

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

Кафедра физики твердого тела

**АВТОДИННАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ РАССТОЯНИЯ ПРИ
ПИЛООБРАЗНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса

направления (специальности) 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Факультета nano- и биомедицинских технологий

Лексина Михаила Сергеевича

Научный руководитель

д. ф.- м. н., профессор

Ан. В. Скрипаль

должность, уч. степени, уч задание
фамилия

подпись, дата

инициалы,

И.о.зав. кафедрой физики твердого тела

д. ф.- м. н., профессор

Ал. В. Скрипаль

должность, уч. степени, уч задание
фамилия

подпись, дата

инициалы,

Саратов 2019

В настоящее время огромный интерес в измерениях абсолютного расстояния до объекта представляют лазерные автодины, которые используют методы оптической интерферометрии с изменением длины волны, основанные на регистрации фазы отраженного лазерного излучения и методами триангулометрии.

Применение полупроводниковых лазеров в качестве перестраиваемых источников когерентного излучения открывает возможности создания малогабаритных измерительных систем. Одним из вариантов таких измерителей являются полупроводниковые лазерные автодинные интерферометры с оптической обратной связью.

Наибольшие перспективы создания миниатюрного измерительного устройства демонстрирует фазовый метод, реализуемый на лазерных автодинах с модуляцией длины волны лазерного излучения. С помощью лазерных автодинов удалось определять характеристики нано вибраций и микроперемещений, величину скорости и ускорения.

Проблемой по сей день является уменьшение погрешности измерения данной системы различными способами и методами детектирования возвращённого сигнала. В различных статьях предлагается использовать метод измерения расстояния, основанный на использовании модуляции длины волны лазерного излучения по гармоническому закону. Актуальность дипломной работы заключается в следующем, был analyzed метод, основанный на использовании треугольной модуляции излучения лазерного автодина.

На параметры автодинного сигнала влияет уровень внешней оптической обратной связи. В автодинной системе режим, при котором автодинный сигнал аналогичен интерференционному с развязкой от источника излучения, возможен при низких уровнях обратной связи.

Измерения абсолютных расстояний по частоте модуляции фазы автодинного сигнала за счет частотной модуляции тока питания лазерного диода (FMCW) начинались с очень низких значений точности (несколько миллиметров) и

достигли в настоящее время величин нескольких сотен и даже десятков микрон. При этом на точность измерений влияет расстояние до объекта.

Целью дипломного исследования является: изучить влияния расстояния до объекта на точность измерения абсолютного расстояния при пилообразной модуляции длины волны излучения полупроводникового лазера.

Задачами дипломной работы в связи с указанной целью являются:

1. Исследовать форму автодинного сигнала при треугольной токовой модуляции.
2. Исследовать влияние расстояния на форму автодинного сигнала
3. Исследовать влияние расстояния на спектр автодинного сигнала
4. Определить абсолютную и относительную погрешность измерений при пилообразной модуляции длины волны излучения полупроводникового лазера

Выпускная квалификационная работа содержит 3 главы:

- 1) Методы определения абсолютного расстояния.
- 2) Особенности структуры полупроводниковых лазеров и автодинное детектирование в полупроводниковых лазерах.
- 3) Автодинная интерферометрия при пилообразной модуляции длины волны лазерного излучения.

В настоящее время для определения расстояния до объекта с помощью оптического зондирования представляются перспективными методы оптической интерферометрии с изменением длины волны, основанные на регистрации фазы отраженного лазерного излучения.

Излучение лазерного диода направляется на измеряемый объект, а часть отраженного излучения попадает в резонатор полупроводникового лазера, где оно интерферирует с исходным излучением. В силу конечности скорости света отраженное излучение приходит в резонатор лазера с задержкой по времени. Изменение мощности излучения лазерного диода фиксируется с обратной стороны резонатора лазера с помощью встроенного лавинного фотодиода. При изменении тока накачки полупроводникового лазера по пилообразному закону изменяется фаза отраженного от объекта излучения. Благодаря этому при неподвижном объекте интерференция излучений приводит к тому, что выходной ток фотодиода периодически изменяется с частотой, определяемой модуляционной характеристикой лазерного диода и расстоянием до объекта. Сигнал с фотодетектора приобретает вид высокоамплитудной треугольной составляющей за счет пилообразной токовой модуляции лазерного диода с наложенной на нее низкоамплитудной фазовой модуляцией, формируемой за счет изменения фазы, отраженного от объекта лазерного излучения.

