 5.1, 4.57, 5.3, 4.6, 4.8, 4.9, 6.6, 5.2, 5.4, 4.4, 6.0, 6.3, 4.5, 6.1, 6.8, 4.7,

6.65, 4.9, 5.1, 4.57, 5.3, 4.6, 4.8, 4.9, 6.6, 5.2, 5.4, 4.4, 6.0, 6.3, 4.5, 6.1, 6.8, 4.7, 6.65, 4.9, 5.1, 4.5

Найдем квадрат отклонений каждой магнитуды от среднего значения  $\mu=5.46$

Суммируем все квадраты отклонений:

$2.3716+0.0256+0.7396+0.4356+0.3136+1.2996+0.0676+0.0036+1.1236+0.2916+0.7056+0.9216+0.4096+1.7956+0.5776+1.4161+0.3136+0.1296+0.9216=14.86$

Теперь вычислим среднее значение квадратов отклонений:

Среднее значение квадратов отклонений  $14.86 / 19 \approx 0.782$

Наконец, найдем стандартное отклонение, взяв квадратный корень из среднего значения квадратов отклонений:

$\sigma=0.7822^{0.5} \approx 0.8845$

Таким образом, среднеквадратическое отклонение магнитуд землетрясений в регионе Алматы составляет примерно 0.88.

Чтобы определить значения магнитуд землетрясений, которые находятся в пределах  $\pm 4\sigma$  (среднеквадратическое отклонение) от среднего значения, мы используем следующее:

$$5.46 - 4 * 0.88 = 1.94 \approx 2$$

$$5.46 + 4 * 0.88 = 8.98 \approx 9$$

Среднеквадратическое отклонение — это мера разброса или изменчивости данных в выборке. Оно показывает, насколько сильно значения в выборке отклоняются от их среднего значения. Для нормального распределения приблизительно 99.9937% данных находятся в пределах  $\pm 4$  среднеквадратических отклонений от среднего значения.

Таким образом, в среднем каждые 5 лет в Алматы происходит землетрясение с магнитудой выше 4-5 баллов. С вероятностью 99,9937% Магнитуда не превысит 9 баллов. Землетрясение магнитудой выше 9 баллов возможна в течение 100 лет с вероятностью  $9,7 * 10^{-83}\%$ . Так как все землетрясения укладываются в диапазон 2-9 баллов, так же учитывая, что реальной опасности представляет только землетрясения 4-5 баллов и выше, то целесообразно разработка системы обнаружения землетрясении в диапазоне 4-9 баллов.

## 2 Перспективы применения ВОД при исследованиях сейсмоявлений

### 2.1 Конструкция датчиков старого образца

Изначально датчики сейсмографов представляли собой грузик, привязанный карандашу. То есть при землетрясении грузик колебался на пружинах, что приводило к нанесению графика на бумажной ленте. Сейчас снятие данных происходит электронно. То есть грузик имеет магнитное поле и находится в поле катушек. При перемещении грузика из-за землетрясения, в катушках из-за электромагнитной индукции возникает напряжение, которое усиливается и регистрируется. Так же полученный аналоговый сигнал может быть оцифрован посредством АЦП. Но принципиальная схема чувствительного элемента не изменилась. Добавились 2 дополнительные оси, датчик из плоского превратился в трехмерное, но принцип не изменился, и представляет грузик на пружинах свободный в трех осях.

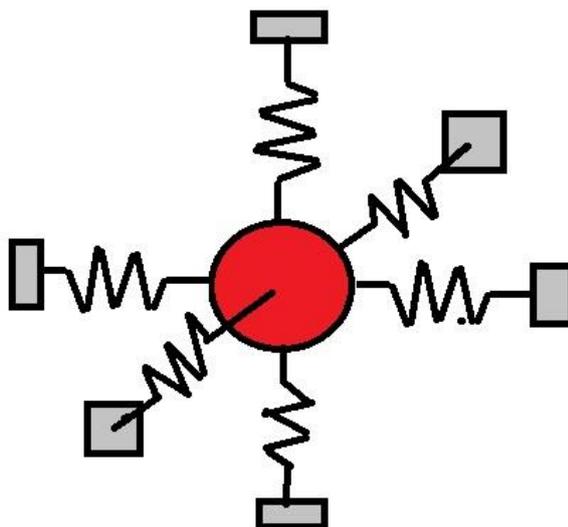


Рисунок 2.1 – Принцип работы датчика с грузиком

Но в таких датчиках существует 2 недостатка. Во-первых, землетрясение не обязано иметь синусоидальную форму с одинаковой частотой. Если после сейсмического импульса придет другой импульс в противофазе, то взаимное гашение импульсов приводит к ошибочной не регистрации события (рисунок 2.2).

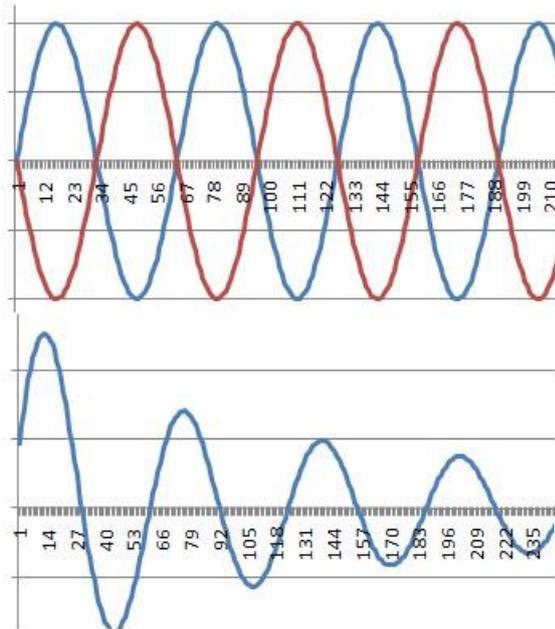


Рисунок 2.2 – Колебание в противофазе и затухание колебания

Во-вторых, как видно из рисунка, после прекращения импульса, некоторое время такой датчик из-за инерции продолжает регистрировать землетрясение из-за времени релаксации колебания груза, имеющего инертность. Поэтому в рамках данной работы предлагаются 2 вида датчиков:

1. Инерционные
2. Оптические

Принципиальная схема датчика показана на рисунке ниже.

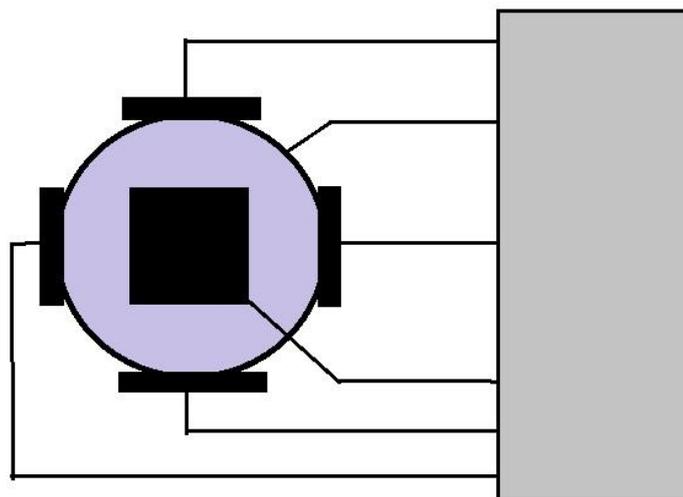


Рисунок 2.3 – Безинерционный датчик

Чувствительный элемент датчик представляет собой грузик (шарик), но не подвешенный на пружинах, а зажатый между силовыми датчиками. Силовые датчики — это элементы меняющее сопротивление при нажатии на них.

Идея заключается в том, что при линейном ускорении в каком-либо направлении силы инерции регистрируются этими элементами и интерпретируются как землетрясение. Далее сигнал передается в электронный блок, в котором происходит расчет магнитуды.

При этом справедливо будет предположить, что магнитуда пропорциональна силе.

$$F_d \sim \text{магнитуда} \quad (2.1)$$

Или магнитуду можно выразить так.

$$F_d = Mk \quad (2.2)$$

где  $k$  – некий коэффициент, который определяется экспериментально и зависит от массы грузика. Так как грузик (шарик) зажат между шестью силовыми датчиками, где по каждой оси имеются по 2 датчика, диаметрально противоположенных друг к другу, сила инерции по этой оси будет:

$$F_x = F_{x_1} - F_{x_2} \quad (2.3)$$

А по оси Oy:

$$F_y = F_{y_1} - F_{y_2} \quad (2.4)$$

По оси Oz:

$$F_z = F_{z_1} - F_{z_2} \quad (2.5)$$

Так как направление колебания из сейсмической волны может быть в произвольном направлении, то для суммарного значения силы справедливо выражение:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (2.6)$$

Или

$$F = \sqrt{(F_{x_1} - F_{x_2})^2 + (F_{y_1} - F_{y_2})^2 + (F_{z_1} - F_{z_2})^2} \quad (2.7)$$

Эти датчики в отличие от классических не имеют времени релаксации колебания грузика на пружинах, и соединенные между собой оптоволоконным кабелем, могут образовать весьма надежную сеть.

## 2.2 Оптический датчик на основе оптоволоконна

### 2.2.1 Принцип работы датчика

Принцип работы датчика, предлагаемого мной (на основе оптических волокон), описывается ниже. Работа датчика основана на фазе волн. Ниже на рисунке показан схема датчика.

