

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

**РЕГИСТРАЦИЯ И АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА
МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АВТОДИННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

студента 2 курса 2221 группы

направления 03.04.02 «Физика», профиль «Медицинская физика»

код и наименование направления

института физики

наименование факультета, института


Князева Андрея Алексеевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

д.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

 09.06.2023
подпись, дата


С.Ю. Добдин

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

 13.06.23
подпись, дата

Ан.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

Саратов 2023 г.

Введение

Окуломоторная активность является необходимым компонентом психических процессов, которые связаны с получением, преобразованием и использованием зрительной информации, а также состояний, деятельности и общения человека. Следовательно, регистрируя и анализируя движения глаз с помощью бесконтактных методов измерения, существует возможность получить доступ к внутренним формам активности человека, которые очень часто происходят быстро и неосознанно. Одной из актуальных областей применения метода, является диагностика глазодвигательного аппарата человека в медицине. Высокая чувствительность датчиков на основе автодинного детектирования позволит проводить регистрацию различных движений глазного яблока, среди которых особое внимание уделяется тремору, саккадам и дрейфу. Анализ рассматриваемых видов движений позволяет определить возможные нарушения в работе глазодвигательной системы. Отсюда и возникает необходимость нахождения способов увеличения разрешающей способности уже известных бесконтактных методов.

Данная работа посвящена изучению и анализу существующих методов регистрации движений глазного яблока, основанных на использовании инфракрасного лазера, проведению компьютерного моделирования, а также проведению эксперимента по регистрации тремора глаза человека с использованием установки на базе полупроводникового лазерного автодина.

Все вышеуказанные данные подтверждают *актуальность исследований методов определения параметров движения глазного яблока по полученному автодинному сигналу полупроводникового лазера и спектру.*

В связи с актуальностью поисков наиболее подходящего метода определения параметров движения *целью работы является разработка метода регистрации и методов анализа движений глазного яблока с использованием инфракрасного полупроводникового лазерного автодина.*

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

- *Провести критический анализ методов определения параметров движения глаза при микро- и наносмещениях.*
- *Провести компьютерное моделирование, позволяющее определить движения глазного яблока по спектру полупроводникового лазерного автодина с применением оконного преобразования Фурье.*
- *Экспериментально определить параметры движения глазного яблока на различных участках движения по спектру автодинного сигнала полупроводникового лазера.*

Новизна работы: в работе показаны возможности разработанного метода регистрации движений глазного яблока с использованием инфракрасного полупроводникового лазерного автодина. Показаны методы анализа параметров движения глазного яблока с применением оконного преобразования Фурье и ручного с подсчетом максимумов на участке сигнала. Методики могут быть применимы в клинических исследованиях для диагностики окуломоторной активности человека.

Анализ автодинного сигнала по минимумам и максимумам

Первым методом определения параметров движений глазного яблока стал анализ автодинного сигнала по минимумам и максимумам с использованием программной среды MathCAD.

Используя разработанную программу, удалось произвести анализ и обработку зарегистрированных сигналов.

Для дальнейшей обработки был выбран сигнал Signl_1 , так как именно он не обладает большими шумами и имеет явные участки с различными значениями амплитуды.

Для последующей обработки и вычисления параметров движений глазного яблока, сигнал необходимо разделить на исследуемые области, как показано на рис. 1.

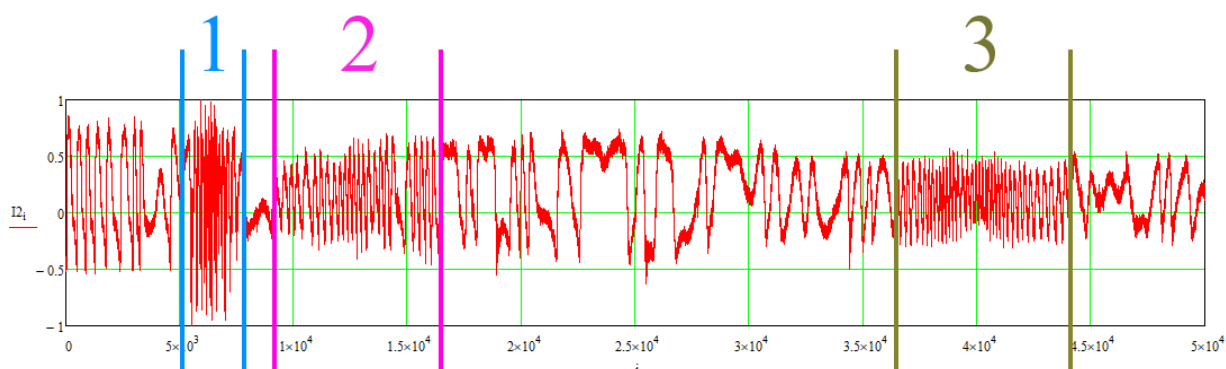


Рис.1. Выделение областей автодинного сигнала при движении глазного яблока слева направо.

