

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО АВТОДИНА ДЛЯ  
КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 411 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Бондаря Александра Алексеевича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

Ан.В. Скрипаль

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

Д.А. Усанов

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Саратов 2016

*Введение.* В данной работе представлен бесконтактный способ контроля вибраций в зондовой микроскопии. Определены амплитуды вибраций для разных режимов работы микропозиционной системы включающая в себя шаговый двигатель и перемещаемую поверхность на которой находится исследуемый образец. Данное исследование является актуальным для зондовой микроскопии, так как имеется проблема подвода зонда к исследуемому образцу на нужное расстояние, и учет вибраций для получения достоверной информации об исследуемом образце.

В данной работе будет представлен автодинный сигнал при разных режимах работы микропозиционной системы, а также сравнение модели автодинного сигнала с полученными в ходе исследования автодинными сигналами.

#### Цели и задачи работы

Цель исследования – проконтролировать влияние вибраций, создаваемых микропозиционной системой при работе.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести литературный обзор. Сравнить методики определения амплитуды вибраций полупроводниковым лазерным автодином.
2. Применить полупроводниковый лазерный автодин для контроля вибраций, создаваемых шаговым двигателем в ближнеполевом СВЧ-микроскопе.
3. Определить оптимальное расстояние между зондом микроскопа и исследуемым образцом, при разных режимах работы шагового двигателя.

#### *Основное содержание*

*Первый раздел* посвящен сканирующей зондовой микроскопии. Зондовая микроскопия является важным аппаратом для развития нанотехнологий. Она позволяет довольно точно сканировать поверхность твердого тела и его свойств. Ближнеполевой СВЧ-микроскоп имеет

множество преимуществ, что выделяет его из остальных зондовых микроскопов, так как он имеет множество достоинств, во-первых, большая разрешающая способность сканирования, за счет присутствия эффекта ближнего поля, во-вторых производить сканирование оптически непрозрачных сред.

Также в разделе представлено описание работы шагового двигателя и влияние вибраций на сканирующий зондовый микроскоп.

*Второй раздел* включает в себя описание полупроводникового лазерного автодина, сигнал полупроводникового лазерного автодина и методы определения амплитуды колебаний по спектру автодинного сигнала.

*В третьем разделе* представлена экспериментальная установка полупроводникового лазерного автодина, а также описание процесса сканирования зондового микроскопа.

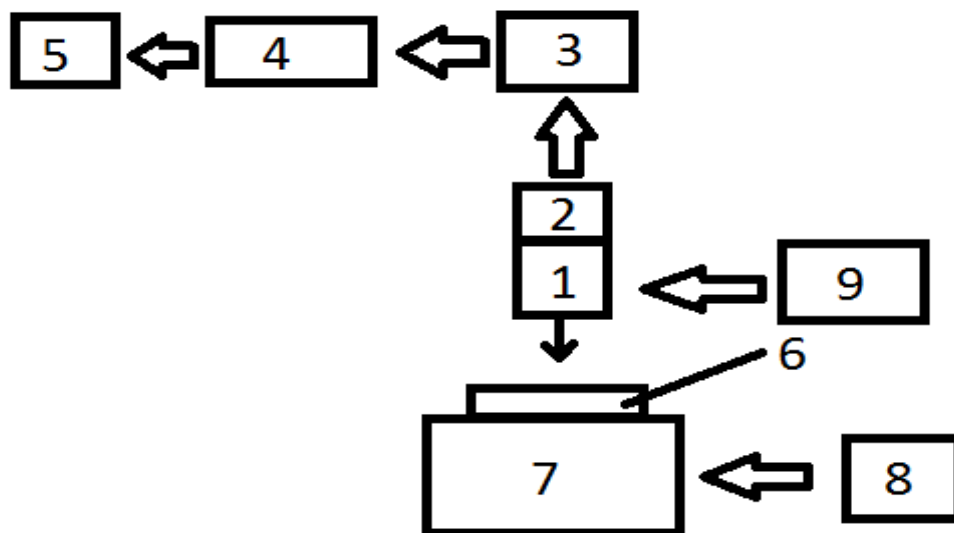


Рисунок 1. Блок схема экспериментальной установки: 1– полупроводниковый лазер, 2 – фотоприемник, 3 – фильтр переменного сигнала, 4 – АЦП, 5 – компьютер, 6 – объект, 7 – микромеханическая позиционная система, 8 – система управления микромеханической позиционной системой, 9 – блок управления током питания.