Триангуляционный метод контроля основан на расчете искомого расстояния через соотношения треугольника с использованием известных параметров системы. Он позволяет измерять как относительное изменение расстояния от датчика до контролируемого объекта, так и абсолютную его величину. Причем контролируемое расстояние может иметь масштаб от нескольких микрометров (например, при контроле поверхности кристаллов микроэлектроники) до сотен и тысяч метров (при геодезических применениях).

Автодинная интерферометрия при пилообразной модуляции длины волны лазерного излучения

В отличие от интерференции волн по схеме Майкельсона в автодине происходит интерференция падающей и отраженной волн. В результате для лазерного излучения мы имеем новый резонатор, в котором возникает стоячая волна, а в зависимости от длины этого резонатора наблюдается усиление или ослабление собственного излучения лазерного диода. При модуляции длины волны лазерного излучения на внешнем фотоприемнике будет наблюдаться модуляция интенсивности излучения лазерного диода.

На рис. 1 приведен смоделированный автодинный сигнал при изменении длины волны излучения лазера $\Delta\lambda = 0.046$ нм, расстоянии до объекта равном 10 см и уровне обратной связи $C \ll 1$.

Расстояние до объекта в случае пилообразной модуляции определяется соотношением:

$$L = \frac{N \lambda}{\Delta\lambda}$$

где L – расстояние от излучателя до объекта; N – количество пиков автодинного сигнала на участке подъёма или спада; λ – длина волны излучения лазера; $\Delta\lambda$ – изменение длины волны на одном периоде.

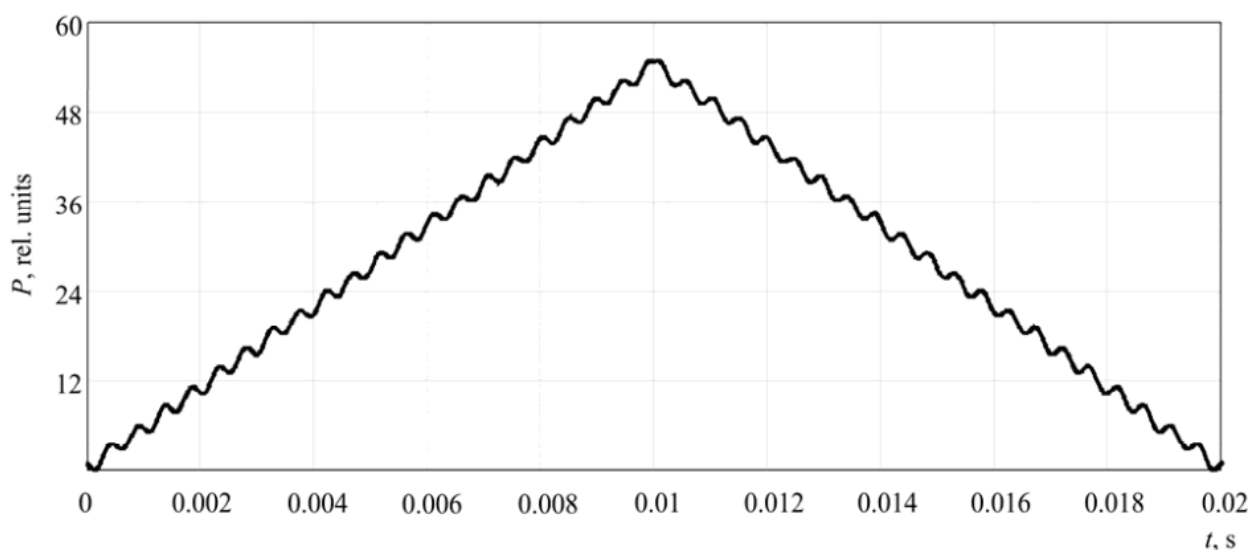


Рисунок 1 – Смоделированный автодинный сигнал при изменении длины волны излучения лазера $\Delta\lambda=0,003$ нм и заданном расстоянии 40 см

На рис. 2 приведен спектр автодинного сигнала, изображенного на рис.7. На низких частотах наблюдается спектр пилообразной модуляции (до 1000 Гц). На высоких частотах формируется спектр автодинного сигнала. В этой части спектра отчетливо выделяется

частота автодинного сигнала с наибольшей амплитудой, соответствующая частоте f_{OL} .

