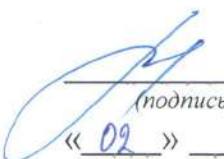


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКПБ «Опτικο-электронные методы в землеустройстве и кадастрах»


СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНИПКРС



(подпись) Е.М. Димитриади
« 02 » 06 20 26 г.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной
работе

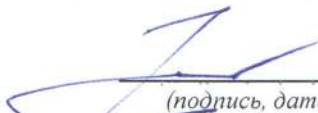

(подпись) А.В. Космынин
« 03 » 06 20 26 г.

Декан ФКС


(подпись) Н.В. Гринкруг
« 02 » 06 20 26 г.

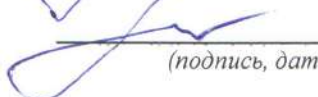
« Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера »
Комплект конструкторской / проектной документации

Руководитель СКПБ


(подпись, дата)

В.И. Зайков

Руководитель проекта


(подпись, дата)

В.И. Зайков

Карточка проекта

Название	<i>Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера</i>
Тип проекта	<i>Техническое творчество (инициативный)</i>
Исполнители	Мищенко А.С гр. 2К36-1 Капралов В.В гр2К36-1
Срок реализации	Начало выполнения – 16.02.2026 г. Окончание выполнения – 30.04.2026 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования

«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ
на разработку

1. Название проекта: «Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера» _____

Назначение: Высокоточная регистрация амплитудно-частотной характеристики преобразованного лазерного излучения _____

Область использования: _Технология высокоточной диагностики напряженно-деформированного состояния объектов _____

Функциональное описание проекта: _

Волоконно-оптические интерферометры различного типа достаточно широко используются в технологии высокоточного контроля для регистрации и измерения целого ряда параметров в таких процессах, как:

- дефектоскопия материалов изделий;
- деформации общего характера в различных направлениях;
- низкочастотная и высокочастотная вибрация;
- регистрация акустических колебаний;
- регистрация изменений температуры и давления

Требования: _ Цель работы состоит в исследовании амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера с фазовым модулятором пьезоэлектрического типа. Для достижения данной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- разработка конструкции фазового модулятора пьезоэлектрического типа на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа с радиальным направлением поляризации;
- разработка и оптимизация оптико-электронной схемы волоконно-оптического интерферометра Мах-Цендера;
- разработка и реализация методики измерения амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера.

Таблица 1 – План работ:

Наименование работ	Срок
Теоретическое обоснование проекта	01.03.2026
Разработка конструкции фазового модулятора пьезоэлектрического типа на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа с радиальным направлением поляризации	14.03.2026
Разработка и оптимизация оптико-электронной схемы волоконно-оптического интерферометра Мах-Цендера	30.03.2026
Разработка и реализация методики измерения амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера	15.04.2026
Оформление отчета по выполненному проекту	30.04.2026

Перечень графического материала:

1. Общий вид конструкции фазового модулятора на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа
2. Функциональная схема волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера
3. Осциллограммы детектируемого сигнала в области формирования интерференционной структуры
4. Результаты исследования амплитудно-частотной характеристики фазового модулятора волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера

Руководитель проекта



 (подпись, дата)

В.И. Зайков

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

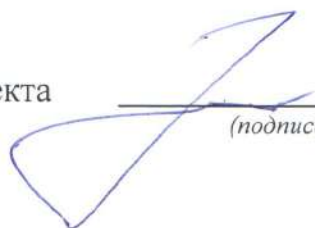
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ПАСПОРТ

(техническое описание) проекта

«Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера»

Руководитель проекта



(подпись, дата)

В.И. Зайков

Комсомольск-на-Амуре 2026

Содержание

Общие положения	7
1.1 Наименование изделия.....	7
1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия.....	7
1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке изделия.....	7
1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах	8
2 Назначение и теоретическое обоснование проекта.....	9
2.1 Назначение проекта (изделия).....	9
2.2 Области использования проекта (изделия).....	9
2.3 Теоретическое обоснование проекта (изделия)	9
3 Разработка конструкции фазового модулятора пьезоэлектрического типа на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа с радиальным направлением поляризации	11
4 Разработка и оптимизация оптико-электронной схемы волоконно-оптического интерферометра Мах-Цендера	15
5 Разработка и реализация методики измерения амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера...	27
6 Заключение	32

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		6

Общие положения

Настоящее техническое описание является документом, предназначенным для ознакомления с основными технологическими характеристиками, устройством, правилами установки и эксплуатации разработанного проекта.