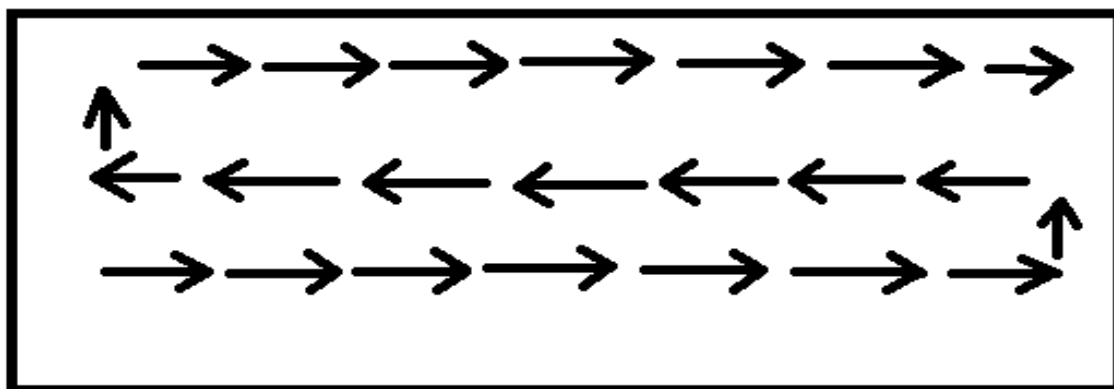


Рисунок 2. Схематическое изображение процесса сканирования.

Также в разделе представлены автодинные сигналы для разных режимов работы, их спектр и посчитаны амплитуды вибраций для каждого измерения.

*Измерение №1* В данном измерении определялась амплитуда вибраций объекта при движении микромеханической позиционной системы зондового микроскопа в соответствии со схемой движения представленной на рисунке 2. Параметры движения в данном режиме: шаг двигателя  $h=0.156$  мкм, количество точек перемещения 1000 и расстояние перемещения микромеханической системы 156 мкм.

Для данного режима работы был зарегистрирован автодинный сигнал, длительностью 0.9 секунды, представленный на рисунке 3. На рисунке 4 представлен временной отрезок автодинного сигнала, представленного на рисунке 3, за период времени от 0.01 секунды до 0.04 секунды. На рисунке 5 представлен спектр этого автодинного сигнала.

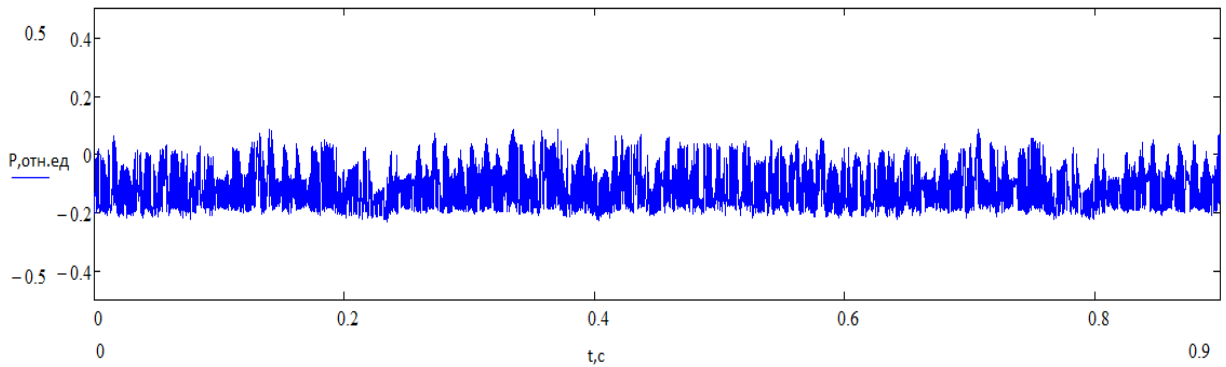


Рисунок 3. Автодинный сигнал длительностью 0.9 секунды, при движении микромеханической системы с шагом 0.156, расстояние 156 мкм.