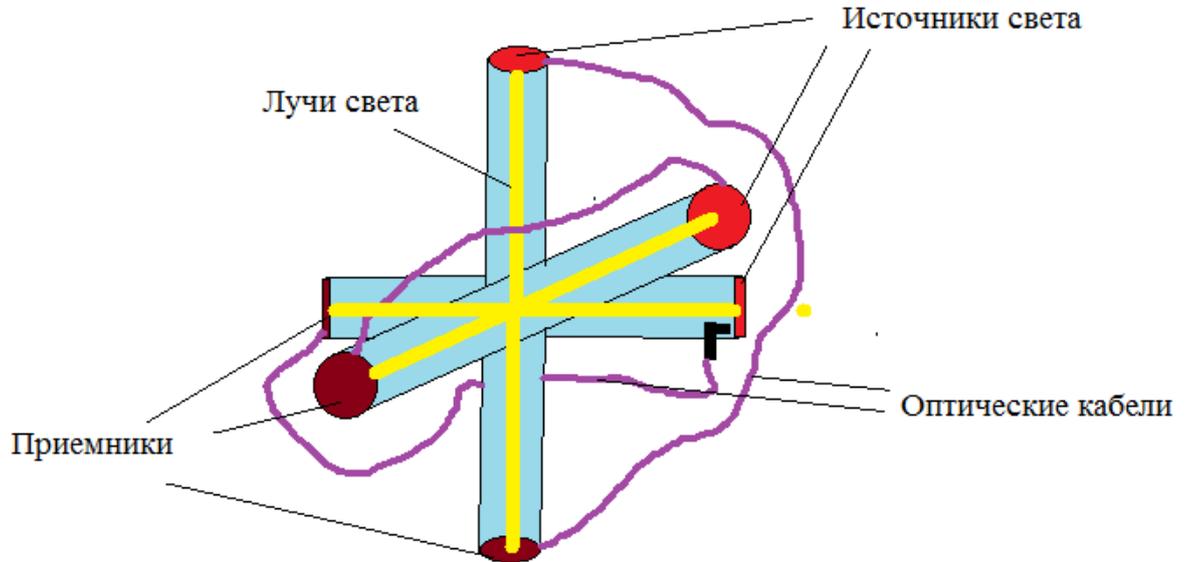


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема оптоволоконного датчика

Как видно из рисунка 5 так датчик представляет из себя 3 трубочки, поставленные под углом 90 градусов друг другу. Используется три элемента, потому что движение может быть во всех трёх осях. Таким образом фиксирует движение по любом направлении по пространстве. Как ранее было сказано, что главным определяющим параметром датчика является фаза волн, а если сказать точнее, то изменение фазового сдвига. Как видно из рисунка свет от источника до приемника достигает двумя способами. То есть через трубку и через оптическое волокно. Причем оптическое волокно имеет постоянную длину.

$$L_2 = const \quad (2.8)$$

А длина вакуумной трубки не является постоянной. То есть она механически постоянна, но при перемещении трубки вдоль оси, из-за изменения координат источника и приемника свет испытывает красное или фиолетовое смещение. Таким образом для света трубка имеет не постоянную длину.

$$L_1 \neq const \quad (2.9)$$

Из-за разности длины трубки и свет достигает приемника через трубку за один промежуток времени, а через оптическое волокно – другой промежуток времени. Таким образом если интенсивность света меняется с некоторой частотой, то из-за разницы времени на датчиках образуется фазовый сдвиг. Этот фазовый сдвиг зависит от разницы времени и частоты интенсивности.

$$\Delta\varphi = \Delta t\omega \quad (2.10)$$

Временная задержка между приемами разных приемников можем определить, как отношение разности длины к скорости света.

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{c} \quad (2.11)$$

Скорость света принимается за постоянное значение.

$$c = const \quad (2.12)$$

А разность расстояния, пройденный светом, это разница между длиной вакуумной трубки длины оптического кабеля. Напомним, что оптический кабель имеет постоянную длину.

$$\Delta L = L_2 - L_1 \quad (2.13)$$

Таким образом, задержка времени определяется по нижеуказанному выражению.

$$\Delta t = \frac{L_2 - L_1}{c} \quad (2.14)$$

Если объединить все полученные выражения, получим формулу определения фазового перемещения в зависимости от длин трубки и оптического волокна, так же и от частоты изменения интенсивности испускаемого источником света.

$$\Delta\varphi = \frac{(L_2 - L_1)\omega}{c} \quad (2.15)$$

При неподвижном датчике будет постоянный фазовый сдвиг, то есть значение фазового смещения не будет меняться. Это значит, что никаких сейсмических события не наблюдается. Но втряске, датчик меняет свое место в пространстве. То есть приобретает некоторую скорость на некоторое время. В таком случае фазовое смещение принимает другое значение. Для определения скорости перемещения имеет значение величина изменения фазового сдвига.

$$\frac{\omega(L_2 - L_{11})}{c} - \frac{\omega(L_2 - L_{12})}{c} \quad (2.16)$$

Так как обе части в знаменателе имеет  $c$ , то легко вычислить разницу вазового сдвига.

$$\frac{\omega(L_2 - L_{11} - L_2 + L_{12})}{c} = \frac{\omega(L_{12} - L_{11})}{c} \quad (2.17)$$

Если датчик периодический через время  $T$  определяет фазовый сдвиг для каждого момента времени, то полученная формула определяет разницу смещения фазы через время  $T$ , (или до).

$$\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1 = \frac{\omega(L_{12} - L_{11})}{c} \quad (2.18)$$

Ранее было сказано, что длина трубки для света имеет не постоянное значение.

$$L_1 \neq const \quad (2.19)$$

Если  $T$  время назад длина имело значение

$$L_1 = L_{11} \quad (2.20)$$

То поле может имеет значение:

$$L_1 = L_{12} \quad (2.21)$$

При этом новое значение длины имеет прямую связь с прежним значением, а также и скоростью перемещения датчика. На самом деле скорость перемещения – это не скорость движения, мгновенная скорость, вызванная трясением.

$$L_{12} = L_{12} + cvT \quad (2.22)$$

Заменяя в формуле определения зарницы сдвига фаз длину на выражение ее определения, получаем:

$$\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1 = \frac{\omega(L_{12} - [L_{12} + cvT])}{c} \quad (2.23)$$

Для простоты расчетов в дальнейшем изменение вазового перемещения обозначаем одним знаком.

$$\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1 = a \quad (2.24)$$

После такой замены наша формула принимает следующий вид:

$$a = \frac{\omega(L_{12} - [L_{12} + cvT])}{c} \quad (2.25)$$

Преобразуем выражение:

$$a = \omega(L_{12} - L_{12} - cvT) \quad (2.26)$$

Так как:

$$L_{12} - L_{12} = 0 \quad (2.27)$$

Получаем –

$$ac = -\omega cvT \quad (2.28)$$

Отсюда получается выражение для определения мгновенной скорости, приобретаемой датчиком вследствие тряски.

$$v = -\frac{a}{\omega T} \quad (2.29)$$

Если вспомнить что «а» означает величину изменения:

$$a = \Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1 \quad (2.30)$$

То формула скорости принимает окончательный вид:

$$v = -\frac{\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1}{\omega T} \quad (2.31)$$

Но следует помнить, что это формула определяет только среднюю скорость за время Т, к тому же и только в одном направлении, то есть в направлении параллельной к оси трубки. А полная мгновенная скорость определяется как векторная сумма всех трех скоростей по всем трем осям.

$$\bar{v}_n = \bar{v}_x + \bar{v}_y + \bar{v}_z \quad (2.32)$$

В принципе скорость может быть использована в качестве параметра землетрясения, но для простоты применения следует переводить скорость в

положение датчика относительно изначального местоположения. Для этого скорость нужно принять за функцию, зависящей от времени.

$$\bar{v}_x + \bar{v}_y + \bar{v}_z = f(t) \quad (2.33)$$

В таком случае положение датчика может быть определена методом интегрирования данной функции через время. Интеграл является определенным, где в нижней части время старта, в верхней части ограничена текущем временем. Так как используется вычислительные системы то, время можно определить по эпохе Юникс.

$$l = \int_{t_{st}}^{t_{act}} f(t) dt \quad (2.34)$$

### 2.2.2 Конструкционные трудности работы датчика

В распространении света по кабелю существует серьезная проблема. Она заключается в том, что свет, не входя в кабель всегда под углом 90 градусов. Это приводит к тому, что некоторая часть света достигает приемника ослабленным после многого количества отражении, также и с задержкой.

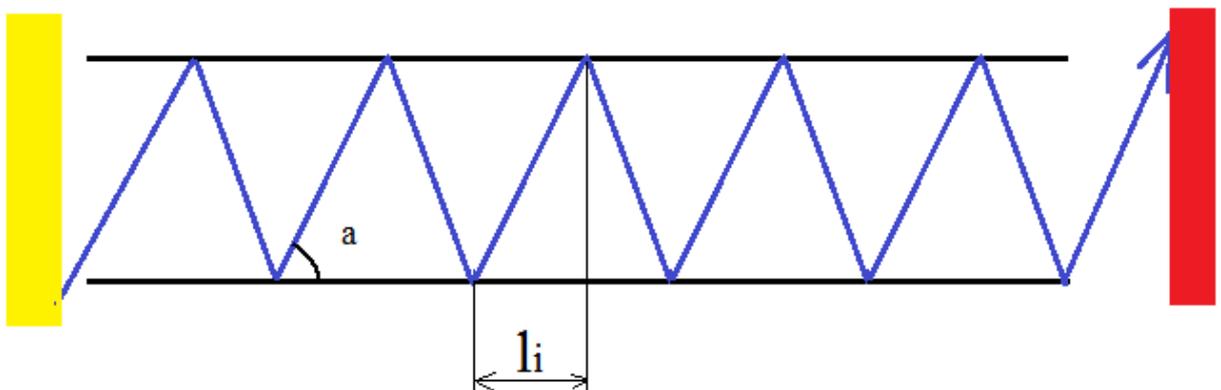


Рисунок 2.5 – Многократное отражение света в кабеле

Сперва определим значение затухания после многого количества отражений от стенок кабеля. Если силу света в конце кабеля обозначить как  $x$ , то это значение для луча, вошедшего в кабель под углом определяется по формуле.

$$x = \frac{L(1 - \eta)}{N} \quad (2.35)$$

где  $\eta$  – коэффициент поглощения материала стенки кабеля;

$L$  – изначальная сила света;

$N$  – количество отражений от стенок.

