

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

Кафедра медицинской физики

**ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АРТЕРИАЛЬНЫХ СОСУДОВ С
ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО АВТОДИНА**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 205 группы

направления 03.04.02 «Физика»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Джафарова Алексея Владимировича

Научный руководитель

профессор,

доктор физ.- мат. наук

А.В. Скрипаль

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор,

доктор физ.- мат. наук.

А.В. Скрипаль

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов 2019

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти. По статистическим данным на сердечно-сосудистые заболевания приходится 31% всех смертей в мире. В целях предупреждения их развития актуальными задачами являются как усовершенствование существующих методов контроля состояния сердечно-сосудистой системы, таких как ультразвуковые методы диагностики, МРТ, плетизмографии, так и разработка новых методов.

Для повышения точности измерений предлагается использовать лазерный автодин, так как он позволяет с высокой точностью измерять микросмещения.

Известны работы, в которых форма пульсовой волны восстанавливалась по максимумам интерференционного сигнала полупроводникового лазерного автодина, однако недостатками такого метода являются высокая трудоёмкость, и высокая чувствительность к шумам^[3].

Целью данной работы является моделирование автодинного сигнала пульсовой волны и определение формы производной пульсовой волны по спектру сигнала автодинного лазера.

Задачами работы являлись:

1. Анализ методов регистрации формы пульсовой волны.
2. Анализ работы полупроводникового лазерного автодина.
3. Теоретическое обоснование спектрального метода анализа автодинного сигнала для восстановления формы пульсовой волны.
4. Экспериментальное подтверждение восстановления формы пульсовой волны по спектру сигнала полупроводникового лазерного автодина.

Выпускная квалификационная работа содержит 4 главы:

1. Анализ существующих методов регистрации формы пульсовой волны

2. Методы автодинной регистрации
3. Аппаратный комплекс для регистрации формы пульсовой волны с помощью автодинного детектирования.
4. Теоретическое обоснование спектрального метода анализа автодинного сигнала для восстановления формы пульсовой волны.

Теоретическое обоснование спектрального метода анализа автодинного сигнала для восстановления формы пульсовой волны.

Моделирование спектра автодинного сигнала

Переменная нормированная составляющая автодинного сигнала при движении объекта может быть записана в виде:

$$P(t) = \cos(\theta + \omega \tau(t)), \quad (1)$$

Предположим, что объект прямолинейно равномерно движется с постоянной скоростью ϑ на участке наблюдения t . В этом случае зависимость времени обхода лазерным излучением внешнего резонатора от времени примет следующий вид:

$$\tau(t) = \frac{2}{c}(L_0 + \vartheta \cdot t). \quad (2)$$

Тогда нормированную составляющую автодинного сигнала можно представить в виде:

$$P = \cos\left(\frac{2\omega_0}{c}(L_0 + \vartheta \cdot t)\right), \quad (3)$$

учитывая, что $\omega_0 = 2\pi \cdot c / \lambda_0$, получаем:

$$P = \cos\left(\frac{4\pi \cdot \vartheta \cdot t}{\lambda_0} + \frac{4\pi \cdot L_0}{\lambda_0}\right). \quad (4)$$

На рис. 10 приведен автодинный сигнал, рассчитанный в соответствии с выражением (4), для следующих параметров: $\lambda_0 = 650 \text{ нм}$, $L_0 = 10 \text{ см}$, $\vartheta = 10 \text{ мкм/с}$, а на рис.11 его спектр.

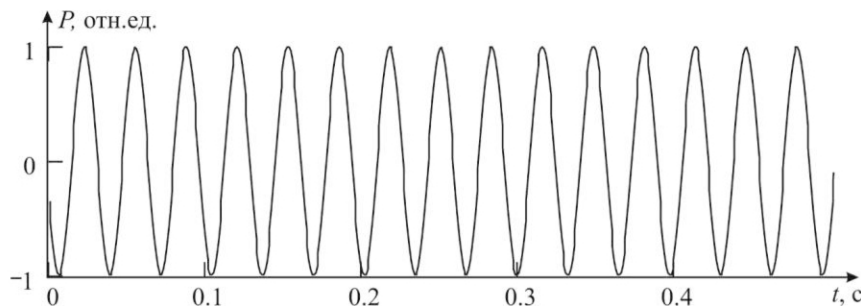


Рис. 1. Рассчитанная переменная нормированная составляющая автодинного сигнала при поступательном движении отражателя с постоянной скоростью $\vartheta = 10 \text{ мкм/с}$