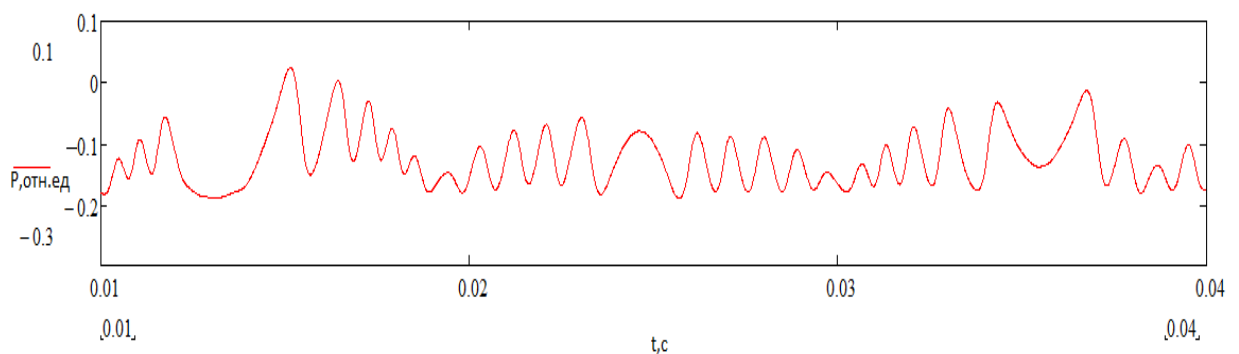


Рисунок 4. Отрезок автодинного сигнала, представленного на рисунке 3 за период времени от 0.01-0.04 секунды.

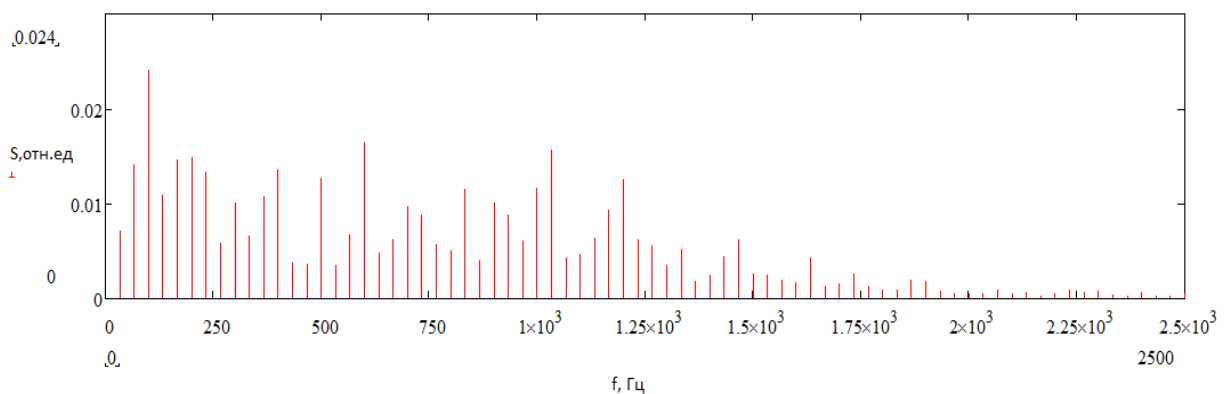


Рисунок 5. Спектр автодинного сигнала, представленного на рисунке 4.

Используя метод была определена амплитуда вибраций  $\Delta\xi=1.625$  мкм.