Количество отражений за весь путь от источника света до конца кабеля определяется как отношение длины кабеля к расстоянию между точками отражения.

$$N = \frac{l}{l_i} \quad (2.36)$$

Если представить каждый участок от отражения до следующего отражения как прямоугольный треугольник, то длина шага определяется выражением:

$$l_i = d \cos \alpha \quad (2.37)$$

где  $d$  – диаметр кабеля

$\alpha$  – угол входа луча в кабель

Таим образом количество отражений определяется формулой:

$$N = \frac{l}{d \cos \alpha} \quad (2.38)$$

Объединив все выражения получаем формулу определения силу света на конце кабеля после всего отражения, в зависимости от угла входа.

$$x = \frac{L(1 - \eta)}{N} \div \frac{l}{d \cos \alpha} = \frac{Ld(1 - \eta) \cos \alpha}{l} \quad (2.39)$$

К тому же лучи, вошедшие под углом отличным от 90 градусов, приходят с некоторой задержкой. Это в свою очередь приводит к размытию конца сигнала. Это время определяется как отношение общей длины пути луча к его скорости, то есть скорости света.

$$t = \frac{l_n}{c} \quad (2.40)$$

Длина это так же зависит от общей длины кабеля и угла входа.

$$l_n = l \operatorname{tg} \alpha \quad (2.41)$$

Таким образом время вычисляется по формуле.

$$t = \frac{l \operatorname{tg} \alpha}{c} \quad (2.42)$$

После определения обеих формул построим график:

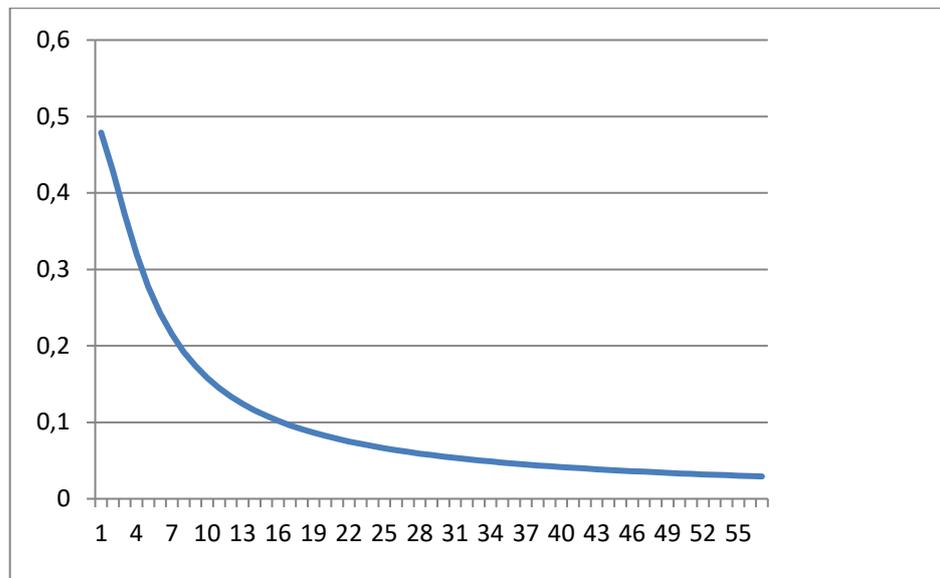


Рисунок 2.6– Затухание сигнала

Каждое деление на ос  $Ox$  – это промежутки времени. График показывает, что, после некоторого времени после отключения источника света, на конце кабеля наблюдается постепенное угасание принимаемой мощности света. Если бы материал кабеля обладал коэффициентом поглощения 0, была бы следующая картина:

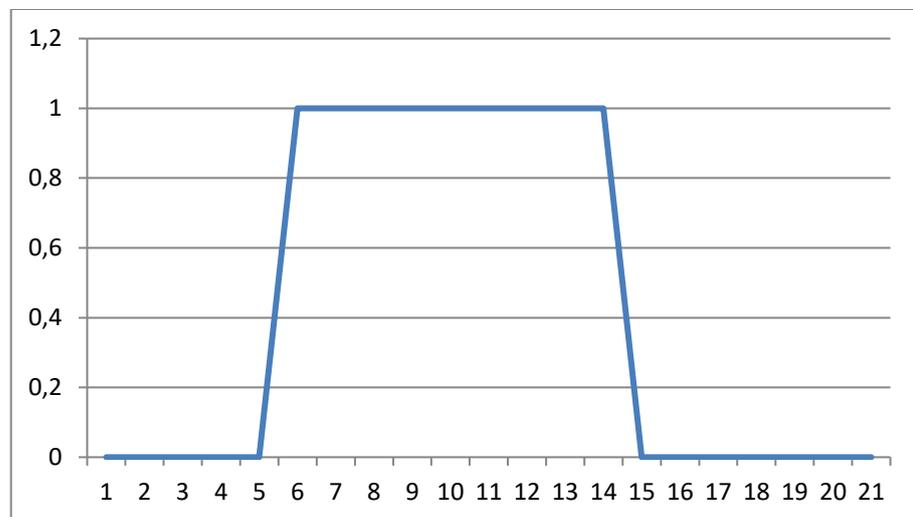


Рисунок 2.7 – Прием сигнала от кабеля без поглощения

Постепенное угасание сигнала приводит к тому, что приемник принимает сигнал в течении некоторого времени, что мешает правильно определить временную задержку. То есть возникает трудность при определении фазового сдвига. Эта проблема решается следующим образом. На конце кабеля необходимо установить фильтр, который пропускает только те лучи, которые падают на него под углом  $90$  градусов. Фильтр представляет из себя две пленки

с отверстиями, которые расположены друг против друга. Диаметры отверстий чуть больше длины волны света.

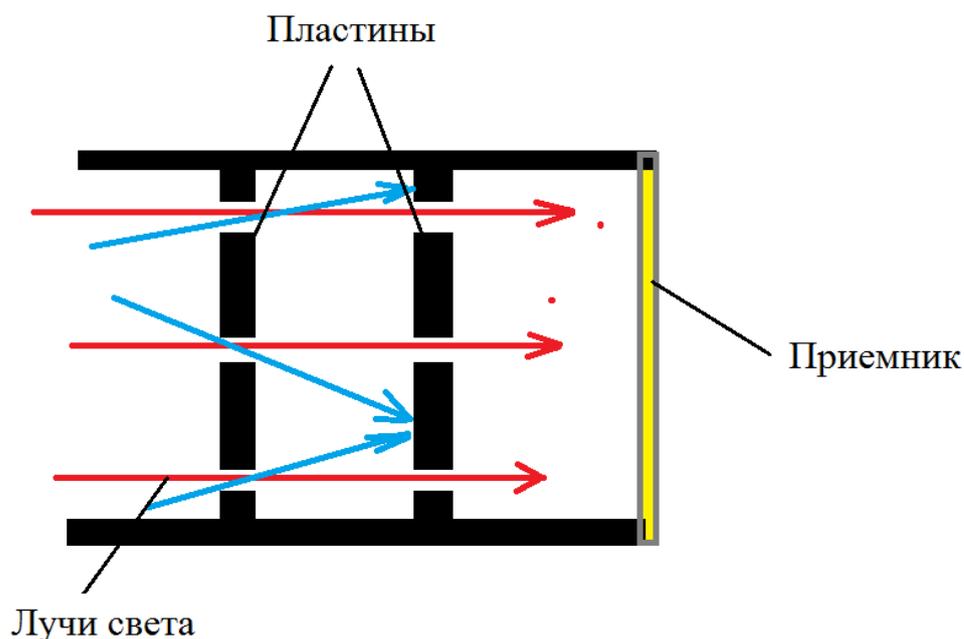


Рисунок 2.8 – Фильтр в конце оптоволоконного кабеля

Изготовление пленок с отверстиями диаметром около длины волны может быть осуществлено с помощью фотолитографии.

Предлагаемый мной датчик обладает одним неоспоримым преимуществом. Так как у него нет движущихся частей, и работает он не на основе инерции, то проблемы, возникающие из-за затухающих колебаний, решаются применением моего датчика.

### 2.2.3 Фильтрация случайных помех

Датчик получает сигнал от своего чувствительного элемента, роль которого играет приемник света, совмещенный с вычислительным устройством. Из-за несовершенства изготовления, так же и из-за случайного природного явления, датчик может зафиксировать случайные шумы. Эти шумы должны быть отфильтрованы. При этом фильтр не должен отфильтровывать полезные данные. Таким образом нужно как-то отделить полезные данные от случайных шумов, после чего уменьшить их влияние на сигнал.

Для фильтрации сигнала от шума, предлагается использование медианного фильтра. Медианный фильтр из всего массива чисел выбирает то значение, которое лежит по середине. Но это не арифметическая середина, а значение из массива чисел, которое лежит на одинаковом расстоянии от начала и конца списка чисел, выставленных по мере убывания или возрастания.

Для осуществления после приема сигнала от чувствительного элемента, вычислительный блок датчика должен сформировать массив чисел и применить

к нему медианную фильтрацию. Логика показана ниже (рисунок 10), фильтр представляет из себя логическую функцию, которая принимает массив данных, возвращает измененный массив после прохождения фильтра:

```
def sorting(mas):
    finish = False
    while finish == False:
        i = 0
        m = 0
        while i < len(mas):
            a = mas[i]
            b = mas[i+1]
            if a > b:
                mas[i] = b
                mas[i+1] = a
                m = 1
            i = i + 1
        if m = 1:
            finish = False
        else:
            finish = True
    return mas

def median_filter(mas):
    mas = sorting(mas)
    lenght = len(mas)
    num = lenght/2
    num_int = int(num)
    if num == num_int:
        i = num_int
    else:
        i = num_int - 1
    value = mas[i]
    return value
```

Рисунок 2.9 – Логика медианного фильтра

Ниже приведен (рисунок 2.10) пример использования медианного фильтра на случайной вариации данных.