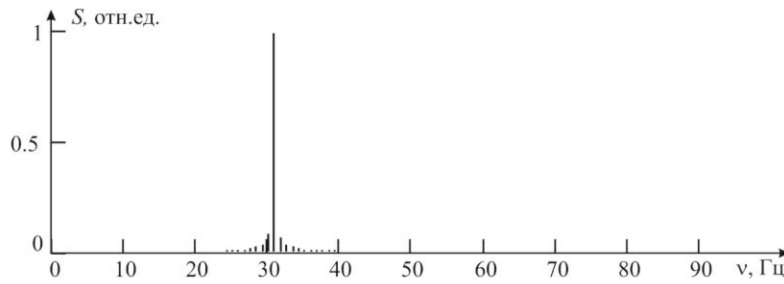


Рис. 2. Спектр переменной нормированной составляющей автодинного сигнала, приведенной на рис. 1

Сопоставляя полученное выражение (5) для переменной нормированной составляющей автодинного сигнала с гармонической функцией косинуса в виде:

$$P = \cos(\Omega \cdot t + \varepsilon), \quad (5)$$

где ε – начальная фаза, и учитывая, что $\Omega = 2\pi \cdot \nu$, где ν – частота изменения автодинного сигнала при поступательном движении отражателя, получаем:

$$\nu = \frac{2 \cdot \vartheta}{\lambda_0}, \quad \varepsilon = \frac{4\pi \cdot L_0}{\lambda_0},$$

откуда:

$$\vartheta = \nu \cdot \lambda_0 / 2. \quad (6)$$

То есть, скорость движения внешнего отражателя можно получить, определив частоту переменной нормированной составляющей автодинного сигнала по линии спектра с использованием выражения (6).

Экспериментальная часть.

Были проведены эксперименты по определению формы пульсовой волны по сигналу полупроводникового лазерного автодина.

Переменная нормированная составляющая автодинного сигнала при движении объекта может быть записана в виде:

$$P(t) = \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{\lambda} \cdot f(t)\right), \quad (7)$$

где θ – стационарный набег фазы, λ – длина волны излучения лазера, $f(t)$ – функция продольных движений отражателя. В выражение (8) изменение аргумента косинуса на 2π , т.е. один период автодинного сигнала $P(t)$, соответствует изменению расстояния до отражателя на $\lambda / 2$. Таким образом, $f(t)$ может быть восстановлена подсчетом количества периодов автодинного сигнала при фиксировании их временных координат.

Для исключения случайных движений во время измерений рука испытуемого фиксировалась на станине, на которой была жестко закреплена также автодинная система. На рисунке 12 приведена блок-схема экспериментальной установки. Излучение полупроводникового лазера 1, стабилизированного источником тока 2, направлялось на поверхность кожи в области запястья, где лучевая артерия расположена ближе к поверхности кожи. Для уменьшения рассеяния лазерного излучения кожей на ее поверхность наносился косметический препарат “Ruby Rose”. Часть излучения, отраженного от поверхности кожи, возвращалась в резонатор полупроводникового лазера, изменение выходной мощности которого регистрировалось встроенным в корпус лазера фотодетектором 3. Сигнал с фотодетектора поступал через усилитель 4 на аналого-цифровой преобразователь 5. Цифровой сигнал с АЦП для последующей обработки сохранялся в памяти ЭВМ 6.

При измерениях использовался лазерный диод типа RLD-650 на квантоворазмерных InGaAlP структурах с дифракционно-ограниченной одиночной пространственной модой с характеристиками: мощность излучения 5 мВт, длина волны излучения 654 нм.