Для верификации полученных данных в программе MachCad 14 проводилось моделирование автодинного сигнала при колебании отражателя, при следующих параметрах системы: амплитуда колебаний отражателя

$\Delta\xi=1.625$  мкм, длина волны лазерного излучения  $\lambda=654$  нм, расстояние до отражателя  $L=0,1$  м., частота колебаний отражателя  $\nu=100$ Гц.

На рисунке 6 представлена модель автодинного сигнала амплитудой равной  $\Delta\xi= 1.625$  мкм, а на рисунке 7 представлен спектр модели автодинного сигнала, представленного на рисунке 6.

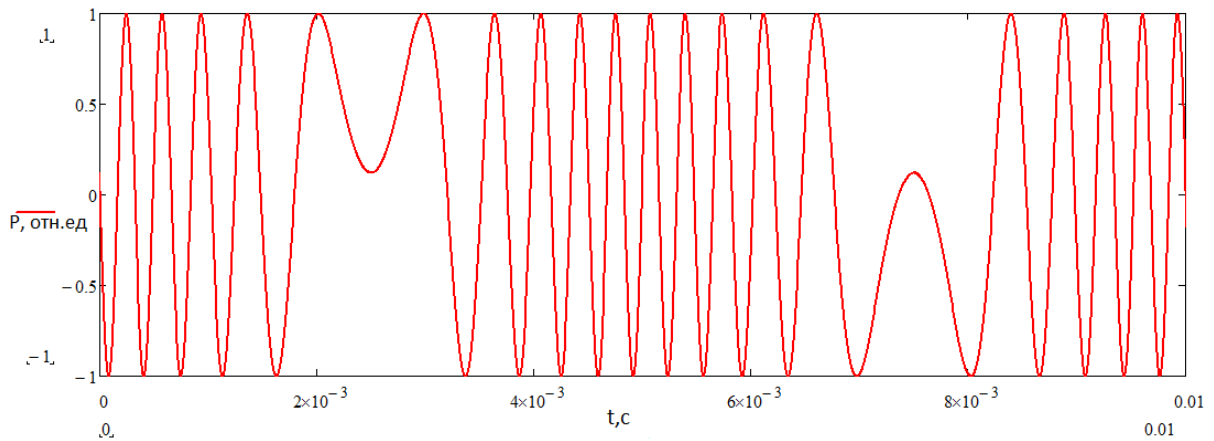


Рисунок 6. Модель автодинного сигнала с амплитудой колебаний  $\Delta\xi= 1.625$  мкм