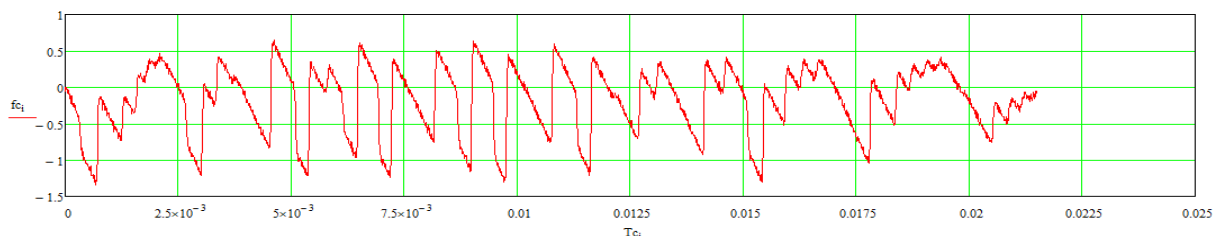


Рис.2. Участок №1 автодинного сигнала при движении глазного яблока слева направо.

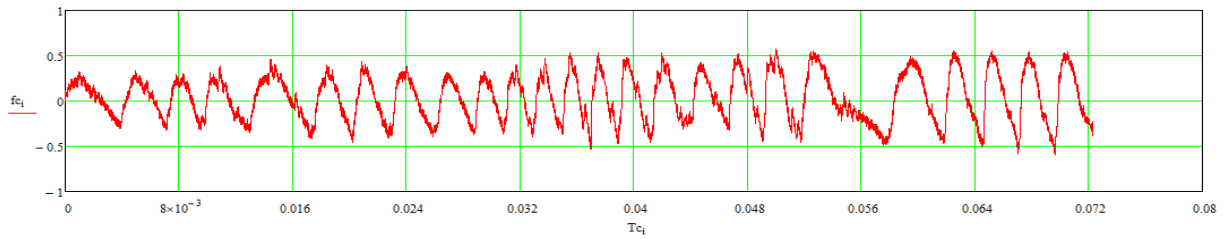


Рис.3. Участок №2 автодинного сигнала при движении глазного яблока слева направо.

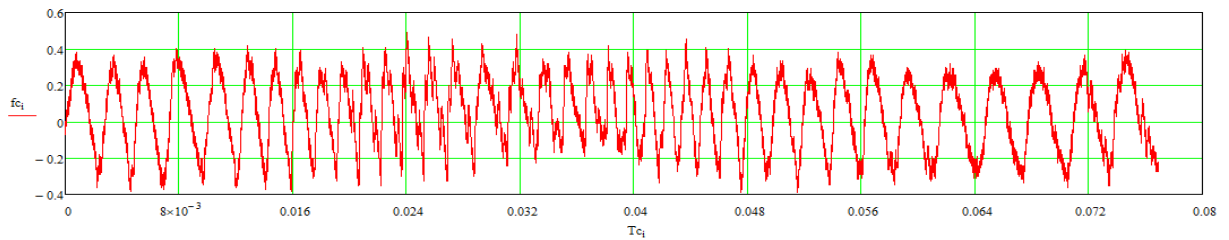
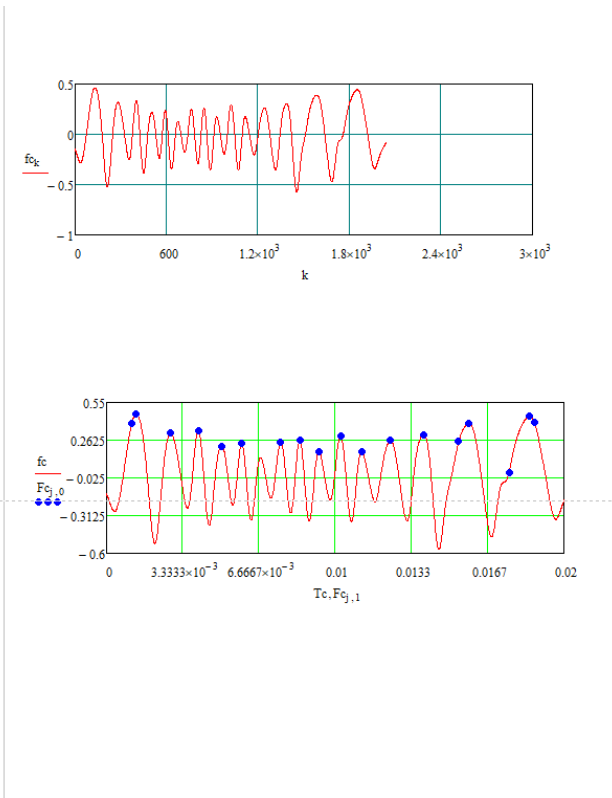
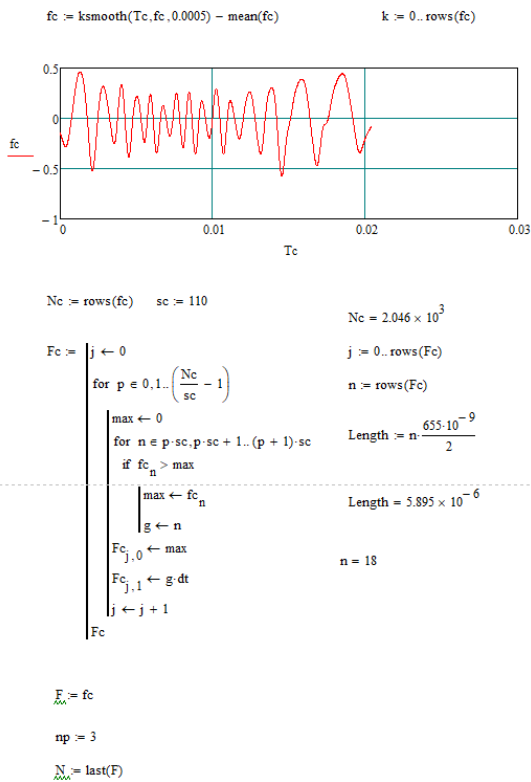