1.1 Наименование изделия

Полное наименование изделия – «Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера».

1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия

Проектирование изделия «Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера» осуществляется на основании требований и положений следующих документов:

- задание на разработку.

1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке изделия

Заказчиком проекта «Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера» является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (далее заказчик), находящийся по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, Ленина пр-кт., д. 17.

Исполнителями проекта «Программное обеспечение для использования методов космического зондирования при мониторинге лесных пожаров» являются Конструкторы студенческого конструкторского/проектного бюро «Оптико-электронные методы в землеустройстве и кадастрах» (далее СКПБ), студенты группы 2КЗБ-1 Мищенко А.С и Капралов В.В

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		7

1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах

При проектировании использованы следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения.

ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.610-2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.

ГОСТ 2.004-88. Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		8

2 Назначение и теоретическое обоснование проекта

2.1 Назначение проекта (изделия)

Высокоточная регистрация амплитудно-частотной характеристики лазерного излучения

2.2 Области использования проекта (изделия)

Технология высокоточной диагностики напряженно-деформированного состояния объектов

2.3 Теоретическое обоснование проекта (изделия)

Развитие и совершенствование методов интерферометрии в настоящее время можно охарактеризовать переходом на более качественный уровень, связанный в первую очередь с применением волоконно-оптических технологий и элементной базы. [1,2]. Данное обстоятельство позволяет существенно повысить эксплуатационную эффективность оптико-электронных систем классических интерферометров, таких как интерферометры Маха-Цендера, Фабри-Перо, Майкельсона, Физо, Саньяка, и также осуществлять разработку их оптоволоконных аналогов, которые отличаются гораздо более высокими технико-эксплуатационными параметрами [6]. Волоконно-оптические интерферометры различного типа достаточно широко используются в технологии высокоточного контроля для регистрации и измерения целого ряда параметров в таких процессах, как:

- дефектоскопия материалов изделий;
- деформации общего характера в различных направлениях;
- низкочастотная и высокочастотная вибрация;
- регистрация акустических колебаний;
- регистрация изменений температуры и давления и т.п [7].

В этой связи следует отметить, что волоконно-оптические интерферометры на одномодовых волокнах по своим технико-эксплуатационным характеристикам относятся к классу наиболее высокоточных средств измерений.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		9

В соответствии с принятой классификацией волоконно-оптические интерферометры на одномодовых волокнах можно рассматривать в виде датчика с фазовой модуляцией. Независимо от схемного решения оптико-электронной системы в конструкции волоконно-оптического интерферометра фазовым модулятором является непосредственно оптическое волокно, которое представляет собой измерительный (рабочий) канал интерферометра. В этом измерительном (рабочем) канале на одномодовое волокно оказывается характерное воздействие (деформационное, температурное и т.п.), которое в зависимости от функционального назначения интерферометра, подлежит измерению. Величина численного изменения регистрируемого параметра характерного воздействия сопровождается соответствующим изменением плотности и размера оптической среды одномодового волокна, что в свою очередь, приводит к незначительному изменению фазы электромагнитной волны в измерительном (рабочем) канале волоконно-оптического интерферометра в виде [1]:

$$\delta\varphi_s = \delta\left(\frac{2\pi n_s l_s}{\lambda}\right) = \frac{2\pi}{\lambda}(\delta n_s l_s + \delta l_s n_s) \quad (1)$$

где n_s - показатель преломления исследуемой среды, измеряемый на длине волны λ ;

l_s - геометрическая длина пути световой волны в исследуемой среде.

В процессе фотодетектирования на выходе волоконно-оптического интерферометра регистрируется интенсивность суммарного электромагнитного излучения, прошедшего через измерительный (рабочий) и опорный канал. Изменение интенсивности суммарного электромагнитного излучения носит интерференционный характер и зависит от разности фаз оптических волн, прошедших через измерительный (рабочий) и опорный канал интерферометра.