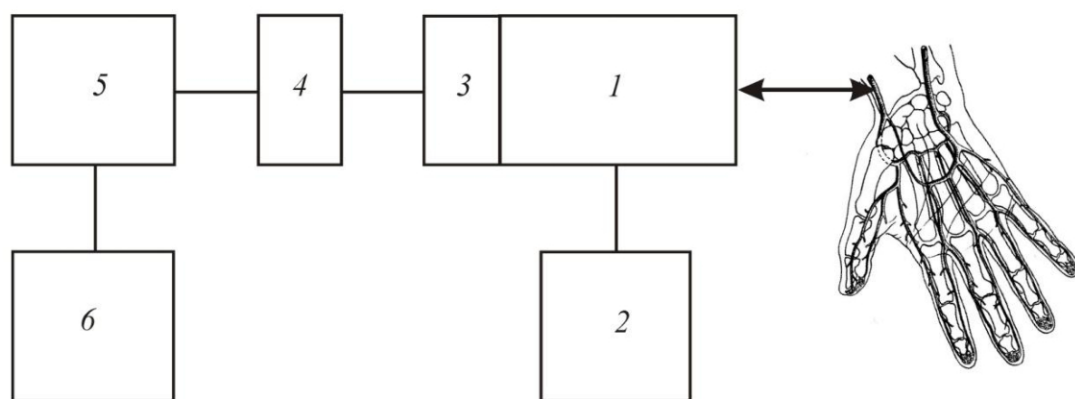
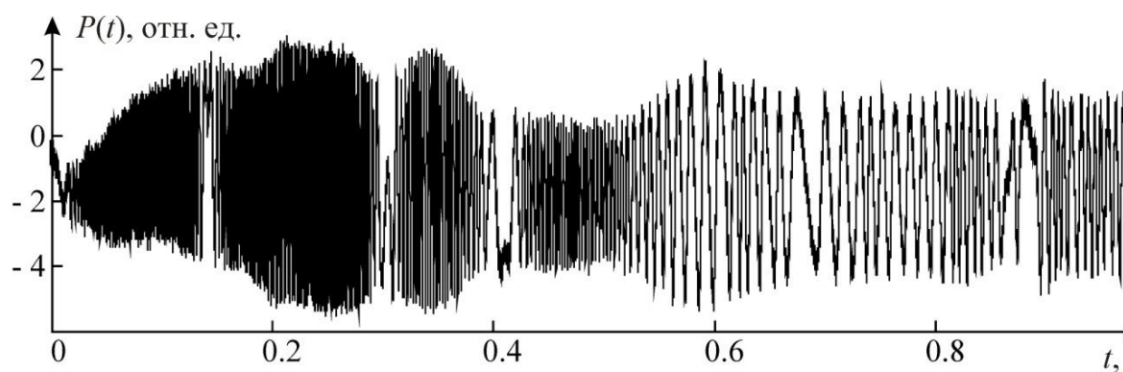


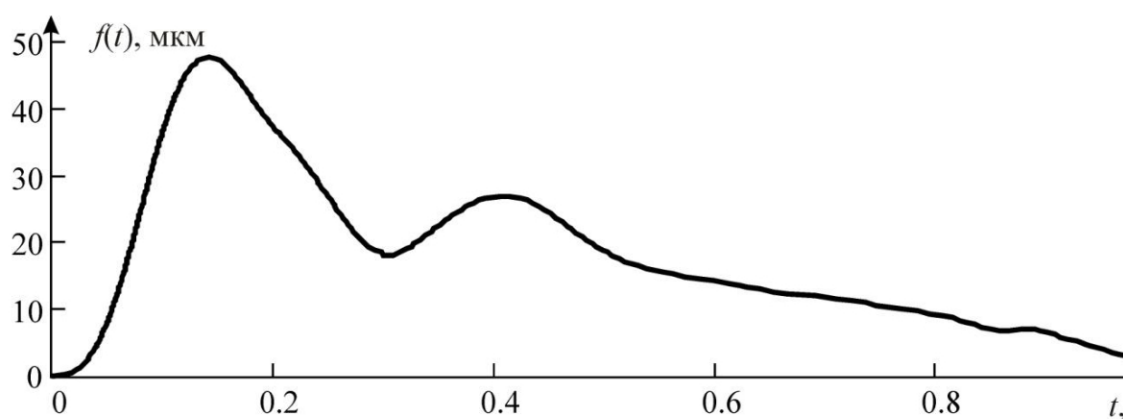
Рисунок 3. Блок-схема экспериментальной установки.

Автодинный сигнал регистрировался в течение времени, соответствующего нескольким кардиоциклам. На рисунке 13 представлен автодинный сигнал, соответствующий одному кардиоциклу.

Для восстановления функции движения стенки артерии при прохождении пульсовой волны определялись временные координаты всех максимумов автодинного сигнала. Временной интервал между двумя ближайшими максимумами автодинного сигнала соответствует прохождению объектом расстояния равного половине длины волны излучения лазера, т.е. 327 нм. На рисунке 13 (б) показана форма пульсовой волны, восстановленная из автодинного сигнала, изображенного на рисунке 13 (а).



a



б

Рисунок 4. Измеренный автодинный сигнал $P(t)$ – *a*, и восстановленная из него функция движения $f(t)$ лучевой артерии в области запястья – *б*

На следующем рисунке построена производная от функции пульсовой волны.