Рис.4. Участок №3 автодинного сигнала при движении глазного яблока слева направо.

Следующим этапом в работе, необходимо сгладить полученные участки сигнала и избавиться от высокочастотных шумов с использованием встроенной функции - `ksmooth(x,y,b)`, где x и y — векторы данных, b — ширина окна сглаживания.

Также для вычисления пройденного расстояния необходимо определить максимумы участка.



	0	1
0	0.39	1.1·10 ⁻³
1	0.463	1.3·10 ⁻³
2	0.318	2.8·10 ⁻³
3	0.333	4.01·10 ⁻³
4	0.217	5.02·10 ⁻³
5	0.237	5.91·10 ⁻³
6	0.246	7.62·10 ⁻³
7	0.262	8.45·10 ⁻³
8	0.174	9.29·10 ⁻³
9	0.296	0.01
10	0.176	0.011
11	0.261	0.012
12	0.305	0.014
13	0.252	0.015
14	0.39	0.016
15	0.017	...

Рис.5. Фрагмент блока программирования MathCAD для анализа автодинных сигналов.

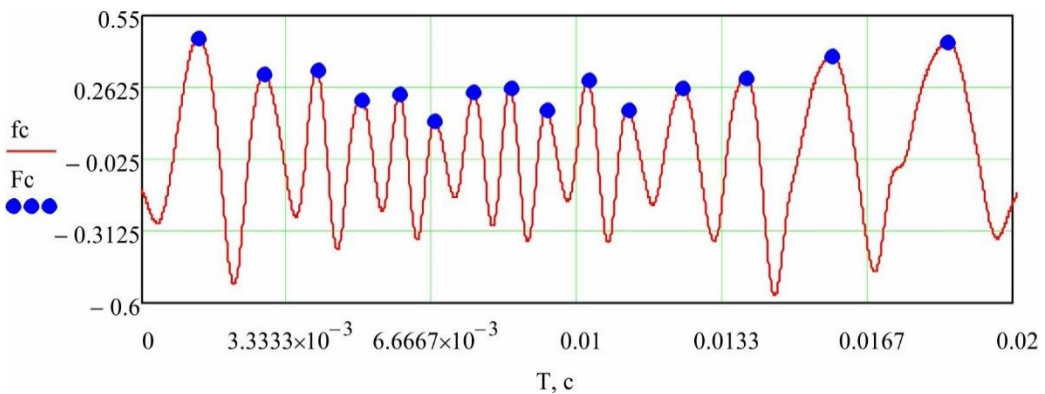


Рис.6. Сглаженный автодинный сигнал (участок №1) с определением максимумов.