Таким образом, при разработке конструкции и оценки эффективности работы волоконно-оптического интерферометра необходимо разработать методику тестирования на основе анализа результатов амплитудно-частотной характеристики фазового модулятора.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		10

3 Разработка конструкции фазового модулятора пьезоэлектрического типа на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа с радиальным направлением поляризации

Конструкция фазового модулятора волоконно-оптического интерферометра представляет собой многовитковую катушку из одномодового волокна типа G.652 (тип SF — Standard Fiber) с нулевым положением дисперсии на длине волны 1310 нм. Однорядная намотка оптического волокна состоит из 50 витков и выполнена на корпусе керамического пьезоэлемента кольцевого типа с радиальным направлением поляризации. Для изготовления пьезоэлемента кольцевого типа, применяемого в конструкции фазового модулятора, обычно используются пьезокерамические материалы на основе твердых растворов титаната свинца (с условным обозначением ЦТС или PZT в англоязычной версии), так как они характеризуются наиболее оптимальными пьезоэлектрическими характеристиками. Возбуждение пьезоэлемента осуществляется при подаче переменного напряжения различной частоты и амплитуды от генератора сигналов произвольной формы типа DG4162. Характер возбуждения проявляется в виде радиальных колебаний внешней поверхности пьезоэлемента с заданной частотой, что в свою очередь, приводит к деформации одномодового оптического волокна. Для повышения эффективности работы фазового модулятора необходимо обеспечить качественное сопряжение и фиксацию одномодового оптического волокна с внешней поверхностью пьезоэлемента. С этой целью намотка оптического волокна внешней цилиндрическую поверхность пьезоэлемента осуществлялась в специальном приспособлении с усилием 40-50Н и фиксировалось при помощи мини-струбцины. Общая длина одномодового оптического волокна, находящегося в зоне деформации, составляет 4,71 метров.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		11

Технические характеристики керамического пьезоэлемента кольцевого типа

- внешний диаметр 30,0мм;
- внутренний диаметр 26,0 мм;
- высота 20,0 мм.

Общий вид конструкции фазового модулятора на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа показан на рисунке 1

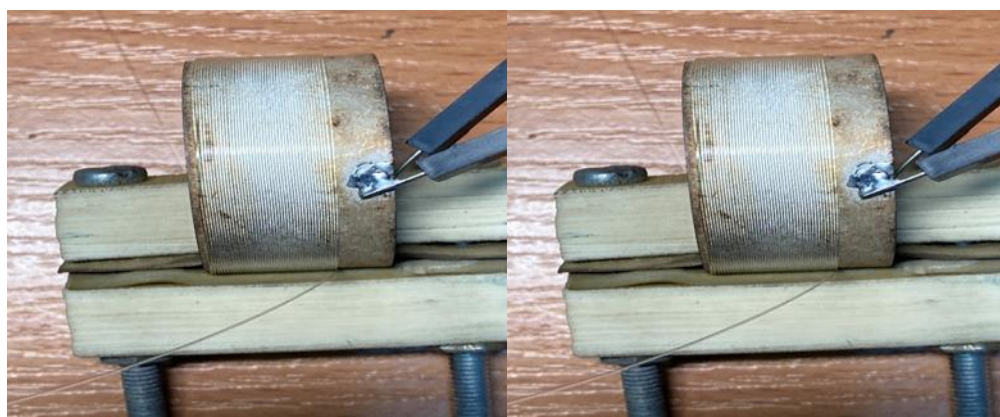


Рисунок 1 - Общий вид конструкции фазового модулятора на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		12

4. Разработка и оптимизация оптико-электронной схемы волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера

Для решения поставленной задачи в данной работе выполнена разработка конструкции и практически реализована сборка экспериментальной установки в соответствии с оптико-электронной схемой волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера. Функциональная схема волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера показана на рисунке 2.