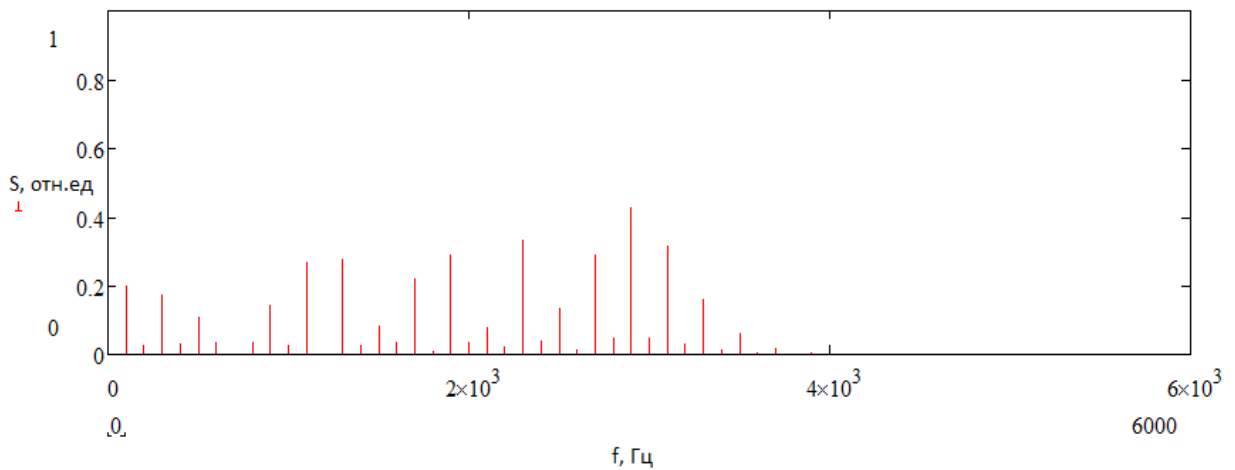


Рисунок 7. Спектр модели автодинного сигнала, представленного на рисунке 9.

Таким образом, сравнивая формы экспериментального и смоделированного автодинных сигналов, представленных на рисунке 4 и 6 можно сделать вывод о достоверности полученных результатов.

*Измерение №2* в данном измерении определялась амплитуда вибраций объекта при движении микромеханической позиционной системы зондового микроскопа в соответствии со схемой движения представленной на рисунке 2. Параметры движения в данном режиме: шаг двигателя  $h=0.313$  мкм, количество точек перемещения 1000 и расстояние перемещения микромеханической системы 313 мкм.

Для данного режима работы был зарегистрирован автодинный сигнал, длительностью 0.9 секунды представленный на рисунке 8. На рисунке 9 представлен временной отрезок автодинного сигнала, представленного на рисунке 8, за период времени от 0.47 секунды до 0.5 секунды. На рисунке 10 представлен спектр этого автодинного сигнала.

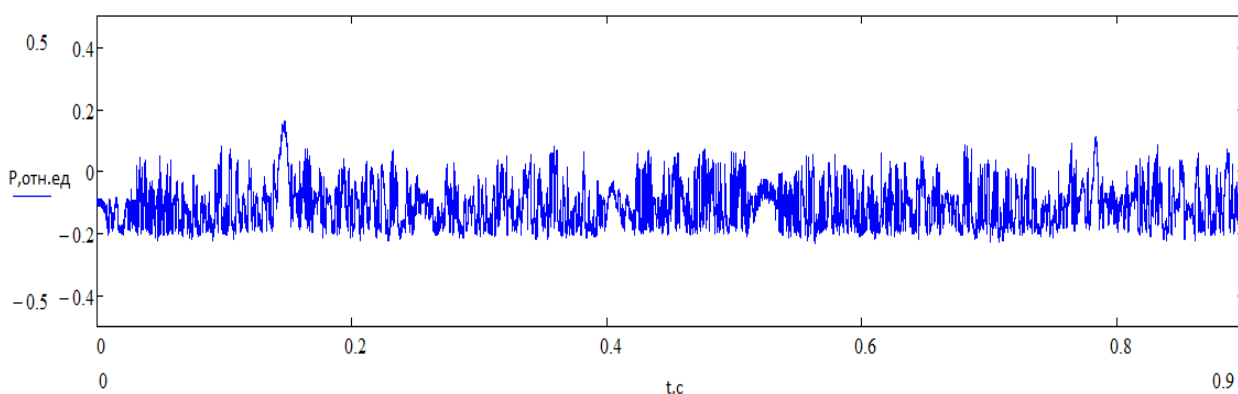


Рисунок 8. Автодинный сигнал длительностью 0.9 секунды, при движении микромеханической системы с шагом 0.313, расстояние 313 мкм.

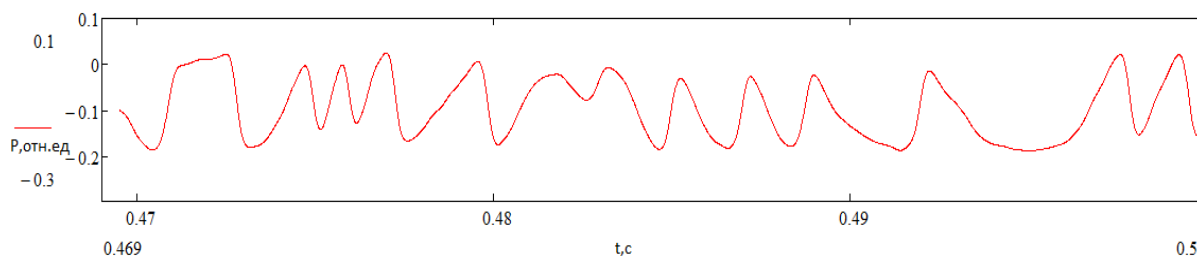


Рисунок 9. Отрезок автодинного сигнала, представленного на рисунке 8 за период времени от 0.47-0.5 секунды.