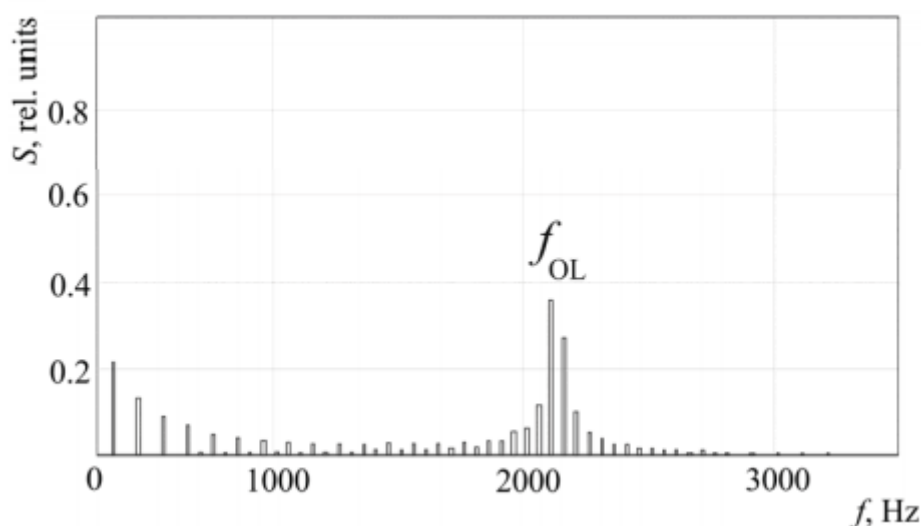


Рисунок 2 – Спектр автодинного сигнала, изображенного на рис. 7

Как видно из рис. 8, при токовой частотной модуляции лазерного излучения частота интерференционных максимумов может быть измерена с точностью, определяемой частотным сдвигом до ближайшего спутника максимальной гармоники спектра автодинного сигнала f_{OL} .

Наличие спутников объясняется дробным количеством интерференционных максимумов, укладывающихся на линейном участке изменения длины волны лазера. Результаты компьютерного моделирования для различных расстояний [40].

Моделирование автодинного сигнала проводилось при параметрах: $\lambda = 650$ нм, девиация частоты излучения полупроводникового лазерного диода $\Delta\lambda = 0.1 \cdot 10^{-9}$ м. При $n=20$ соотношение (45) дает величину $L_{20} = 0.021125$ м. Для параметров $P_1 = 10$, $P_2 = 1$, частоте модуляции тока питания лазера 100 Гц на рис.3. приведен смоделированный автодинный сигнал, а на рис. 4 его спектр.

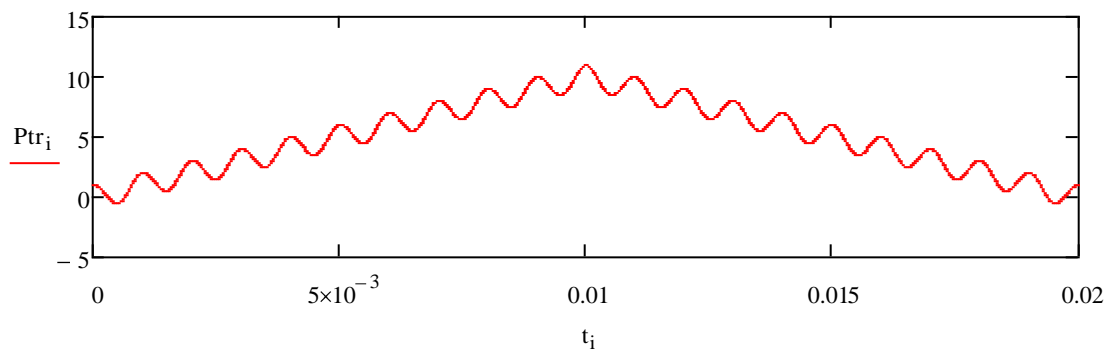


Рисунок 3 – Смоделированный автодинный сигнал при параметрах: $\lambda=650$ нм, $\Delta\lambda = 0.1 \cdot 10^{-9}$ м, $n=20$, $L = 0.021125$ м.