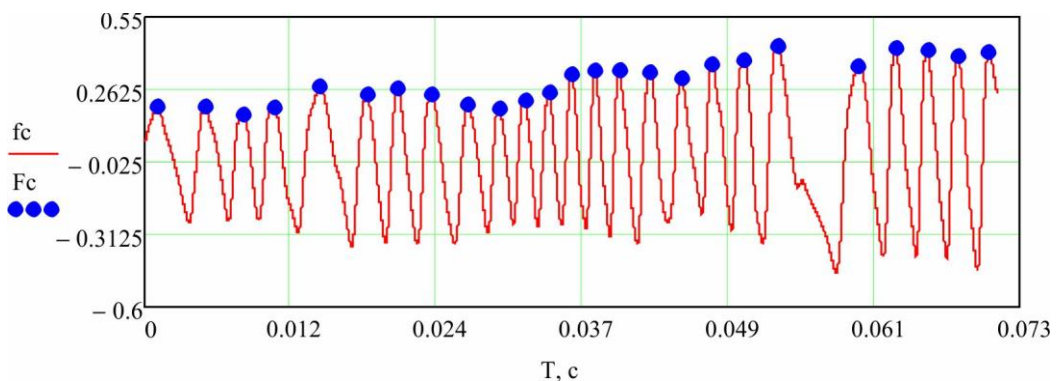


Рис.7. Сглаженный автодинный сигнал (участок №2) с определением максимумов.

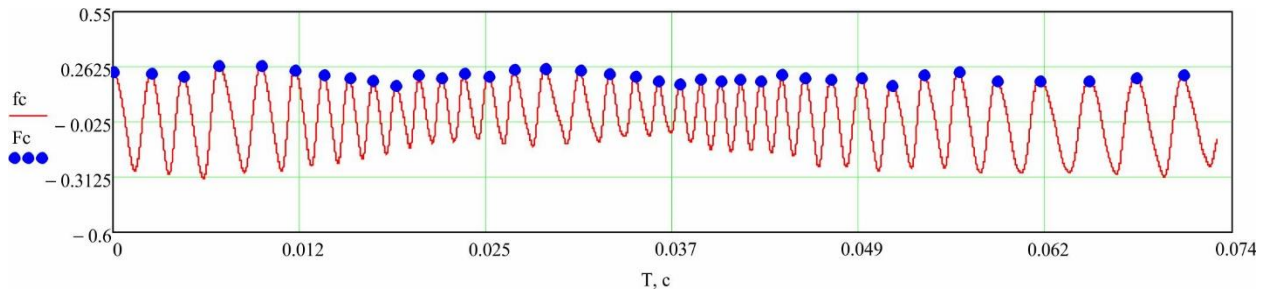


Рис.8. Сглаженный автодинный сигнал (участок №3) с определением максимумов.

Подсчет пройденного расстояния глазным яблоком за время t представляется в виде:

$$S_{max} = \frac{n \cdot \lambda}{2}$$

где,

n – суммарное количество максимумов участка,

λ – длина волны лазерного излучения автодина равная 655 нм.

Полученные результаты по определению количества максимумов и пройденного расстояния глазного яблока приведены в таблице 1:

Таблица 1. – Результаты измерений максимумов сигнала и значения пройденного расстояния глазным яблоком.

№ участка	Количество максимумов, n	Пройденное расстояние, S_{max}
1	8	2,62 мкм
2	10	3,275 мкм
3	20	6,55 мкм

4.2. Анализ автодинного сигнала на основе оконного Фурье-преобразования

Для оценки и определения вида движений глазного яблока необходимо провести второй анализ автодинного сигнала и получить значения пройденного расстояния глазным яблоком в определенный момент времени.

Для решения этой задачи использовалась программная среда Jupyter Notebook. Используя разработанный алгоритм, удалось произвести анализ и обработку зарегистрированных сигналов.