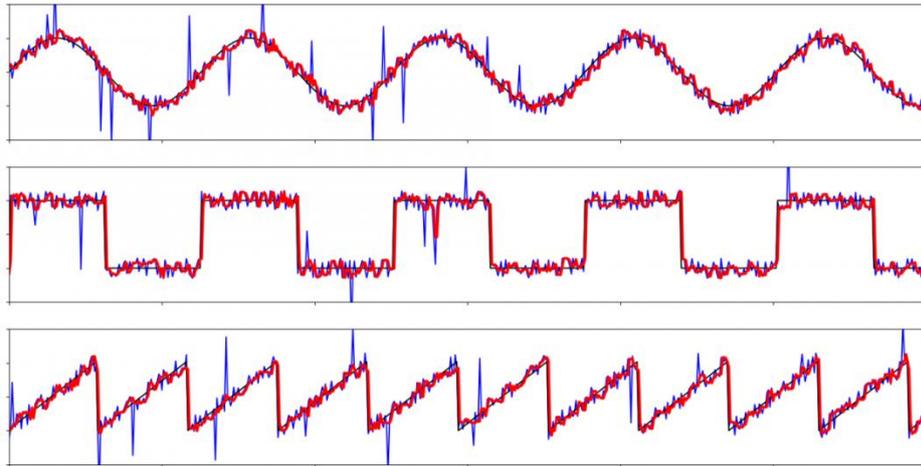


Рисунок 2.10 – Видоизменение сигнала после применения фильтра

Как видно из рисунка 2.10, медианный метод фильтрации отсеивает из всего потока значения, явно выбивающиеся из нормы, при этом не мешает приему сигнала во всем диапазоне амплитуд.

### 3 Разработка сети автоматической сети передачи данных от ВОД

#### 3.1 Логика работы датчиков и сети.

Датчик регистрирует сейсмические события все время (но не всякое из них является землетрясением). Показания чувствительного элемента датчика можно описать как (сложную) функцию во времени. Где два разных события представляют из себя участки функции.

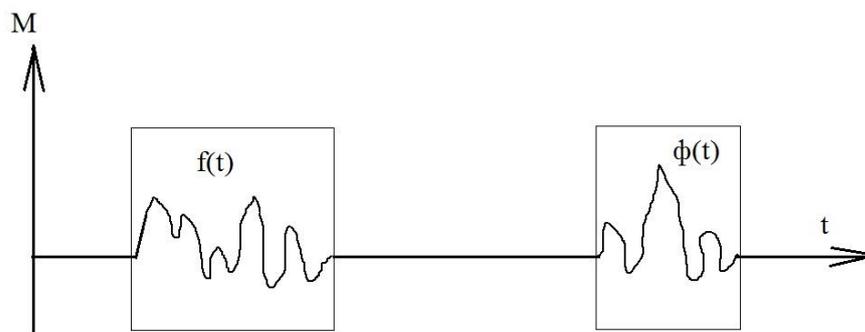


Рисунок 3.1 – Разные события на графике

$$F = f(t) \quad (3.1)$$

При этом эти участки не могут быть одинаковыми.

$$f(t) \neq \varphi(t) \quad (3.2)$$

Так же функция является сложной для обработки отдельным датчиком. Поэтому датчики просто получают измерение, и отправляют через сеть на базу, где мощные вычислительные устройства занимаются анализом данных и классификацией события. Датчик же работает по следующему алгоритму (рисунок 3.2).

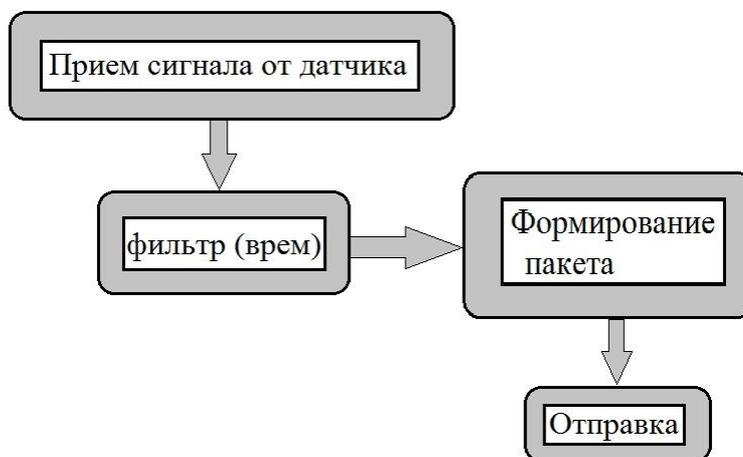


Рисунок 3.2 – Схема формирования пакета данных

То есть датчик занимается отправкой пакетов данных все время. При этом после отправки одного пакета данных и перед началом формирования неизбежно возникает пауза. Поэтому в датчиках происходит параллельное формирование двух пакетов, где начало одной порции отстает от другого на половину периода. Таким образом происходит взаимное перекрытие (рисунок 3.3). То есть все события охвачены, и любое событие будет зарегистрировано.

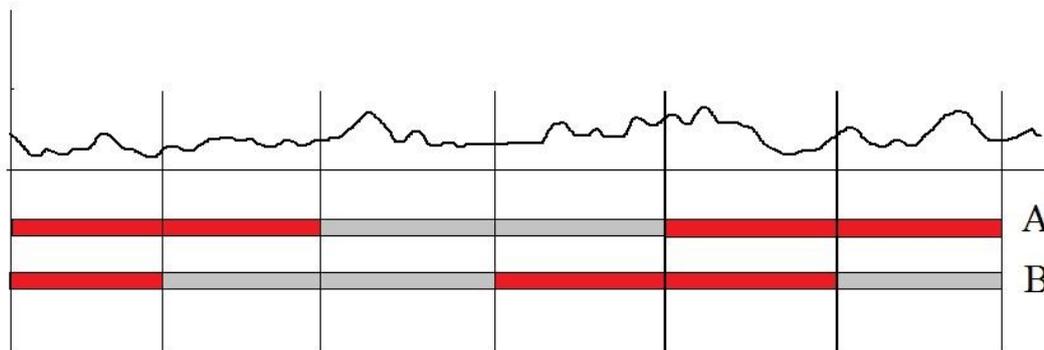


Рисунок 3.3 – Перекрытие пакетов данных

Если какое-либо событие попадает в стык между двумя пакетами, то это же событие находится ровно посередине пакета на другом канале.

Пакет данных представляет собой многомерный массив. Точнее массив из четырех, где последние элементы так же являются массивами:

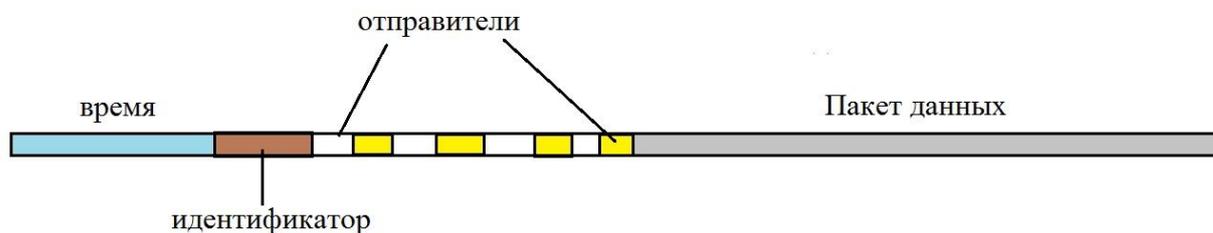


Рисунок 3.4 – Структура пакета данных

Первый элемент пакета (массива) – это время начала формирования пакета. Второй элемент – идентификатор пакета – уникальный код пакета данных. Его структуру разберем позже. Третий элемент – массив данных со списком всех отправителей. То есть это массив – представляющий список всех датчиков сети, через которые сигнал прошел. Этот список необходим что бы один датчик пропускал через себя один пакет только один раз. То есть один пакет возникнув проходит через все датчики сети только один раз, потом затухает. Это предохраняет сеть от возникновения бесконечно «блуждающих» сигналов. Так как база то же включена в сеть, пройдя через все точки сигнал неизбежно попадает и на базу. Распространение сигнала по сети происходит благодаря следующей логике датчиков.

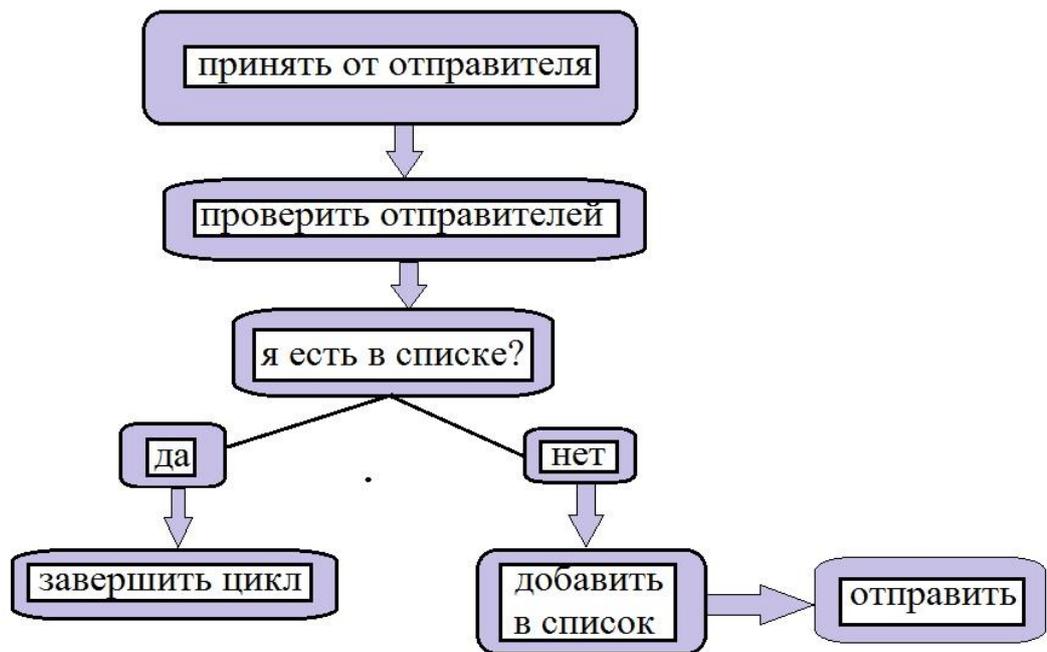


Рисунок 3.5 – Логика распространения данных по сети

После принятия сигнала от соседнего датчика, датчик проверяет список отправителей. Если в списке обозначен `mas` данный датчик, сигнал ранее проходил через него. В этом случае ничего не происходит и датчик выходит завершает цикл. Если же его в списке нет, то данный сигнал принимается датчиков впервые. В таком случае его имя (уникальный код датчика) добавляется в список отправителей, и пакет данных передается по сети всем соседям.