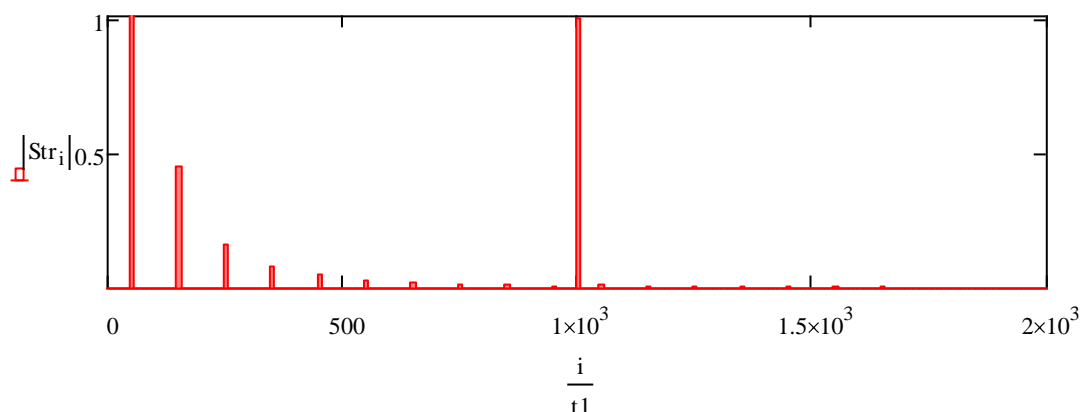


Рисунок 4 – Спектр автодинного сигнала, изображенного на рис.1.

Расстояние до объекта в случае пилообразной модуляции определялось по частоте f_{OL} на периоде $\Delta t=0.01$ изменения длины волны $\Delta\lambda$ соотношением[10, 27]:

$$L = \frac{\lambda^2}{2 \cdot \Delta\lambda / \Delta t} \cdot f_{OL}. \quad (48)$$

Вычисленное из соотношения (48) по измеренному значению $f_{OL}=1000$ Гц расстояние до объекта в точности совпадает с заданным при компьютерном моделировании.

Были рассмотрены случаи не равнофазного расстояния, например, расстояния для $n=20$, но на 100 мкм больше, чем L_{20} . На рис.5 приведен автодинный сигнал, полученный при задании расстояния на 100 мкм большего, чем L_{20} .

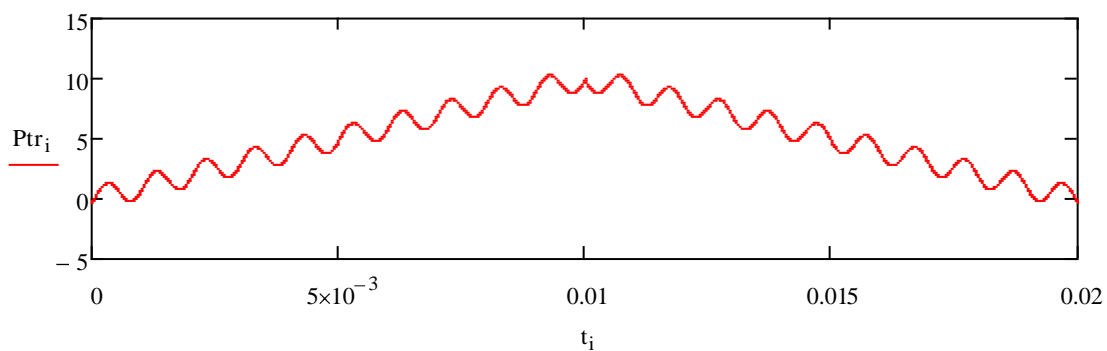


Рисунок 5 – Смоделированный автодинный сигнал при параметрах: $\lambda=650$ нм, $\Delta\lambda = 0.1 \cdot 10^{-9}$ м, $L = 0.021225$ м.