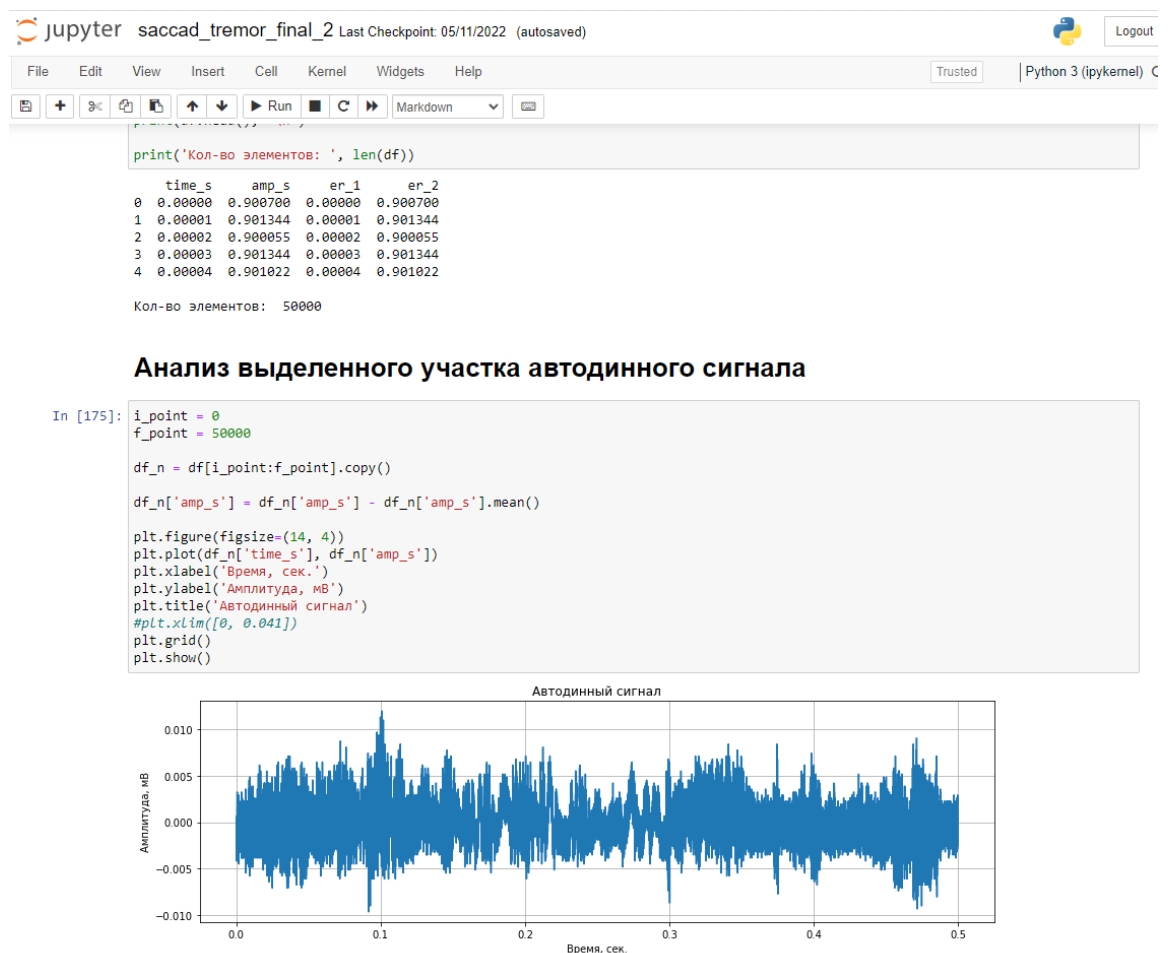


Рис.9. Фрагмент блока программирования для анализа автодинных сигналов.

Для дальнейшего анализа был выбран автодинный сигнал $Signl_1$, как и в случае анализа сигнала по минимумам и максимумам.

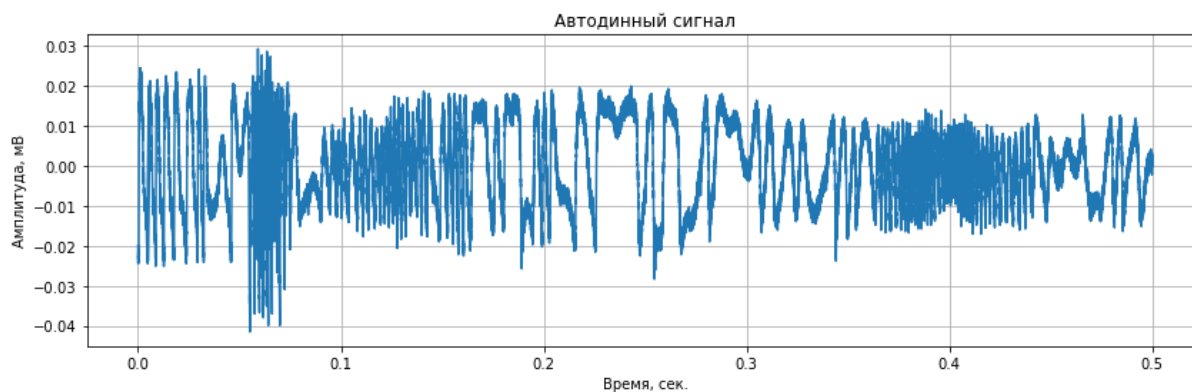


Рис.10. Автодинный сигнал Signl_1 при движении глазного яблока слева направо.

Для вычисления пройденного расстояния глазного яблока необходимо вручную разделить сигнал на уже ранее известные исследуемые участки с наибольшим значением частоты.