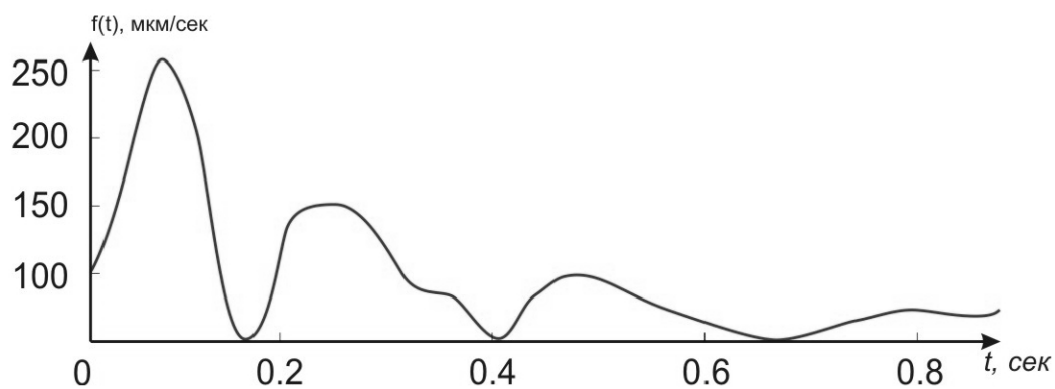


Рисунок 5. Производная от функции пульсовой волны.

4.3 Определение формы пульсовой волны по спектру автодинного сигнала

Нами предложено использовать методику определения формы пульсовой волны по спектру автодинного сигнала. На рисунке 15 приведён спектр автодинного сигнала, полученного на экспериментальной установке, приведённого в предыдущей главе

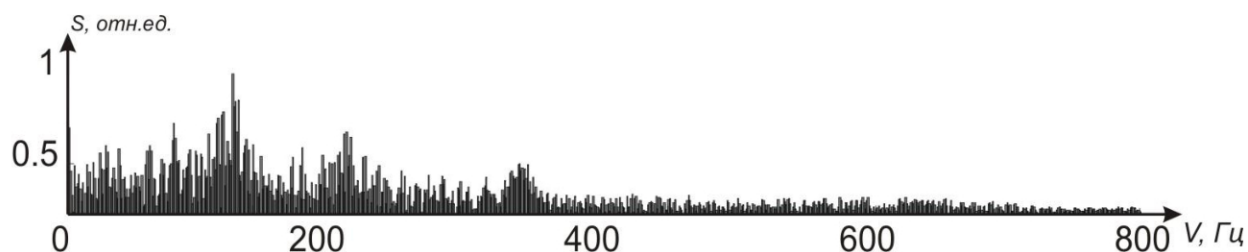


Рисунок 6. Спектр Автодинного сигнала

Как видно из этого рисунка, в связи с тем, что частота интерференционного сигнала постоянно изменяется, спектр в данном случае выглядит зашумлённым, и не удобен для анализа. Поэтому было решено использовать оконное Фурье-преобразование. Типом оконной функции было выбрано прямоугольное окно.

Было проведено оконное Фурье-преобразование данного сигнала с шириной окна 0.08 секунды. В каждом окне выделялась гармоника с максимальной амплитудой и определялась её частота. Примеры данных окон представлены на рисунках 7, 8, 9.