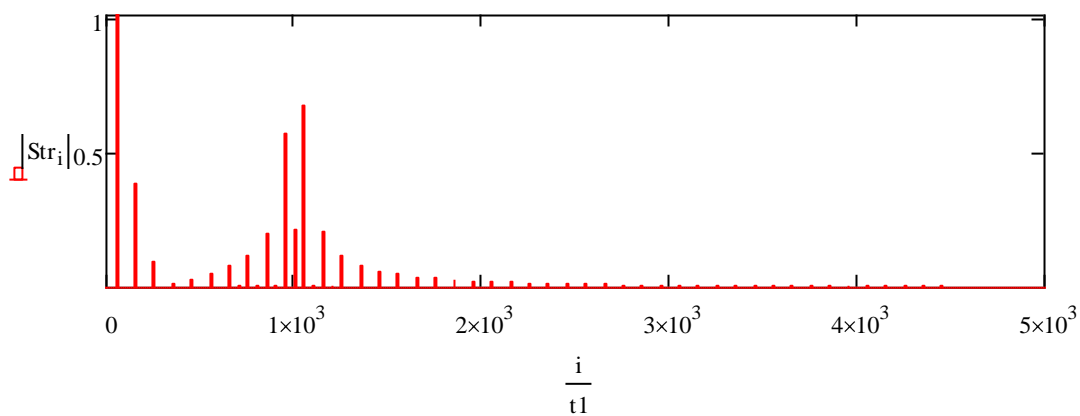


Рисунок 6 – Спектр автодинного сигнала, изображенного на рис.5.

Так же были проделаны исследования при $n=20$, но отдалении объекта на расстояние от 200мкм до 1056,25

На рис.7. приведён график зависимости абсолютной погрешности от расстояния до отражателя.

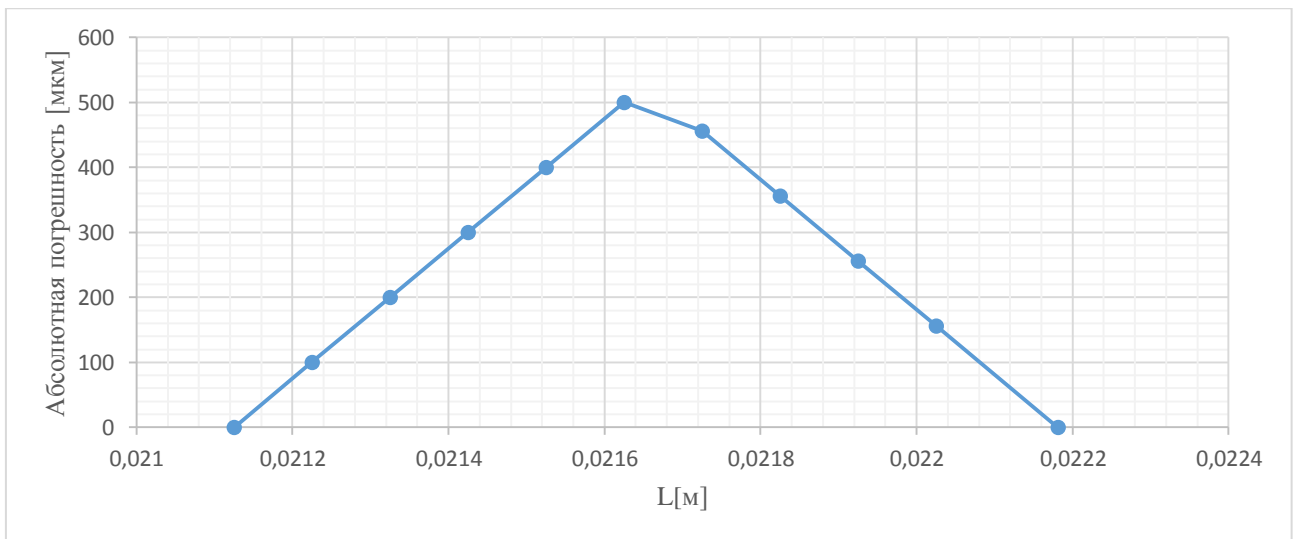


Рисунок 7 – График зависимости абсолютной погрешности от расстояния до отражателя для $n=20$.