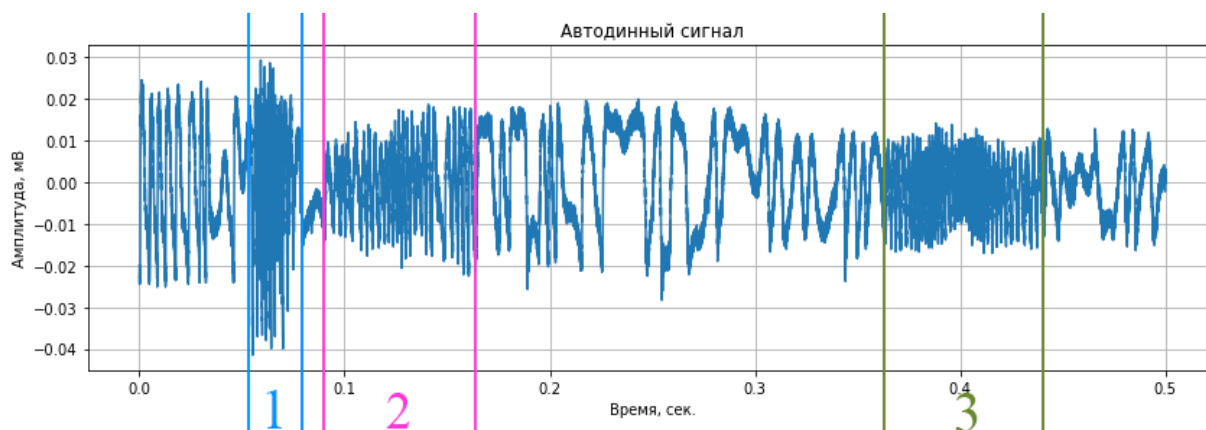


Рис.11. Выделение областей автодинного сигнала Signl_1 при движении глазного яблока слева направо.

Следующим этапом в работе стало построение графика с рассчитанным значением смещения глазного яблока и графика с рассчитанным значением частоты. Данная задача решается методом оконного преобразования Фурье, что позволяет анализировать динамику движения глаза в любой момент времени.

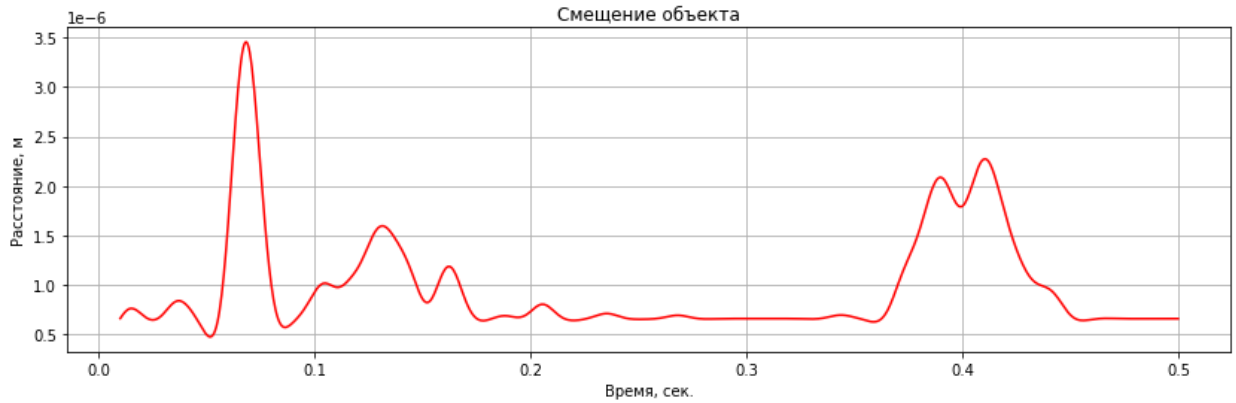


Рис.12. Рассчитанное значение смещения глазного яблока в определенный момент времени для $Signl_1$.

В ходе дальнейшего проведения анализа, необходимо сопоставить автодинный сигнал и полученный график смещения глазного яблока.