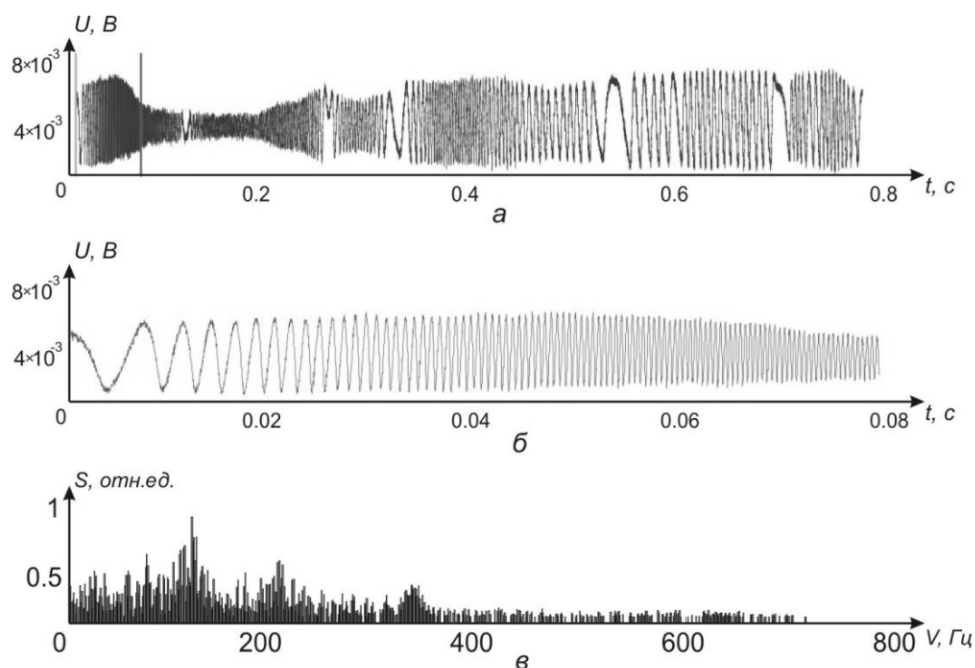


Рисунок 7. Автодинный сигнал – *а*, окно для Фурье-преобразования, от 0 до 0.8с – *б*, спектр, построенный по данному окну – *в*.

Из спектра на рис.7 видно, что гармоника с максимальной амплитудой имеет частоту ~ 170 Гц.

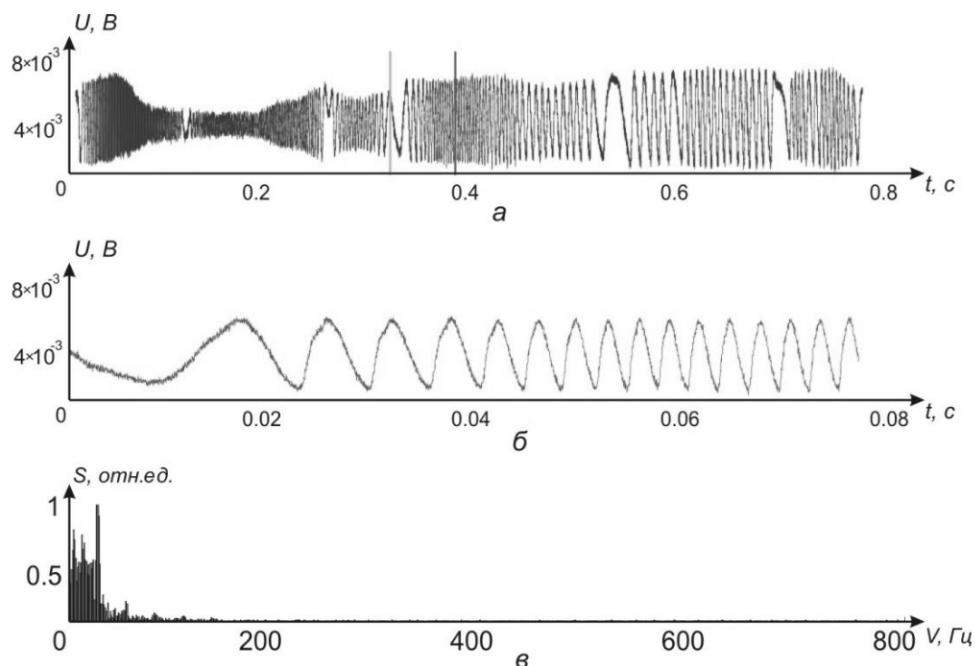


Рисунок 8. Автодинный сигнал – *а*, окно для Фурье-преобразования, от 0.31с до 0.39с – *б*, спектр, построенный по данному окну – *в*.

Как мы можем увидеть на данном рисунке, на данном спектре гармоника с максимальной амплитудой сместилась на частоту 80 Гц.