На рис.8. приведен график зависимости относительной погрешности от расстояния до отражателя.

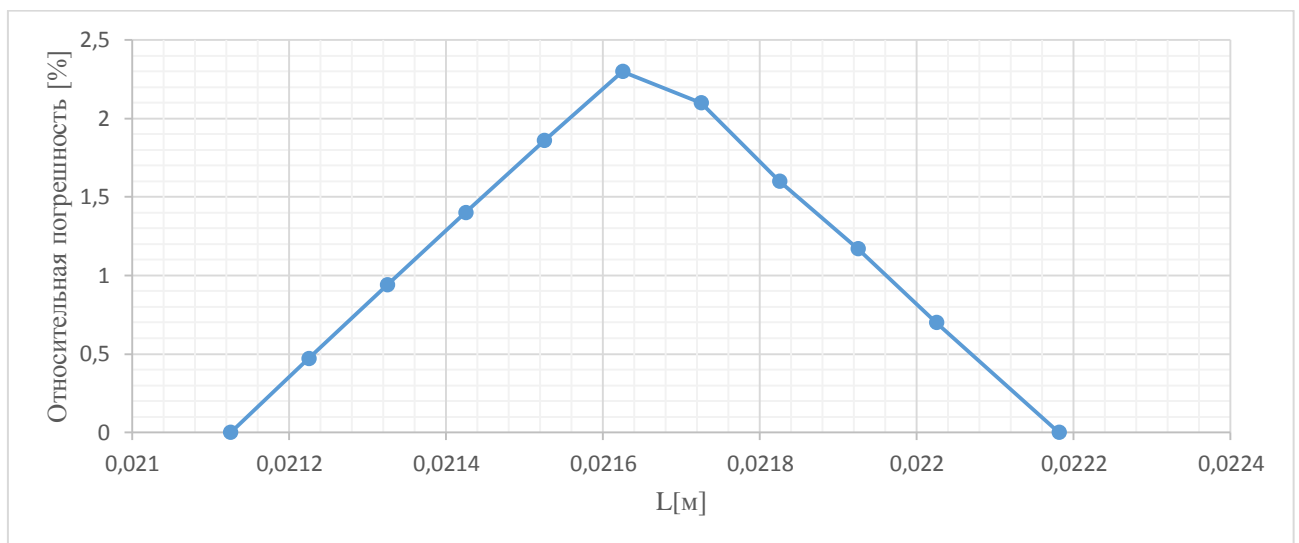


Рисунок 9 – график зависимости относительной погрешности от расстояния до отражателя для $n=20$.

Как следует из сравнения графиков для абсолютной и относительной погрешностей, приведенных на рис.8 и рис.9, абсолютная погрешность не зависит от расстояния, а относительная погрешность с ростом расстояния уменьшается.

Аналогичные опыты были проделаны с $n=40$ и $n=80$. В конечном итоге были построены графики зависимостей относительной и абсолютной погрешности от расстояния до отражателя.