Алгоритм в виде показана ниже (рисунок 3.6):

```

def отправка_пакета(mas, my_name):
    list_of_senders = mas[3]
    if my_name in list_of_senders:
        return 0
    else:
        list_of_senders.append(my_name)
        mas[3] = list_of_senders
        return mas
  
```

Рисунок 3.6 – Логика отправки данных по сети

А идентификатор пакета представляет собой время начала формирования пакета и координаты первого (родительского) датчика.



Рисунок 3.7 – Структура идентификатора

### 3.2 Расчет времени и магнитуды

Датчики равномерно распределены по поверхности земли. То есть имеем географические координаты.

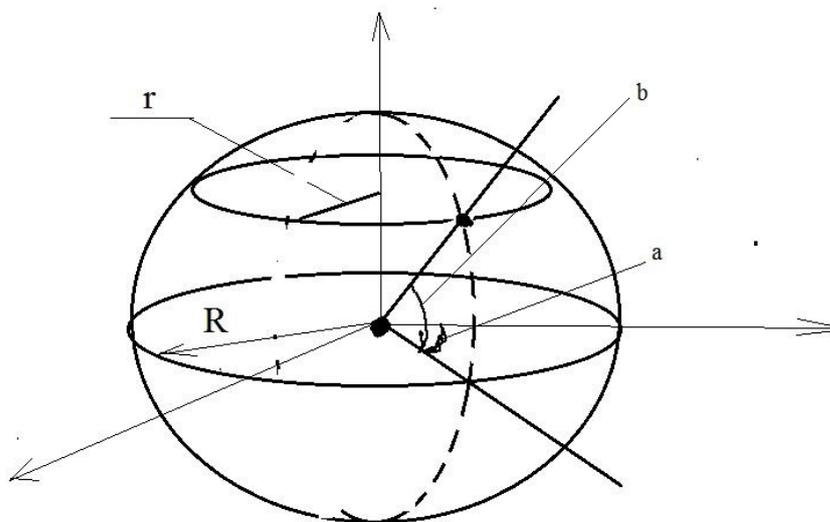


Рисунок 3.8 – Географические координаты и Декартова система координат

Но из-за того, что эпицентр землетрясения может находится глубоко (не на сфере, а внутри шара), то следует перейти к декартовой системе координат. Где координаты северного полюса  $(0;R;0)$ , а  $(R;0;0)$  – это точка пересечения экватора с меридианом Гринвич.

$R$  - радиус Земли. То есть  $Y$  координаты определяются по широте:

$$y = R \sin \beta \tag{3.2}$$

На этой широте радиус круга параллели легко вычислить:

$$r = R \cos \beta \tag{3.3}$$

То есть

$$x = r \cos \alpha \tag{3.4}$$

и

$$z = r \sin \alpha \quad (3.5)$$

Объединив полученные выражения получаем формулу перевода географических координат в декартовую.

$$\begin{cases} y = R \sin \beta \\ x = (R \cos \beta) \cos \alpha \\ z = (R \cos \beta) \sin \alpha \end{cases} \quad (3.6)$$

Если в недрах земли происходит сейсмическое событие, то через некоторое время ближайший датчик его регистрирует. Но из-за того, что координаты неизвестны, неизвестно и время события.

$t_0$ -начало выброса

$$t_0 = ? \quad (3.7)$$

Если предположить, что история происходит на плоскости, то датчики, находящиеся на разных расстояниях от эпицентра, зарегистрируют событие с некоторой временной задержкой.

$$(t_1 - t_0) \vartheta = r_1 \quad (3.8)$$

$$(t_2 - t_0) \vartheta = r_2 \quad (3.9)$$

$$(t_3 - t_0) \vartheta = r_3 \quad (3.10)$$

В этой системе уравнения 3 неизвестных. То есть координаты X и Y, так же время события. При достаточном количестве датчиков, количество неизвестных можно уравнять количеству уравнений

$$(t_1 - t_0) \vartheta = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad (3.11)$$

$$(t_2 - t_0) \vartheta = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2} \quad (3.12)$$

$$(t_3 - t_0) \vartheta = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2} \quad (3.13)$$

В таком случае уравнение становится решаемым. То есть координаты эпицентра и время события можно вычислить. Для трехмерной системы уравнение выглядит следующим образом:

$$(t_1 - t_0) \vartheta = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \quad (3.14)$$

$$(t_2 - t_0) \vartheta = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2} \quad (3.15)$$

$$(t_3 - t_0)\vartheta = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2} \quad (3.16)$$

$$(t_4 - t_0)\vartheta = \sqrt{(x_4 - x_0)^2 + (y_4 - y_0)^2 + (z_4 - z_0)^2} \quad (3.17)$$

В таком случае для вычисления минимальное количество датчиков – 4. При этом самый удаленный датчик должен быть расположен к эпицентру ближе, чем самый ближайшие НП.

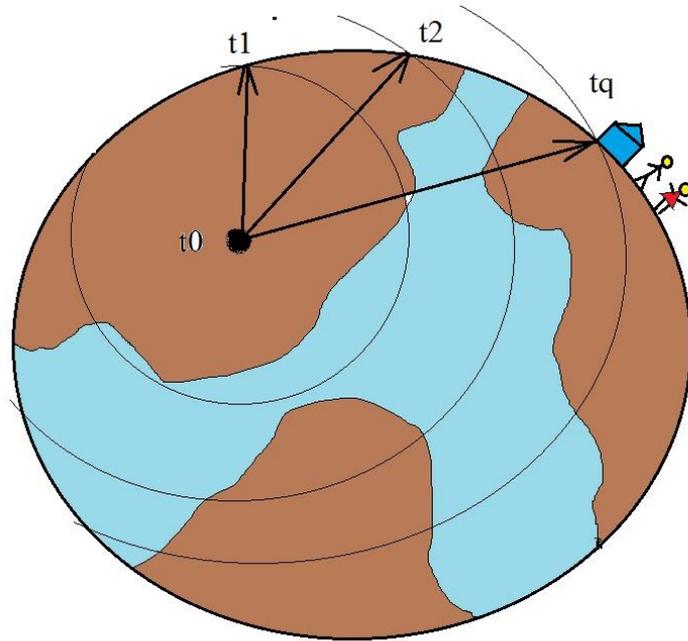


Рисунок 3.9 – Постепенное достижение волн до разных точек

В таком случае зная координаты эпицентра и время события, становится возможным предупредить и предугадать время землетрясения.

$$t_q = \frac{\sqrt{(x_q - x_0)^2 + (y_q - y_0)^2 + (z_q - z_0)^2}}{\vartheta} \quad (3.18)$$

Предположим, что Эпицентр расположен в 1000 км от города. А самые отдаленные датчики в 100 км от эпицентра. Учитывая, что передача и обработка сигналов происходит почти мгновенно и скорость сейсмической волны (ср 1000м/с), то от момента получения предупреждения то достижения землетрясения города в распоряжении 900 секунд (15 мин). Этого времени вполне достаточно для эвакуации из здания.

Так же сигналы сейсмических волн нужно отделить от случайных шумов. Этим занимается база. Это производится с помощью сопоставления данных нескольких датчиков. Как известно, сейсмодатчик может зафиксировать колебания почвы из-за строительных работ, взрывных работ, так же и из-за

вибрации двигателей переезжающих тяжелых автомашин. Но в отличии от сейсмических волн эти возмущения имеют небольшую энергию, поэтому не выходят за рамки зоны ответственности отдельных датчиков и гасятся очень быстро. А сейсмические волны из-за того, что имеют огромное количество энергии могут достигнуть многих сотен километров, поэтому база для обнаружения сейсмического события и фильтрации отдельных шумов, сопоставляет данные, полученные от разных датчиков. Поступление похожих сигналов от разных датчиков означает что где-то произошел выброс большого количества энергии. Это может свидетельствовать о произошедшем землетрясении.

### 3.3 Магнитуда

После регистрации события необходимо вычислить и магнитуду. Если имеем магнитуду на двух датчиках (разные значения), то зная расстояние каждого датчика от эпицентра можем вычислить коэффициент затухания.

$$\frac{M_1}{M_2} \div \frac{r_2^2}{r_1^2} = \mu \quad (3.19)$$

Этот коэффициент показывает сколько темп снижения магнитуды, за каждый пройденный путь.

$$\frac{M_1 r_1^2}{M_2 r_2^2} = \mu \quad (3.20)$$

Этот коэффициент затухания справедлив и для населенного пункта.

$$\mu = \frac{M_2}{M_q} \div \frac{r_q^2}{r_2^2} \quad (3.21)$$

То есть

$$\frac{M_2 r_2^2}{M_q r_q^2} = \frac{M_1 r_1^2}{M_2 r_2^2} \quad (3.22)$$

Отсюда

$$M_q r_q^2 M_1 r_1^2 = M_2 r_2^2 M_2 r_2^2 \quad (3.23)$$

В итоге получаем:

$$M_q = \frac{M_2^2 r_2^4}{r_q^2 r_1^2 M_1} \quad (3.24)$$

Данное выражение позволяет предварительно вычислить предполагаемую магнитуду землетрясения в населенном пункте.

## 4 Расчет расположения ВОД при сейсмоявлениях

### 4.1 Проблема равномерного распределения датчиков по поверхности

Проблема заключается в расположении датчиков на поверхности земли. Датчики должны располагаться на одинаковом расстоянии друг от друга, при этом максимально удаленно друг от друга.

То есть от одного датчика до соседнего должно быть такое же расстояние какое и до другого соседнего датчика. Это обеспечит равномерное распределение датчиков на поверхности (поверхность земли считаем идеальной сферой). Самое простое расположение произвольного количества точек на поверхности сферы — это расположить их, ровно поделить на меридианы, а на каждом меридиане равномерно расположить как по окружности. При этом каждый датчик «отвечает» за участок внутри трапеции, образованной точками пересечения воображаемой прямой и поверхности (рис). Но такое расположение создает две проблемы:

1. Расстояние между точками уменьшается при приближении к полюсу. Равномерность распределения получается только в районе экватора.