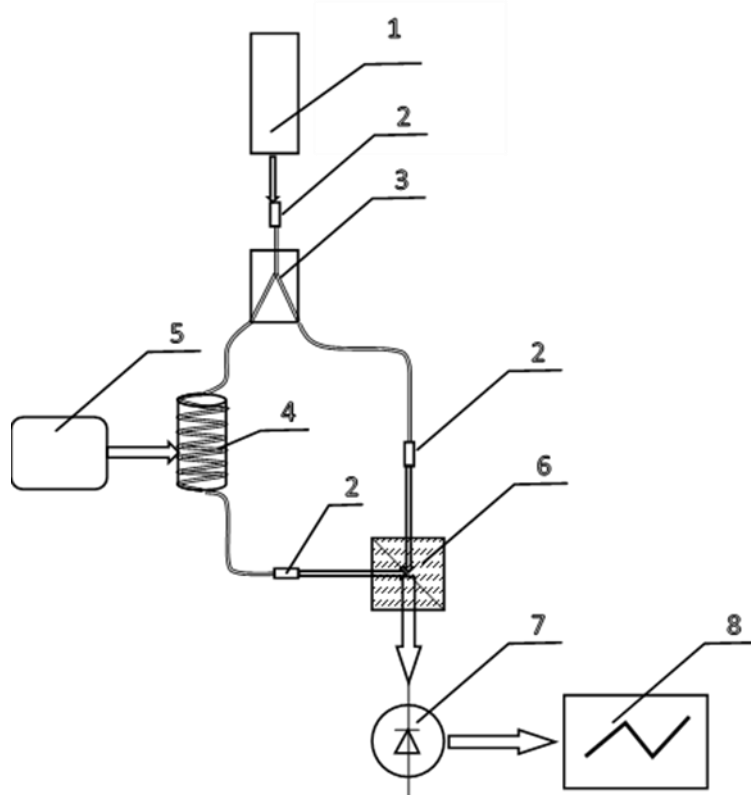


Рисунок 2 - Функциональная схема волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера

1- одночастотный DPSS лазер серии Cobolt Samba 532 нм ; 2- коллиматор типа F280APC-532 FC/APC Fiber Collimation Package; 3- волоконно-оптический разветвитель типа PS-102-A3-9B15-SA PLC сплиттер, 1x2, гильза;

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000

Лист

13

4- фазовый модулятор в виде катушки одномодового волокна на корпусе цилиндра пьезоэлектрического преобразователя; 5- генератор DG4162; 6- куб-призма; 7- фотодетектор типа PDA 36A-EC Si Amplified detector 350-1100nm; 8- осциллограф типа RTB 2004 digital oscilloscope 2.5GSa/s

В качестве источника излучения в конструкции экспериментальной установки используется лазер серии Cobolt Samba. Излучатели данной серии представляют собой твердотельные лазеры с диодной накачкой. Генерация лазерного излучения осуществляется в непрерывном режиме на длине волны равной 532 нм с выходной мощностью 100мВт. Управление режимом излучения осуществляется при помощи контроллера с программным обеспечением Cobolt Monitor software. К характерным особенностям данного типа лазеров, которые обеспечивают эффективность его работы, можно отнести следующие:

- одночастотный, спектральная ширина линии <1 МГц;
- высокое качество луча, TEM00 M2<1.1;
- низкий шум, среднее значение <0.1%;
- прочный, герметичный корпус;
- отсутствие чувствительности к оптическим обратным связям;

В соответствии с представленной схемой лазерное излучение от источника 1 подается на волоконно-оптический разветвитель (сплиттер) типа PS-102-A3-9B15-SA PLC 3. Планарный PLC сплиттер PS-102-A3-9B15-SA типа 1x2 имеет один кабель на входе с коннектором SC/APC и два кабеля на выходе, оснащенных также коннекторами SC/APC.

Коннекторы на входном и выходном кабелях оснащены коллиматорами типа F280APC-532 FC/APC Fiber Collimation Package для обеспечения эффективного ввода и коллимации выходного лазерного излучения.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		14

Корпус данного PLC сплиттера представляет собой металлическую трубу прямоугольного сечения. Размер корпуса: 50*7*4 мм.

В сплиттере PS-102-A3-9B15-SA используется одномодовое волокно типа G.652 (тип SF — Standard Fiber) с нулевым положением дисперсии на длине волны 1310 нм., диаметром 0,9 мм, длиной 1,5м. Выходные кабели волоконно-оптического разветвителя образуют соответственно опорный и измерительный (рабочий) канал волоконно-оптического интерферометра. Одномодовое оптическое волокно измерительного канала оформлено в виде много витковой катушки с однорядной намоткой на корпусе цилиндрической поверхности пьезоэлектрического преобразователя 4. При возбуждении пьезоэлемента генератором сигналов 5 габариты цилиндрической поверхности изменяются в радиальном направлении, что приводит к деформации одномодового оптического волокна в измерительном (рабочем) канале волоконно-оптического интерферометра. Характер данного воздействия на одномодовое оптическое волокно вызывает его периодическое удлинение в зоне контакта с поверхностью пьезоэлемента, что в свою очередь, приводит к изменению фазы электромагнитной волны в соответствии с зависимостью (1). Расходимость лазерного излучения на выходе измерительного и опорного каналов корректируется за счет использования коллиматоров типа F280APC-532 FC/APC Fiber Collimation Package для формирования плоских волновых фронтов.