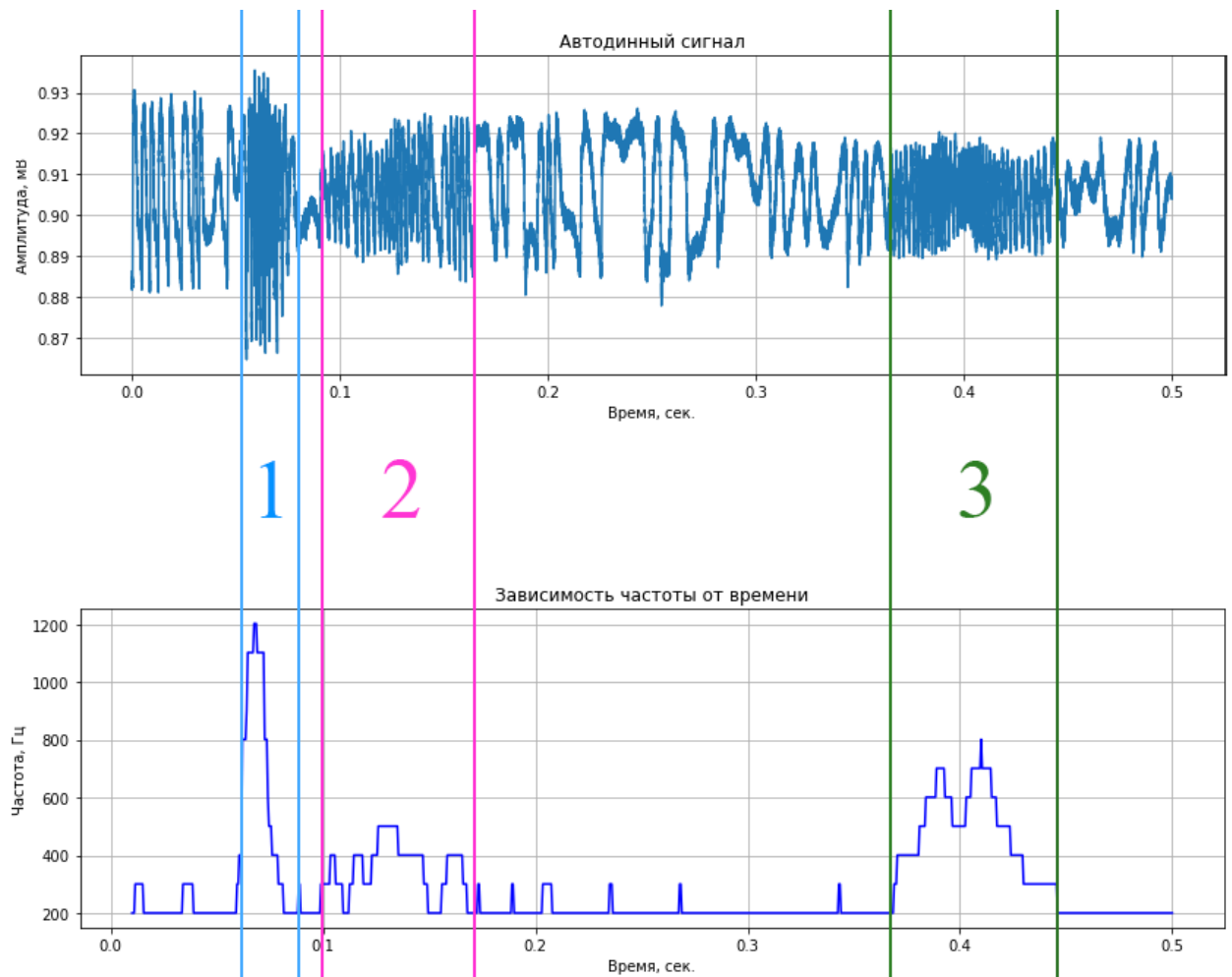


Рис.13. Автодинный сигнал $Signl_1$ и рассчитанное значение частоты для $Signl_1$ с выделенными участками.

Смещение глазного яблока было определено по спектру автодинного сигнала. В результате оконного преобразования была рассчитана частота сигнала в определённый момент времени. По найденному значению частоты определена скорость движения объекта. Далее рассчитывали значение пройденного расстояния.

Подсчет пройденного расстояния в определенный момент времени представляется в виде:

$$S_{win} = v \cdot t$$

где,

v – скорость движения глазного яблока,

t – время движения глазного яблока.

Полученные результаты по определению пройденного расстояния глазного яблока приведены в таблице 2:

Таблица 2. – Результаты измерений времени, скорости движения и значения пройденного расстояния глазным яблоком.

№ участка	Время, t	Скорость, v	Пройденное расстояние, S_{win}
1	0,01 сек	0,000345 м/с	3,45 мкм
2	0,025 сек	0,000159 м/с	3,975 мкм
3	0,035 сек	0,000226 м/с	7,91 мкм

Заключение

Подводя итоги данной дипломной работы, можно сказать, что поставленная цель, а именно – *разработка метода регистрации и методы анализа движений глазного яблока с использованием инфракрасного полупроводникового лазерного автодина* – была достигнута, в результате решения следующих задач:

- *Проведен критический анализ методов определения параметров движения глаза при микро- и наносмещениях.*
- *Проведено компьютерное моделирование, позволяющее определить движения глазного яблока по спектру полупроводникового лазерного автодина с применением оконного преобразования Фурье.*
- *Экспериментально определены параметры движения глазного яблока на различных участках движения по спектру автодинного сигнала полупроводникового лазера.*

Таким образом, в работе показаны возможности разработанного метода регистрации движений глазного яблока с использованием инфракрасного полупроводникового лазерного автодина. Показаны методы анализа параметров движения глазного яблока с применением оконного преобразования Фурье и ручного с подсчетом максимумов на участке сигнала. Методики могут быть применимы в клинических исследованиях для диагностики окуломоторной активности человека. Регистрируя и анализируя движения глаз с применением технологии «Айтрекинг», существует возможность оценки психоэмоционального состояния и активности человека.