2. Точки размещаются в шахматных клетках. Если соединить 4 соседние точки получается квадрат. А диагональ квадрата больше, чем его сторона. То есть расстояние от точки до всех его соседей не одинаковое.

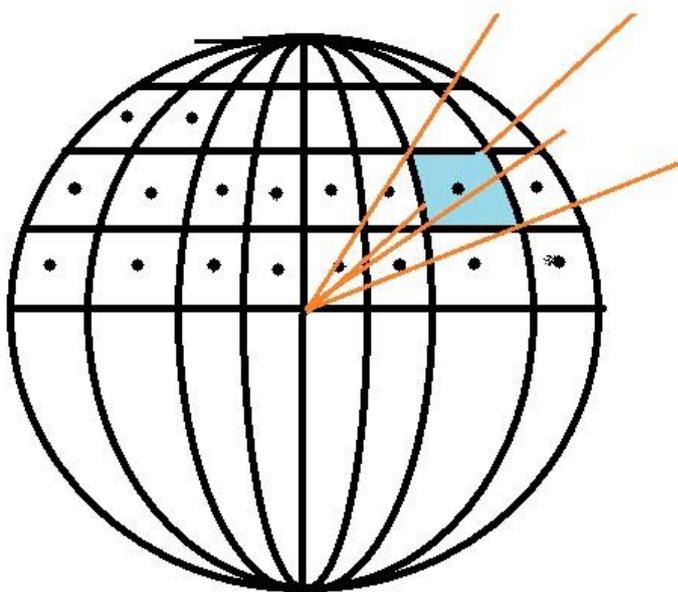


Рисунок 4.1 – Проблема распределения датчиков по поверхности

Из-за вышеперечисленных проблем возникает одна трудность. Площади контроля отдельных датчиков не равны. При правильном расположении и распределении точек на поверхности, эти площади должны быть одинаковы.

$$S_o = \frac{S_{ш}}{N_o} \quad (4.1)$$

На сегодня в математической науке нет ответа на вопрос равномерного расположения произвольного количества точек на поверхности сферы. Но если датчики должны охватить только ограниченный кусок территории, которую можно принять за плоскость, то рациональным будет разбить нужный участок (наблюдаемый участок) на шестиугольные соты, а датчики расположить в центре сот (рис-22).

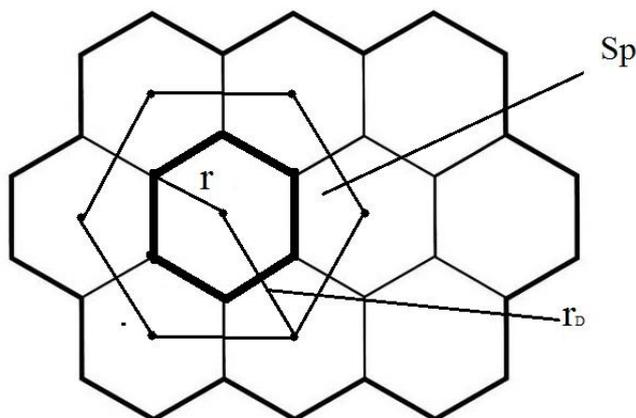


Рисунок 4.2 – Сотовая схема расположения датчиков

Это обеспечить и равномерность распределения, и равенство расстоянии от датчика до всех соседей. Если соединить соседних датчиков, то ячейка участка датчика окажется внутри еще большего гексагона. Шестиугольник участка датчика описана окружностью с радиусом  $r$  а до соседнего датчика расстояние  $r_d$ . Простой геометрический расчет дает нам формулу:

$$\frac{r_d}{2} = r \cos 30 \quad (4.2)$$

Учитывая, что

$$\cos 30 = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (4.3)$$

Получаем:

$$\frac{r_d}{2} = \frac{r\sqrt{3}}{2} \quad (4.4)$$

Сократив, получаем следующее выражение.

$$r_d = r\sqrt{3} \quad (4.5)$$

Это выражение описывает отношение расстояния между датчиками и радиуса окружности, описывающей гексагон участка датчика. Используя это, отношение легко вычислить отношения площадей двух гексагонов. Если учесть, что площадь правильной плоской фигуры, вписанной в окружность пропорциональна квадрату радиуса окружности, получаем выражение.

$$S_p = S_o(\sqrt{3})^2 = 3S_o \quad (4.6)$$

где  $S_p$  - площадь шестиугольника соседних датчиков

$S_o$  - площадь шестиугольника зоны ответственности датчика

Так как  $S_o$  определяется как отношение всеобщей площади контролируемой территории к количеству датчиков, получаем:

$$S_o = \frac{S_p}{3} = \frac{S_{\text{ит}}}{N_o} \quad (4.7)$$

Учитывая, что площадь большого шестиугольника определяется формулой:

$$S_p = \frac{3\sqrt{3}r_d^2}{2} \quad (4.8)$$

Получаем:

$$\frac{S_{\text{жс}}}{N} = \frac{\frac{3\sqrt{3}r_d^2}{2}}{3} = \frac{\sqrt{3}r_d^2}{2} \quad (4.9)$$

Отсюда

$$r_d^2 = \frac{2S_{\text{жс}}}{\sqrt{3}N} \quad (4.10)$$

Или

$$r_d = \sqrt{\frac{2S}{\sqrt{3}N}} \quad (4.11)$$

Полученная формула дает расстояние, на котором датчики должны быть расположены на контролируемом участке земли. При небольшой площади 15 000 000 км<sup>2</sup> кривизной земной поверхности можно пренебречь и не брать во внимание проблему диктаторов. При этом расположение датчиков относительно

друг другу должно быть такое что при соединении шести соседних датчиков, образовался правильный шестиугольник.

## 4.2 Надежность сети

Вышерекommenованное расположении датчиков сети помимо равномерного распределения по поверхности еще и дает наибольшую надежность. Датчики сети соединены между собой. Каждый датчик соединен только с соседними датчиками. Отдельного соединения каждого датчика с базой нет. Информация (сигнал) передается от датчика на базу не напрямую а через другие датчики. Каждый датчик, получив сигнал от соседа распространяет его дальше, то есть передает соседям. Так сигнал распространяется по всей сети, пока не достигнет базы. Если упростить, алгоритм датчиков такой – «услышав крик, кричи». Надежность системы определяется как вероятность того, что сигнал дойдет до определенного датчика от другого. Рассмотрим надежность сотовый сети и квадратной сети.

Для начала разберем надежность гексагональной сотовой сети (рис-23). Нужно рассчитать надежность передачи данных от датчика, отмеченного кружками (эпицентр), к датчику, помеченной стрелкой.

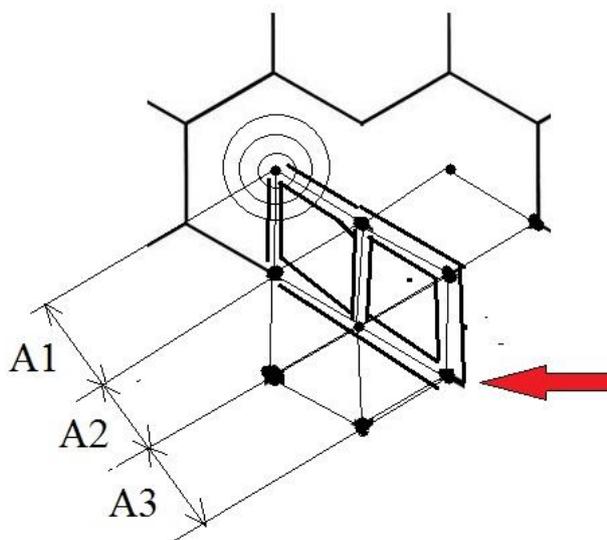


Рисунок 4.3 – Пути поступления сигнала

Пусть вероятность отказа при передаче данных от одного датчика к другой будет 1 процент. На рисунке указаны кратчайшие пути передачи данных. При обширной сети таких путей намного больше, но для простоты рассмотрим эти.

$$A = 0.01 (1\%) \quad (4.12)$$

То есть надежность оптоволоконного канала между двумя датчиками 99 процентов.

$$B = 99\% (0.99) \quad (4.13)$$

Первый датчик передает сигнал к двум соседним датчикам. То есть сигнал так как датчиков 2, вероятность отказа уменьшается в два раза. То есть вероятность того, что сигнал преодолет первый участок:

$$B_1 = 1 - A^2 \quad (4.14)$$

Вторая степень означает что на этом участке пути сигнала два канала. Далее сигнал должен преодолеть второй участок. Так как на этом участке каналов 3, вероятность успешной передачи данных:

$$B_2 = 1 - A^3 \quad (4.15)$$

Далее снова 2 канала, то есть:

$$B_3 = 1 - A^2 \quad (4.16)$$

В итоге общая надежность системы (сети) вычисляется формулой.

$$B_{ж} = (1 - A^2) \times (1 - A^3) \times (1 - A^2) \quad (4.17)$$

Подставив значения получаем:

$$B_{ж} = 0.9999 * 0.9999 * 0.999999 = 0.999799 \quad (4.18)$$

То есть надежность сети представляет в данном случае 99,9799 процентов.

Теперь рассмотрим второй вариант. Здесь аналогичное расстояние между первым и конечным датчиками. Но расположены датчики в квадратных ячейках. В таком случае путь сигнала можем разделить на 4 равные части.