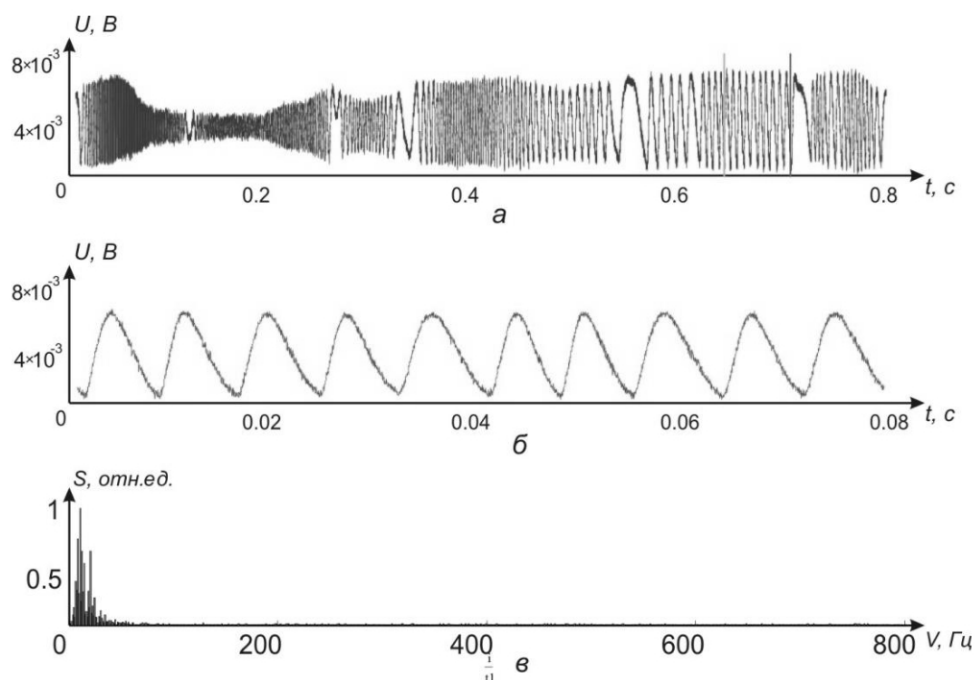


Рисунок 9. Автодинный сигнал – *а*, окно для Фурье-преобразования, от 0.63с до 0.71с – *б*, спектр, построенный по данному окну – *в*.

На рисунке 11 частота максимальной гармоники сместилась до 10 Гц.

Частоты максимальных гармоник заносились в массив данных, по которому был построен следующий график

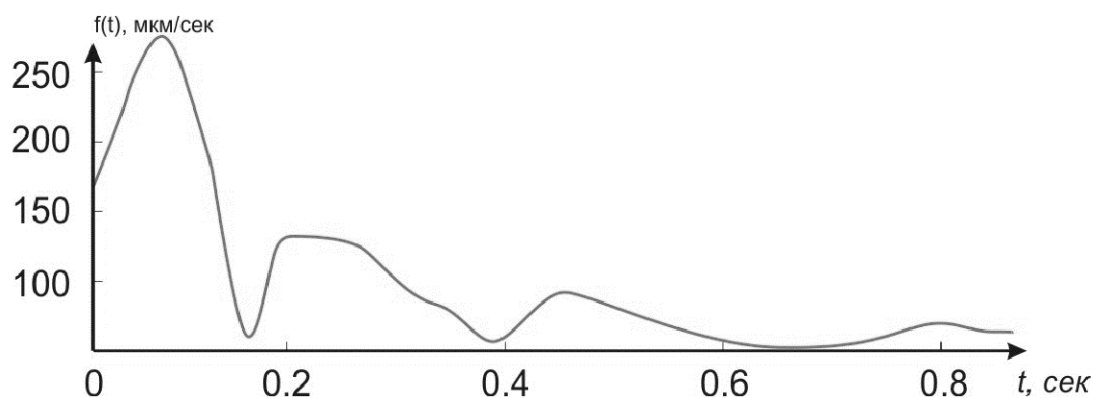


Рис.10

Поскольку каждая гармоника автодинного сигнала отражает скорость движения отражателя, полученный на рисунке сигнал представляет собой производную от формы пульсовой волны.

Как видно из сравнения графиков, формы производной от пульсовой волны имеют одинаковые характерные максимумы.

Таким образом форма пульсовой волны может быть охарактеризована её производной, полученной по спектру автодинного сигнала полупроводникового лазера.

Заключение

Таким образом, проведён анализ методов формирования автодинного сигнала при движении отражателя, проведено моделирование спектров автодинного сигнала, проведено восстановление формы автодинного сигнала, предложен метод определения функции производной от спектра автодинного сигнала и показано, что сравнительный анализ производной от формы пульсовой волны, и методом по спектру автодинного сигнала имеют хорошее соответствие.