Пространственное совмещение волновых фронтов электромагнитных волн измерительного и опорного каналов осуществляется при помощи куб-призмы (светоделителя) 6. Таким образом, в области пространственного совмещения (суперпозиции) волновых фронтов электромагнитных волн измерительного и опорного каналов следует ожидать возникновение интерференционной периодической структуры в виде полос конечной ширины.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		15

Регистрация изменения интенсивности интерференционной структуры, возникающей в результате фазовой модуляции осуществляется фотодетектором типа PDA 36A-EC Si Amplified detector 350-1100nm 7 с выводом записи на осциллограф типа RTB 2004 digital oscilloscope 2.5GSa/s 8.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		16

5. Разработка и реализация методики измерения амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера

Исследование амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера осуществляется в режиме, когда на одномодовое волокно измерительного (рабочего) канала оказывается характерное периодическое воздействие, которое приводит к изменению длины волокна, расположенного в зоне деформации на цилиндрической поверхности пьезоэлемента. Возбуждение пьезоэлемента осуществляется путем подачи гармонического сигнала от генератора на фиксированной частоте Ω_s . На заданной частоте гармонический сигнал дискретно изменялся по амплитуде в диапазоне от 1,0 до 20,0 вольт. Таким образом, численное значение фазы электромагнитной волны φ_s в измерительном (рабочем) канале волоконно-оптического интерферометра формируется в соответствии установленной частотой и амплитудой гармонического сигнала, что определяет режим нагрузки пьезоэлемента. В результате, характер изменения интенсивности полос интерференционной структуры в области суперпозиции волновых фронтов измерительного и опорного канала волоконно-оптического интерферометра зависит от величины фазового рассогласования $\delta\varphi = \varphi_s - \varphi_r$ электромагнитных волн в соответствующих каналах. Методика исследования амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера предполагает регистрацию осциллограмм, соответствующих фазовому рассогласованию электромагнитных волн в измерительном и опорных каналах. На рисунке 3 представлен общий вид осциллограммы детектируемого сигнала в области формирования интерференционной структуры.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		17

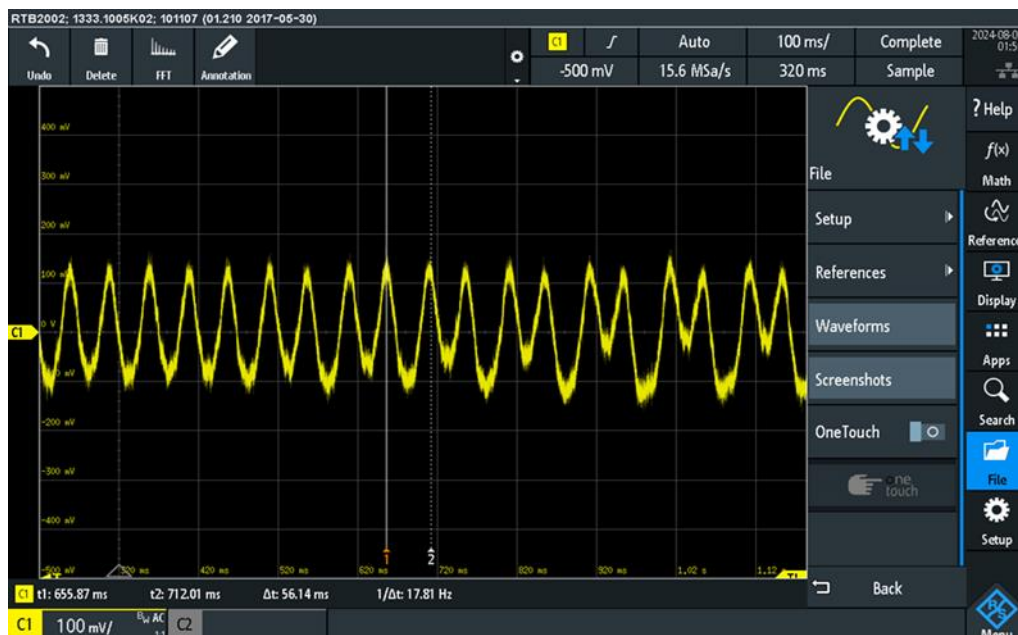


Рисунок 3- Скриншот осциллограммы интерференционного сигнала.
Режим нагрузки пьезоэлемента:

-частота - 100 Гц; - амплитуда – 3,0 В

В представленном скриншоте осциллограммы интерференционного сигнала на рисунке 3 численное значение частоты детектируемого сигнала соответствует величине равной 185,5 Гц.