Список использованной литературы

1. Барабанщиков В.А. Айттрекинг в психологической науке и практике. Московский институт психоанализа, 2015. С. 35-41.
2. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В. Айттрекинг. Методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях практике. Московский городской психолого-педагогический университет, 2014. С. 17-24.
3. Беликов А.В. Лазерные биомедицинские технологии (часть 1). Учебное пособие / А.В. Беликов, А.В. Скрипник. Санкт-Петербург: ИТМО Государственный Университет. 2008. С.4-10.
4. Борейшо А.С. Лазеры. Устройство и действие: учебное пособие / А. С. Борейшо. Санкт-Петербург: 1992г. С. 215.
5. Вагарин В.А., Скрипаль А.В., Усанов Д.А. Измерение негармонических вибраций спектральным гомодинным методом. РАН Автометрия №3.
6. Гурский Д. Вычисления в MathCAD 12 / Д. Гурский, Е. Турбина. Санкт-Петербург: 2006, с.13-17.
7. Зак Е. А. Когерентные световые методы измерения параметров механических колебаний / Зак Е. А. // Зарубежная радиоэлектроника. 1975. №12. С 70.
8. Калинин М.Ю. Автодинное детектирование в полупроводниковых лазерах при движении внешнего отражателя // Тез. Докл. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и оптоэлектронике (ФЦП "Интеграция"), Саратов. 1998. 176-177 с.
9. Коронкевич В. П., Ханов В. А. Современные лазерные интерферометры. Новосибирск: Наука, Сибир. отд., 1985. 182 с.
10. Любимов Г.А. О возможностях метода эластометрии для исследования глазного яблока// Механика жидкости и газа. – 2010. – №2. 3–11 с.
11. Мареев Г.О., Скрипаль А.В., Усанов Д.А. Использование автодинного эффекта в полупроводниковых лазерах для регистрации наносмещений

- биологических объектов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. №1. С. 31-38.
12. Патент РФ №2258462. Способ измерения амплитуды колебаний барабанной перепонки / Усанов Д.А., Мареев О.В., Скрипаль Ан.В., Феклистов В.Б., Камышанский А.С. Оpubл. 20.08.2005. Бюл. №23. (Пол. решение по заявке №2004103572 от 10.02.2004 г.).
13. Усанов Д. А., Скрипаль А.В., Вагарин В.А, Васильев М.Р. Гомодинные методы измерения.
14. Усанов Д.А., Скрипаль А.В. Измерение микро- и нановибраций и перемещений с использованием полупроводниковых лазерных автодинов // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, №1. – 86–94 с.
15. Усанов Д.А., Скрипаль А.В. Полупроводниковые лазерные автодины для измерения параметров движения при микро- и наносмещениях // Издательство Саратовского университета 2014.
16. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Скрипаль А.В. Учебное пособие для студентов ФНиБМТ. Лазерные автодинные технологии для анализа нано- и биомедицинских систем. Издательство Саратовского Университета, 2008, С.205.
17. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Усанова Т.Б., Добдин С.Ю. Метод измерения внутриглазного давления с помощью полупроводникового лазерного автодина // Письма в ЖТФ. 2012. Том 38, выпуск 3. С.69-74.
18. Усанов Д.А., Скрипаль Ан.В., Добдин С.Ю. Определение ускорения при микро- и наносмещениях по автодинному сигналу полупроводникового лазера на квантово-размерных структурах // Письма в ЖТФ. 2010. Т.36. №21. С. 78-84.
19. Хотунцев Ю.Л., Тамарчак Д.Я. Синхронизированные генераторы и автодины на полупроводниковых приборах. М.: Радио и связь, 1982. 240 с.
20. Hast J., Myllyla R., Sorvoja H., Miettinen J. Arterial pulse shape measurement using self-mixing effect in a diode laser // Quantum Electronic 2002. Vol. 32. No. 11. P. 975-980.

21. Meiges K., Hiurikus H., Kattai R., Lass J. Self-mixing in a diode laser as a method for cardiovascular diagnostics // Journal of Biomedics Optics. 2003. Vol. 8. №1. P. 152-160.
22. Skripal A.V., Usanov D.A. Semiconductor laser interferometry of eye movements // Proc. SPIE Vol. 3908. 2000. P.7-12. (Ophthalmic Technologies X, Pascal O. Rol; Karen M. Joos; Fabrice Manns; Eds.).
23. Suemoto Y. Laser heterodyne and homodyne measurements of impulsive displacement / Opt. Commun, 1990.