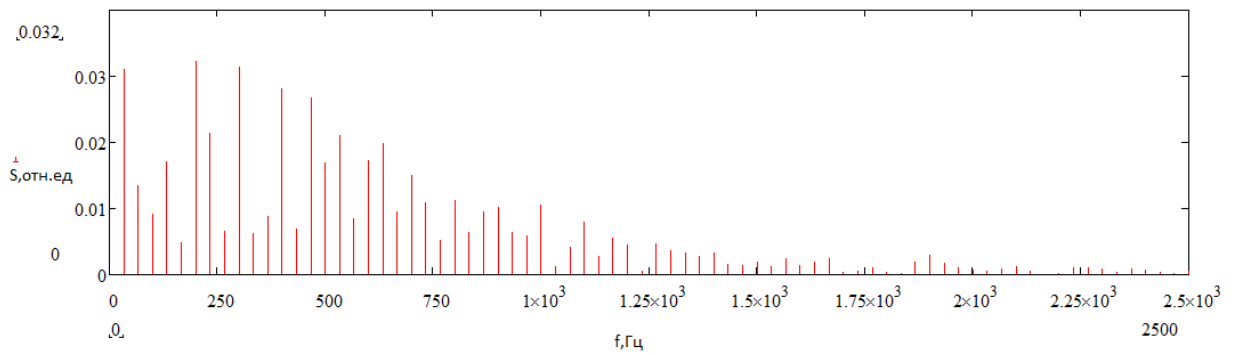


Рисунок 10. Спектр автодинного сигнала, представленного на рисунке 9.

Используя метод была определена амплитуда вибраций  $\Delta\xi=0.812$  мкм.

Для верификации полученных данных в программе MachCad 14 проводилось моделирование автодинного сигнала при колебании отражателя, при следующих параметрах системы: амплитуда колебаний отражателя  $\Delta\xi=0.812$  мкм, длина волны лазерного излучения  $\lambda=654$  нм, расстояние до отражателя  $L=0,1$  м., частота колебаний отражателя  $\nu=100$  Гц.

На рисунке 11 представлена модель автодинного сигнала амплитудой равной  $\Delta\xi=0.812$  мкм, а на рисунке 12 представлен спектр модели автодинного сигнала, представленного на рисунке 11.