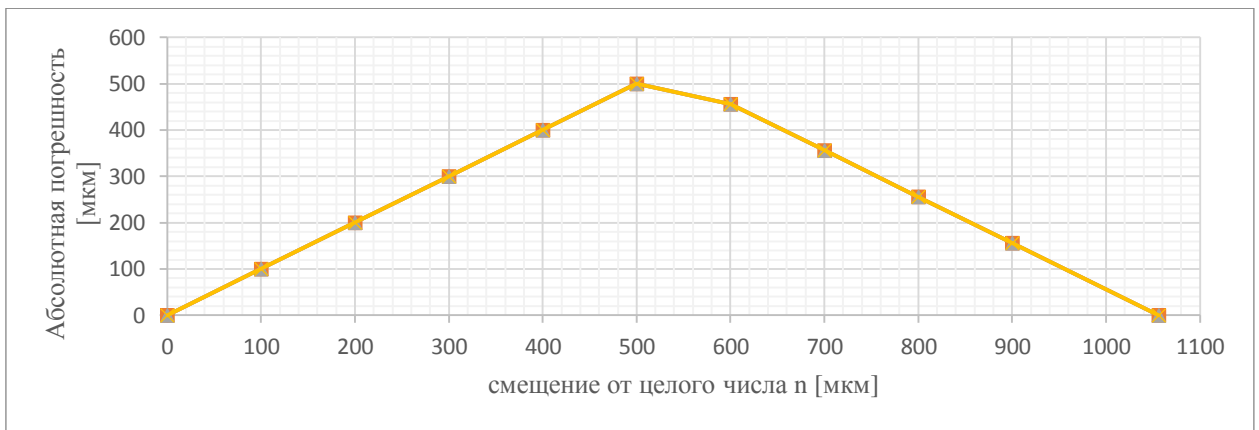


Рисунок 10 – График зависимости абсолютной погрешности от расстояния до отражателя для различных n : квадратик - 20, треугольник - 40, крестик - 80.

Как следует из рис.15, абсолютная погрешность при различных расстояниях до отражателя имеет одинаковое значение.

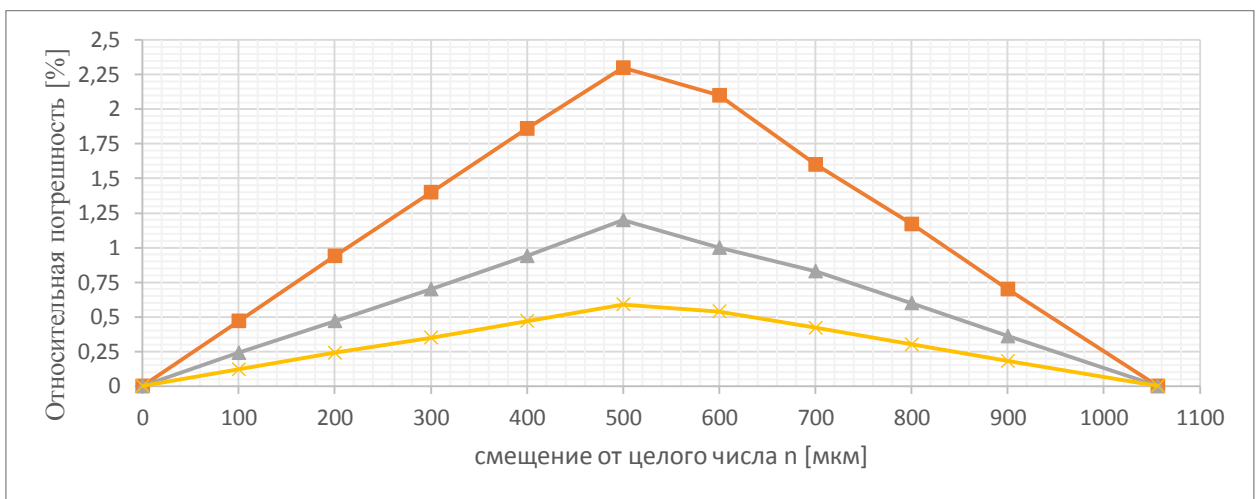


Рисунок 11 – Графики зависимости относительной погрешности от расстояния до отражателя для различных n : квадратик - 20, треугольник - 40, крестик - 80.

Как следует из рис.11, с ростом расстояния относительная погрешность уменьшается.

Заключение

В ходе выполнения квалификационной работы проведен анализ современного состояния исследований в применении лазеров для измерения микро- и наносмещений.

Проведено моделирование автодинного сигнала при изменении длины волны лазерного излучения. Построены спектры автошинного сигнала при различных расстояниях.

Показано, что при увеличении расстояния до объекта, график абсолютной погрешности в зависимости от увеличения расстояния до объекта на величину от 100 до 1056,25 мкм, при $n=20$; $n=40$; $n=80$ имеет идентичный вид. Относительная же погрешность при увеличении целого числа полувольт n будет уменьшаться.

Показано, что, абсолютная погрешность не зависит от расстояния, а относительная погрешность с ростом расстояния уменьшается.