Алгоритм формирования режима нагрузки пьезоэлемента определяется численным значением частоты и амплитуды сигнала, подаваемого с генератора на электроды пьезоэлемента.

В соответствии с принятой методикой исследования, воздействие на одномодовое оптическое волокно измерительного (рабочего) канала носит периодический характер за счет гармонического сигнала с генератора, подаваемого на пьезоэлемент с частотой Ω_s . В этом случае, характер изменения фазы электромагнитной волны на выходе из измерительного (рабочего) канала волоконно-оптического интерферометра представляет собой гармоническую функцию в виде [2]:

$$\varphi_s = \varphi_{s0} \sin \Omega_s t + \varphi'_s \quad (2)$$

где φ_{s-} - значение фазы в отсутствие внешнего сигнала.

В таком случае, зависимость для расчета изменения интенсивности интерференционной структуры может быть представлена в виде [1]

$$I_{\Sigma} = (I_s + I_r) \left[1 + \alpha \cos(\varphi_{s0} \sin \Omega_s t + \varphi'_s - \varphi_r) \right] = \\ (I_s + I_r) \left\{ 1 + \alpha \cos(\varphi'_s - \varphi_r) [J_0(\varphi_{s0}) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(\varphi_{s0}) \cos 2k \Omega_s t] + \right. \\ \left. \alpha \sin(\varphi'_s - \varphi_r) [2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k-1}(\varphi_{s0}) \sin(2k-1) \Omega_s t] \right\} \quad (3)$$

где I_r, I_s интенсивности опорной и исследуемой волн соответственно;

$$\alpha = 2 \frac{E_{r0} E_{s0}}{E_{r0}^2 + E_{s0}^2} = 2 \frac{E_{r0} E_{s0}}{I_r + I_s} \leq 1 .$$

Так как данное соотношение в явном виде не дает возможность зафиксировать частотный характер изменения интенсивности интерференционной структуры, то при обработке результатов исследования при фиксированном значении частоты гармонического сигнала от генератора дискретно изменялась его амплитуда. В свою очередь, изменение амплитуды гармонического сигнала, возбуждающего пьезоэлемент, приводит к изменению режима нагрузки (характерного воздействия) на одномодовый волоконный кабель измерительного (рабочего) канала интерферометра при заданной исходной частоте гармонического сигнала. В этом случае следует полагать, что при увеличении амплитуды гармонического сигнала, подаваемого на пьезоэлемент, периодическая деформация (удлинение) одномодового волокна оказывает соответствующее влияние на фазу электромагнитной волны в измерительном (рабочем) канале интерферометра в соответствии с зависимостью (1).

В процессе обработки полученных осциллограмм измерению подлежит частота детектируемого сигнала в области формирования интерференционной структуры при заданном амплитудно-частотном режиме нагрузки пьезоэлемента.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		19

В графическом виде результаты исследования амплитудно-частотной характеристики фазового модулятора волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера представлены на рисунке 4.