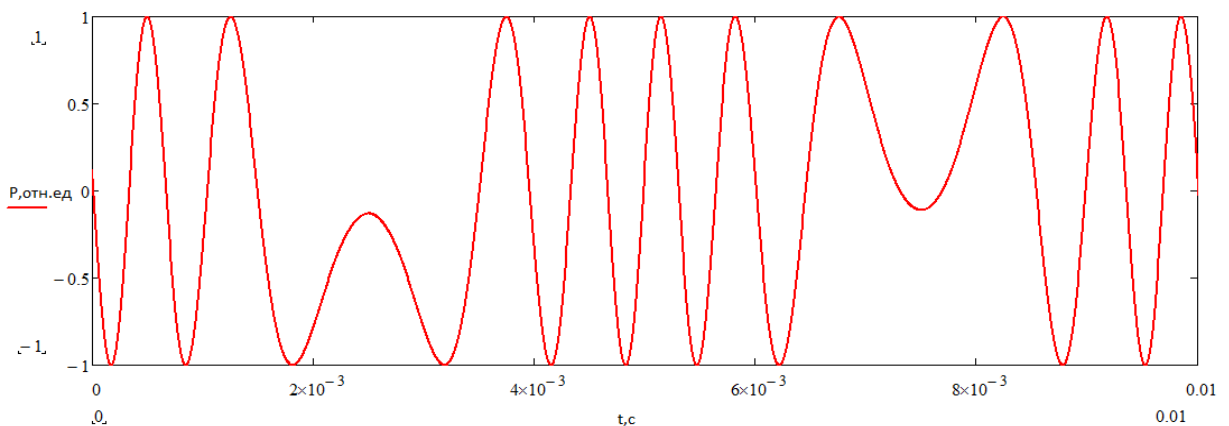


Рисунок 11. Модель автодинного сигнала с амплитудой колебаний  $\Delta\xi=0.812$  мкм



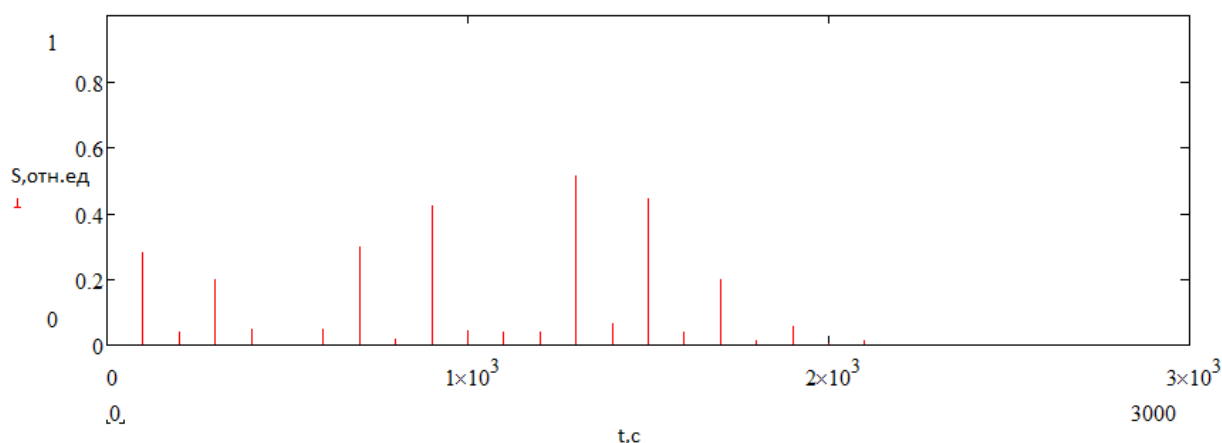


Рисунок 12. Спектр модели автодинного сигнала, представленного на рисунке 11.

Таким образом, сравнивая формы экспериментального и смоделированного автодинных сигналов, представленных на рисунке 9 и 11 можно сделать вывод о достоверности полученных результатов.

*Заключение* в ходе выполнения квалификационной работы был применен бесконтактный метод контроля вибраций в зондовой микроскопии, посредством полупроводникового лазерного автодина. Данная работа проводилась для того чтобы учитывать влияние вибраций на зондовый микроскоп и исключить возможность повреждения зонда об исследуемый образец.

Исходя из результатов эксперимента были определены оптимальные расстояния зонд – образец при различных режимах работы микропозиционной системы ближнеполевого СВЧ – микроскопа. Для первого режима работы микропозиционной системы амплитуда колебаний составляет  $\Delta X = 1.625$  мкм, исходя из этого расстояние между зондом и образцом должно быть  $X_{\min} > 1.7$  мкм. Для второго режима работы микропозиционной системы амплитуда колебаний составляет  $\Delta X = 0.812$  мкм, исходя из этого расстояние между зондом и образцом должно быть  $X_{\min} > 0.9$  мкм. Для третьего режима работы микропозиционной системы амплитуда колебаний составляет  $\Delta X = 0.650$  мкм, исходя из этого расстояние между зондом и образцом должно быть  $X_{\min} > 0.7$  мкм.