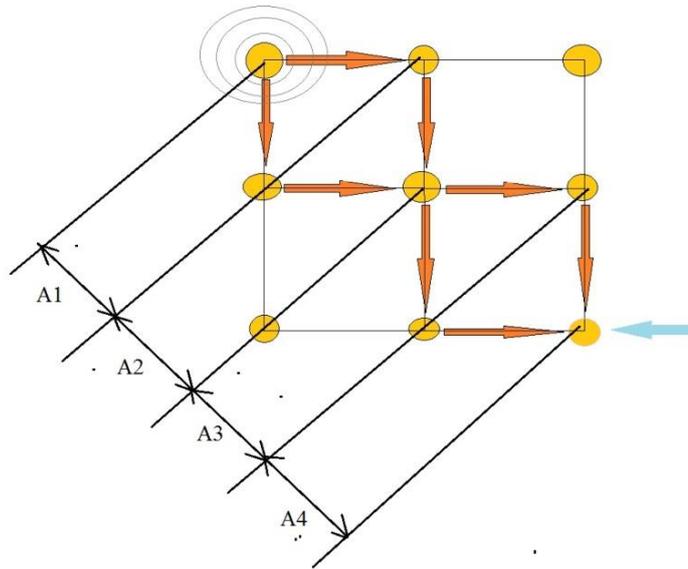


Рисунок 4.4 – Распределение по сетке  
Вероятность безотказной работы сети на каждом участке:

$$B_n = 1 - A^2 \quad (4.19)$$

Так как таких участков – 4: надежность определяется путем перемножения вероятностей:

$$B_{ж} = B_n^n = (1 - A^2)^4 = 0.9999^4 = 0.9996 \quad (4.20)$$

В итоге получаем следующие результаты надежности. Для гексагона:

$$A_{jp} = 0.000201 \quad (4.21)$$

Для квадрата

$$A_{jq} = 0.0004 \quad (4.22)$$

Как видно из выражения:

$$\frac{A_{jq}}{A_{jp}} = \frac{0.0004}{0.000201} = 1.99 \approx 2 \quad (4.23)$$

Расположение датчиков в гексагонной сети дает надежность в два раза выше, чем, квадратная сеть.

### 4.3 Цифровое решение проблемы равномерного распределения датчиков

Как было сказано выше равномерное распределение датчиков по поверхности земли имеет немаловажное решение для надежной работы сети. Предлагаемый выше способ размещения в виде гексагона отличается надежностью и простотой, но при этом имеет серьезный недостаток. Такое распределение датчиков обеспечит корректную работу сети только при их размещении на небольшой площади (менее 10 000 кв км), то есть при такой площади, при которой можно пренебречь сферической поверхностью Земли.

Если же нам необходимо равномерно разместить N количество датчиков по всей Земле, то возникает проблема. Задача равномерного распределения произвольного количества точек по поверхности сферы не имеет математического решения. Точнее – она не решена. При таком раскладе необходимо решить задачу с помощью симуляции. Для этого мной был написан код, который реализует это решение.

Код представляет из себя инструкцию по размещению точек на поверхности сферы. При запуске он запрашивает количество точек (N), координаты базы и количество итерации. После чего создает N-1 точек на поверхности сферы в случайных местах. После создания точек первую точку отдаляет от другой, при этом сила отталкивания обратно пропорциональна угловому расстоянию между точками. Далее отдаляет от следующей точки, когда данная точка последовательно отдалена от всех точек, переходит к следующей точке. Когда все точки обработаны, заканчивается одна итерация. Количество итерации напрямую влияет на точность конечного результата. В конце каждой операции обновленные координаты точки записывается в многомерный массив. После завершения работы на экран выводится список датчиков с координатами.

Координаты имеют особенность: широта и долгота не имеют приставку южный-северный и восточный-западный, а имеют значение от 0 до 360. То есть, к примеру, широта южного полюса не 90 градусов южной широты, а 270. Вычисления производятся в радианах, но ввод и вывод в градусах, для удобства.

При симуляции на 50 точках с количеством итерации 100 были получены следующие результаты (таблица 4.1):

Таблица 4.1 – Координаты точек, полученные после симуляции

1 Широта: 313.9807073278327 Долгота: 221.78683217874146
2 Широта: 169.54871603240463 Долгота: 163.15617676491883
3 Широта: 345.0728207427343 Долгота: 101.88204502557392
4 Широта: 94.42920943047216 Долгота: 163.99708424916886
5 Широта: 145.73218558448843 Долгота: 137.83433021861234
6 Широта: 174.01062962663445 Долгота: 187.23277623533758
7 Широта: 194.3625464311491 Долгота: 329.0729506944276

Продолжение Таблицы 4.1 – Координаты точек, полученные после симуляции

8	Широта: 190.73728727321105	Долгота: 283.6090334495783
9	Широта: 182.3767020681687	Долгота: 143.15886883092844
10	Широта: 176.91267276218522	Долгота: 237.7815503309864
11	Широта: 13.895513441334707	Долгота: 307.8205084076982
12	Широта: 345.440595657582	Долгота: 85.82969016536231
13	Широта: 119.67887691174793	Долгота: 118.45633984892747
14	Широта: 172.03298627516995	Долгота: 219.08016435840835
15	Широта: 165.43597306280944	Долгота: 148.66020960242162
16	Широта: 331.608426975783	Долгота: 230.46353521697455
17	Широта: 65.24996885417573	Долгота: 298.1488142308082
18	Широта: 310.5325458341468	Долгота: 272.2677159142458
19	Широта: 166.44024513632675	Долгота: 132.7614585445075
20	Широта: 193.04239837226797	Долгота: 250.13621235014935
21	Широта: 167.44384424294455	Долгота: 117.31676492047453
22	Широта: 166.1055665090391	Долгота: 101.18849365128325
23	Широта: 163.87543399843068	Долгота: 203.84461067835673
24	Широта: 15.004590349740692	Долгота: 260.1727105114777
25	Широта: 50.89745466312754	Долгота: 278.04194578706193
26	Широта: 345.7905836749575	Долгота: 120.81152440546342
27	Широта: 150.4748925405042	Долгота: 171.97575685107464
28	Широта: 234.41718706091527	Долгота: 323.60725388883594
29	Широта: 163.73401833170703	Долгота: 67.55162180904355
30	Широта: 342.51970004575907	Долгота: 300.9306051423702
31	Широта: 164.90474438515625	Долгота: 19.84687059671423
32	Широта: 162.94448580487193	Долгота: 185.0313585711099
33	Широта: 162.4159111163816	Долгота: 52.00128116255837
34	Широта: 301.50528412806773	Долгота: 77.87002105641386
35	Широта: 194.48960550448888	Долгота: 268.78400312704406
36	Широта: 348.04929668695803	Долгота: 206.5962368376861
37	Широта: 191.1494192425241	Долгота: 168.57708368238133
38	Широта: 29.26620522837768	Долгота: 315.40556913814737
39	Широта: 14.70597414568151	Долгота: 287.2636921295478
40	Широта: 162.35022612914113	Долгота: 35.71863893352215
41	Широта: 14.238840344006444	Долгота: 330.1185437322843
42	Широта: 283.21323446658823	Долгота: 238.4995173439144
43	Широта: 342.5738166906065	Долгота: 55.95961923521797
44	Широта: 342.1220403510804	Долгота: 35.92409145501447
45	Широта: 114.64245185086098	Долгота: 163.3923579811922
46	Широта: 163.60976763230488	Долгота: 84.64596737003484
47	Широта: 139.78454228121	Долгота: 103.9177889344572

48 Широта: 342.06168448606695 Долгота: 72.4161555383863
49 Широта: 73.08039471185882 Долгота: 347.20163274891803

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная дипломная работа была посвящена разработке сейсмических датчиков на основе оптических волокон. В ходе выполнения работы были поставлены и выполнены следующие задачи:

Была разработана сеть датчиков для определения места и времени землетрясения. Для этого датчики в сети были расположены таким образом, чтобы через друг друга передавать данные на базу для анализа и принятия решения. Датчики соединены друг с другом посредством оптического кабеля, что способствует увеличению скорости передачи данных. Так же из-за того, что кабели не металлические, они защищены от случайных помех, возникающих из-за электромагнитного поля.

Был разработан датчик на основе оптического волокна. Работа датчика основана на измерении фазового сдвига синусоидальных сигналов, получаемых через трубку и оптический кабель. Из-за того, что в датчике нет механических и инерционных элементов, предлагаемый датчик полностью защищен от эффекта затухающих колебаний, которые могут оказать негативное влияние на оценку события.

Так же была составлена логика работы элементов датчика. Она обеспечивает совокупную работу датчиков в сети и обеспечивает фильтрацию недействительных данных, так же обеспечивает удаление из сети неактуальных сигналов.

Структура сети датчиков и логика их работы обеспечивает поступление сигнала из любого датчика на базу, даже если повреждены некоторые участки сети.

Таким образом можем заключить что поставленные задачи выполнены. Предлагаемая система может помочь в деле обнаружения землетрясения и предупреждения до достижения сейсмических волн населенных пунктов и инфраструктурных сооружений.

Серьезным недостатком системы является то, что, ее успешное функционирование требует создание глобальной системы оповещения по всей Земле. А это требует интеграцию в систему всех государств соучастников.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ**

НП- низкая плотность.

ОСР- общая сейсмическая районирования.

MSK-64- 12-балльная шкала интенсивности землетрясений Медведева-Шпонхойера- Карника.

ВОД- волоконно-оптическая датчик.

АЦП- Аналогово-цифровой преобразователь.