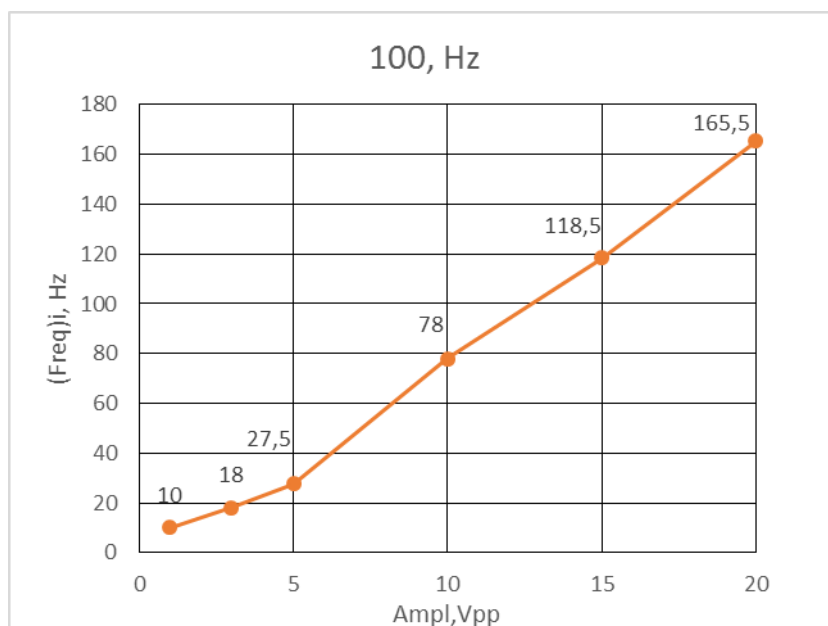


Рисунок 4- Изменение частоты интерференционного сигнала при заданной амплитудно-частотном характеристике гармонического сигнала, воздействующего на пьезоэлемент.

Заключение

В соответствии с поставленной целью и задачами основные результаты данной работы можно сформулировать следующим образом:

- выполнена разработка конструкции фазового модулятора на базе керамического пьезоэлемента кольцевого типа. Для изготовления пьезоэлемента кольцевого типа, применяемого в конструкции фазового модулятора, выбраны пьезокерамические материалы на основе твердых растворов титаната свинца (с условным обозначением ЦТС или PZT в англоязычной версии), так как они характеризуются наиболее оптимальными пьезоэлектрическими характеристиками ;

- выполнена оптимизация и разработана опико-электронной схемы волоконно-оптического интерферометра Мах-Цендера;

- разработана методика измерения амплитудно-частотной характеристики волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера.

Анализ полученных графических материалов позволяет охарактеризовать следующие закономерности изменения частоты детектируемого сигнала в зоне формирования интерференционной структуры:

- частоты детектируемого сигнала в зоне формирования интерференционной структуры равны частоте режима нагрузки пьезоэлемента только при амплитуде с численным значением равным $1,0V_{pp}$, заданной при формировании гармонического сигнала на генераторе. Этот фактор предлагается использовать для тестирования данного метода фазовой модуляции при настройке волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера;

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		21

- численное значение частоты детектируемого сигнала в зоне формирования интерференционной структуры пропорционально увеличивается при увеличении амплитуды гармонического сигнала генератора, возбуждающего пьезоэлемент в соответствии с представленными графическими материалами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бутусов, М.М. Волоконная оптика и приборостроение / М.М. Бутусов, С.Л. Галкин, С.П. Орбинский, Б.П. Пал. - Л.: Машиностроение, 1987. - 328 с.
2. Бусурин, В.И. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения / В.И. Бусурин, Ю.Р. Носов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 256с.
3. Шикульская, О.М. Расчет чувствительности элементов с распределенными параметрами / О.М. Шикульская, Л.А. Плешакова. //Авиакосмическое приборостроение. – 2006. - №11. – С. 17-18.
4. Шикульская, О.М. Анализ волоконно-оптических датчиков, используемых в интеллектуальных системах / О.М. Шикульская, Л.А. Плешакова. // Информационные технологии в образовании, технике и медицине. Сб. материалов Международн. науч. конф.: В. 3 т. Т.2. Волгоград. - 2004. – С. 27-32
5. Удд, Эрик Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. / Эрик Удд. - Москва: Техносфера, 2008. - 520 с
6. Кириенков, А.Ю. Волоконно-оптические интерферометрические методы для построения измерительных систем на основе поверхностно-излучающего лазера: дис. на соискание степени канд. тех. наук: 05.11.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» / Кириенков Александр Юрьевич; [Место защиты: С.-Петербур. нац. исслед. ун-т информац. технологий, механики и оптики]. - Санкт-Петербург, 2017. – 155 с.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		22

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОНиПКРС

Е.М. Димитриади

(подпись)

« 09 » 06 20 26 г.

И.о. проректора по научной
работе

А.В. Космынин

(подпись)

« 03 » 06 20 26 г.

Декан ФКС

Н.В. Гринкруг

(подпись)

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта

«Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 30 » апрель 2026 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- В.И. Зайков – руководитель СКПБ,
- Н.В. Гринкруг – декана ФКС

со стороны исполнителя

- В.И. Зайков – руководителя проекта,
- А.С Мищенко -

Ответственный исполнитель проекта

Составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект ««Волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера»

», в составе:

- Паспорт (техническое описание) проекта

Руководитель проекта



(подпись, дата)

В.И. Зайков

Исполнитель проекта



(подпись, дата)

А.С. Мищенко