Гексагон- правильный многоугольник с шестью сторонами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавричев В.Д. Дмитриев А.Л. Волоконно-оптические датчики магнитного поля. – СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013. – 83 с.
2. Эрик Удд. Волоконно-оптические датчики., М.: Техносфера, 2008 г. – 508 с.
3. Tulaykova T. Fiber optic sensors for environmental applications, Germany., LAP-LAMBERT – 2012, 209 p.
4. Дюбов А.С. Лабораторная установка по исследованию ВОД на основе решеток Брэгга – УДК 681.7 МНТК СПб., - 2021 г с. 333-337 с
5. Боганик Г.Н. Сейсморазведка -Тверь, АИС - 2006, 375 с
6. Короновский Н.В. Землетрясения: Причины, последствия, прогноз. М.: МГУ.: Соросовский образовательный журнал, №12, 1998 г – 71-78 с
7. История алматинских землетрясений
8. Патент по прогнозу землетрясений на базе ВОД
9. Иванов Ф.И. Интенсивность и сейсмические воздействие землетрясений - Автореферат докторской диссертации
10. Силутина Е.М. Разработка стенда для калибровки ВОД деформации кручения, Вестник МГТУ, 2006 №1- 5 с
11. Пнев А. Оптико-электронно-измерительные системы, Дисс. раб. М.: МГТУ – 2008, 176 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код для расчета равномерного распределения датчиков на поверхности земли

```
import random
pi_num = 3.1415926535898
bal_const = 0.00119621688

def ang_correct_360(ang):
    ang_of_circle = 2*pi_num
    while ang > ang_of_circle:
        ang = ang - ang_of_circle
    return ang

def my_sin(x):
    while x > pi_num:
        x -= 2 * pi_num
    while x < -pi_num:
        x += 2 * pi_num
    sin_x = x
    term = x
    n = 1
    while abs(term) > 1e-10:
        term *= - (x * x) / ((2 * n) * (2 * n + 1))
        sin_x += term
        n += 1
    return sin_x

def max_move_force(ang_distance):
    force = bal_const/(ang_distance**2)
    betta = (pi_num/2) + (ang_distance/2)
    result = force * my_sin(betta)
    return result

def my_arcsin(num):
    if num > 1:
        num = 1
    if num < -1:
        num = -1
    arcsin = num
    term = num
    n = 1
    while abs(term) > 1e-10:
```

```

    term *= (num * num * (2 * n - 1) * (2 * n - 1)) / ((2 * n) * (2 * n + 1))
    arcsin += term
    n += 1
return arcsin

```

```

def my_cos(ang):
    sin = my_sin(ang)
    cos = (1-(sin*2))*0.5
    if (ang > pi_num/2) and (ang < pi_num+(pi_num/2)):
        cos = - cos
    return cos

```

```

def coord_of_point(alfa,betta):
    y = my_sin(alfa)
    r = abs(my_cos(alfa))
    z = r * my_sin(betta)
    x = r * my_cos(betta)
    mass = [x,y,z]
    return mass

```

```

def distance_between_poitns(x_1,y_1,z_1,x_2,y_2,z_2):
    result = (((x_1 - x_2)*2)+((y_1 - y_2)2)+((z_1 - z_2)2))*0.5
    return result

```

```

def ang_between_points(alfa_1,betta_1,alfa_2,betta_2):
    alfa_1 = ang_correct_360(alfa_1)
    betta_1 = ang_correct_360(betta_1)
    alfa_2 = ang_correct_360(alfa_2)
    betta_2 = ang_correct_360(betta_2)
    mass = coord_of_point(alfa_1,betta_1)
    x_1 = mass[0]
    y_1 = mass[1]
    z_1 = mass[2]
    mass = coord_of_point(alfa_2,betta_2)
    x_2 = mass[0]
    y_2 = mass[1]
    z_2 = mass[2]
    dis = distance_between_poitns(x_1,y_1,z_1,x_2,y_2,z_2)
    abp = 2*(my_arcsin(dis/2))
    return abp

```

```

def move(alfa_1,betta_1,alfa_2,betta_2):
    ang_distance = ang_between_points(alfa_1,betta_1,alfa_2,betta_2)

```

```

while ang_distance < 0.00000001:
    alfa_2 = alfa_2 + 0.000000001
    betta_2 = betta_2 + 0.000000001
    ang_distance = ang_between_points(alfa_1,betta_1,alfa_2,betta_2)
max_move = max_move_force(ang_distance)

def ax_mov(ang_1,ang_2):
    dif = ang_2 - ang_1
    m = (dif/ang_distance)*max_move
    if abs(dif) > pi_num:
        m = (0-m)
    ang_2 = ang_2 + m
    if ang_2 < 0:
        ang_2 = ang_2 + (2*pi_num)
    return ang_2

alfa_2 = ax_mov(alfa_1,alfa_2)
betta_2 = ax_mov(betta_1,betta_2)
while alfa_2 > (2*pi_num):
    alfa_2 = alfa_2 - (2*pi_num)
while betta_2 > (2*pi_num):
    betta_2 = betta_2 - (2*pi_num)
new_cord = [alfa_2,betta_2]
return new_cord

def creat_new_point():
    alfa = (2*pi_num)*random.random()
    betta = (2*pi_num)*random.random()
    new_point_cordinates = [alfa,betta]
    return new_point_cordinates

def esc_from_all_points(point_number):
    i = 0
    while i < len(points):
        if i == point_number:
            i = i + 1
        else:
            cord_of_1_point = points[i]
            cord_of_2_point = points[point_number]
            alfa_1 = cord_of_1_point[0]
            betta_1 = cord_of_1_point[1]
            alfa_2 = cord_of_2_point[0]
            betta_2 = cord_of_2_point[1]
            new_cord = move(alfa_1,betta_1,alfa_2,betta_2)

```

```

        points[point_number] = new_cord
        i = i + 1
    return new_cord

```

```

n = int(input('Введите количество точек: '))
alfa_base = float(input('Введите координаты базы по широте: '))
beta_base = float(input('Введите координаты базы по долготе: '))
limit = int(input('Введите количество итерации: '))
alfa_base = (alfa_base*pi_num)/180
beta_base = (beta_base*pi_num)/180
points = []
base_point = [alfa_base,betta_base]
points.append(base_point)
i = 1
while i < n:
    npc = creat_new_point()
    points.append(npc)
    i = i + 1

```

```

iteretor = 0
while iteretor <= limit:
    point_number = 1
    while point_number < n:
        new_cord = esc_from_all_points(point_number)
        points[point_number] = new_cord
        point_number = point_number + 1
    iteretor = iteretor + 1

```

```

a = 1
while a < len(points):
    mass = points[a]
    ang_1 = mass[0]
    ang_1 = (ang_1*180)/pi_num
    ang_2 = mass[1]
    ang_2 = (ang_2*180)/pi_num
    print (a,' Широта: ',ang_1,' Долгота: ',ang_2)
    a = a + 1

```

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Қайратқызы Балғын

6B07121–Космическая техника и технологии

На тему: «Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе волоконно-оптических датчиков- ВОД»

В настоящей дипломной работе представлены 4 основных раздела, текст который изложен на 40 страницах, на которых имеется 24 рисунков.

Дипломная работа Қайратқызы Балғын, посвященная созданию устройства для изучения сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на основе волоконно-оптических датчиков (ВОД), представляет собой современное исследование актуальной и важной научно-технической направленности.

Актуальность исследования обусловлена возрастной необходимостью проведения датчиков. Использование волоконно-оптических датчиков для целей является перспективным направлением благодаря их высокой чувствительности, чувствительности и способности передавать данные на большие расстояния.

В работе представлено новое решение, основанное на использовании волоконно-оптических датчиков для детектирования и анализа сейсмических волн. Предложенное устройство основана на измерении фазового сдвига синусоидальных сигналов, получаемых через трубку и оптический кабель. Из-за того, что в датчике нет механических и инерционных элементов, предлагаемый датчик полностью защищен от эффекта затухающих колебаний, которые могут оказать негативное влияние на оценку события.

Работа написана последовательно, четко и ясно. Выполненная работа в полной мере отвечает поставленной цели. Оформление работы отвечает принятым стандартам.

Таким образом, дипломная работа студента Қайратқызы Балғын заслуживает оценки 93 %, а дипломник Қайратқызы Балғын присуждения академической степени «Бакалавр» 6B07121 по Образовательной программе «Космическая техника и технологии».

Научный руководитель:

к.т.н., ассоциированный профессор

Таштай Е.

«30»

2024 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Қайратқызы Балғын

6B07121–Космическая техника и технологии

**На тему: «Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на  
базе волоконно-оптических датчиков- ВОД»**

Выполнено:

- а) графическая часть на 24 листах
- б) пояснительная записка на 40 страницах

Проект посвящен разработке устройства для сейсмоявлений в рамках 4-9 баллов с использованием волоконно-оптических датчиков (ВОД). Актуальность данного исследования обусловила необходимость повышения точности и надежности сейсмического датчика, что имеет решающее значение для учета катастрофических последствий землетрясений.

Достоинства этого проекта:

- Высокая чувствительность и точность: ВОД обладают высокой чувствительностью, что позволяет фиксировать даже незначительные колебания земли.
- Долговечность и надежность: Оптические волокна имеют длительный срок эксплуатации и устойчивость к воздействиям, что повышает надежность системы.
- Минимальные помехи и воздействия: Использование оптических кабелей позволяет снизить уровень электрических помех и помех, характерных для традиционных электронных датчиков.

В заключении проект "Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе волоконно-оптических датчиков" представляет собой западный шаг вперед в области сейсмического датчика. Высокая точность, надежность и эксплуатация ВОД делают это перспективным решением для широкого применения. Однако дальнейшее совершенствование в области программного обеспечения и снижение затрат на производство могут сделать это требование еще более привлекательным и доступным.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

Дипломная работа выполнена на оценку 90/А/ «отлично», а дипломант, Қайратқызы Балғын степени бакалавр специальности 6B07121–Космическая техника и технологии.

Рецензент:

Руководитель Лаборатории  
ТОО «ИКТТ», к.т.н. **Доцент**

 Инчин А.С.  
«07» 06 2024 г.



**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: Қайратқызы Балғын**

**Тақырыбы: Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД)**

**Жетекшісі: Ерлан Таштай**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 2**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 0**

**Дәйексөз (35): 1.8**

**Әріптерді ауыстыру: 2**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 9**

**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:**

10.06.2024  
Күні

Кафедра меңгерушісі



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Қайратқызы Балғын

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД)

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 9

Знаки из других алфавитов: 2

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:

10.06.2024

Дата

Заведующий кафедрой



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Қайратқызы Балғын

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Создание устройства по изучению сейсмоявлений в диапазоне 4-9 баллов на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД)

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 9

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

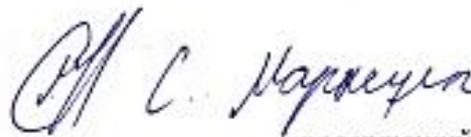
Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

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:

10.06.2019  
Дата

  
проверяющий эксперт