ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОН ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА И СОЗДАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Н.Р.Рахимов, А.Н.Серьезнов, Р.У.Алиев, Т.В.Ларина, А.А.Мирзаалимов

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования характеристик оптоволокна, с целью использования его в качестве неотъемлемой части логического элемента. Изложена методика и приведены результаты исследования волоконно-оптического тракта для разработки оптоэлектронной системы неразрушающего контроля.

In this work results of the experimental investigation of the fiber optic and its logic cells characteristics and method and results of investigation of fiber optical tracts as optoelectronic systems without degradation control are presented in this work.

Логический элемент - это часть электронной логической схемы, которая реализует элементарную логическую функцию.

Логическими элементами являются электронные схемы **И, ИЛИ, НЕ, И - НЕ, ИЛИ-НЕ** и другие (называемые также **вентилями**), а также **триггер**.

С помощью этих схем можно реализовать любую логическую функцию, описывающую работу приборов и компьютера. Обычно у вентилей бывает от двух до восьми входов и один или два выхода. Чтобы представить два логических состояния – “1” и “0” в вентилях, соответствующие им входные и выходные сигналы имеют один из двух установленных уровней напряжения. Например, +5 вольт и 0 вольт. Высокий уровень обычно соответствует значению “истина” (“1”), а низкий – значению “ложь” (“0”).

Недостатком данных элементов на основе полупроводниковых соединений является в основном искажение сигналов при попадании электромагнитном полем, радиочастотным помехам и не возможность применения в опасных средах.

Одно из перспективных применений волоконных световодов (ВС) в контрольно-измерительной технике является создание логических элементов на основе ВС.

Оптоэлектронные системы использующие ВС, обладая рядом достоинств (невосприимчивость к электромагнитным и радиочастотным помехам, диэлектрические свойства, возможность применения в опасных средах, малая масса и габариты), находят широкое применение в авиационной промышленности для контроля и управления. В последнее время получены волоконные световоды с потерями меньше 1 дБ/км.

Подбором материала к и конструкции оптоволокна добиваются увеличения потерь для мод, распространяющихся в оболочке, и их снижения для направленных мод в сердечнике. Достигнутый минимальный уровень затухания при длине волны 1,3 мкм составляет 0,2 - 0,4 дБ/км и при длине волны 1,55 мкм – 0,16 дБ/км. Оптоволокно из многокомпонентного стекла работает в диапазоне длин волн 0,8 – 1,7 мкм. Оптические волокна из чистого кварца, покрытые полимерной оболочкой, имеют сердечник большого диаметра и относительно большую апертуру (NA).

В последнее годы в Институте химии АН России, разработана технология изготовления световодов типа кварц-полимер и получены первые отечественные ВС с сердцевиной из кварцевого стекла диаметром 200 мкм и более, числовой апертурой 0.2-0.4 и оптическими потерями 6-8 дБ/км на длине волны 0.8 мкм.

На рис.1 приведена одна из простых схем логического элемента на основе ВС.

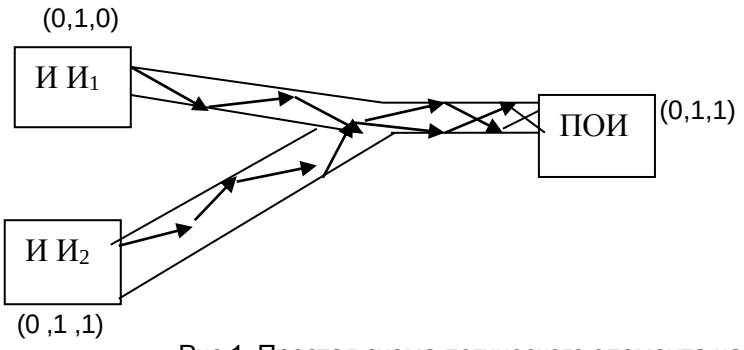

Рис.1. Простая схема логического элемента на основе ВС

С помощью этих схем можно реализовать логическую функцию, описывающую работу логического элемента. Здесь: ИИ-источник излучения (лазерный диод); ПОИ - приемник оптического излучения (фотодиод) и ВС. Обычно у вентилей бывает от двух до восьми входов и один или два выхода. А в нашем случае два входа ($ИИ_1$ и $ИИ_2$) и один выход (ПОИ). Чтобы представить два логических состояния — “1” и “0” в вентилях, соответствующие им входные и выходные сигналы имеют один из двух установленных уровней напряжения. Например, +3В подается на $ИИ_1$ и отключается питания 0 В. Высокий уровень обычно соответствует значению свечением лазерного диода $ИИ_1$“истина” (“1”), а низкий — значению, когда отключается лазерный диод, “ложь” (“0”). Так и система работает как электронная схема **ИЛИ.**

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования характеристик оптоволокна, с целью использования его в качестве части логического элемента (ЧЛЭ).

Одним из основных требований, предъявляемых к оптоволоконным, ЧЛЭ является механическая надежность, т.е. неразрушаемость при установке в условиях действия растягивающих напряжений, вибраций, перепадов температуры, влажности.

В работе [1-2] исследованы и приведены механические характеристики ВС.

Воздух - лучший изолятор. Он имеет самый низкий коэффициент теплопроводности, теоретически недостижимый в любых материалах (кроме более легких газов, вакуума в термосах и активной теплоизоляции). Но воздух подвижен, и перенос тепла в нем осуществляется, в основном, не теплопроводностью, а в результате массообмена (свободной или вынужденной конвекции). Конечно, это очень упрощенная модель, но в практически встречающихся случаях верная на 90 %. Для исключения массообмена воздушную прослойку надо разбить на маленькие ячейки, которые не допустят или существенно усложнят перенос горячего воздуха в холодную зону или наоборот. Иными словами, теплоизоляция - это "гранулированный" воздух. Чем меньше ячейки, тем лучше изолятор. И чем ближе изделие по плотности к воздуху, тем меньший у него коэффициент теплопроводности.

Таблица 1.

Механические характеристики ВС

№	Параметр (характеристика)	ВС	Минеральное	Базальтовое (БСТВ)
1	**Механические**			
1.1	Кажущаяся плотность, кг/м^3	12-25	25-40	15-23
1.2	Диаметр элементарного волокна, мкм	4-12	4-10	1-3
1.3	Длина волокон, мм	15-50	16	40-70
1.4	Модуль упругости, кгс/мм^2	До 7200	5400…8000	9100…11000
1.5	Коэффициент уплотнения при эксплуатации (СН и П 2.04.14.80)	1,6	1,8	1,2
1.6	Остаточная прочность при растяжении (после термообработки), % при температуре 20 ° С	100	100	100
	200 ° С	92	95	98
	400 ° С	52	60	85
	600 ° С	спекание	20	76

С учетом сказанного понятно, что базальтовая вата имеет преимущества перед стеклянной и минеральной, так как у нее тоньше волокна и меньше плотность (строки 1.1 и 1.2 Таблицы 1 и строка 2.3 Таблицы 2).

Таблица 2.

Температурные характеристики ВС

№	Параметр (характеристика)	ВС	Минеральное	Базальтовое (БСТВ)
2.1	Диапазон температур применения, ºС	-60…+250	-180…+450	-250…+700
2.2	Коэффициент теплопроводности, Вт/м ºС	0,038..0,042	0,04…0,047	0,031..0,034
2.3	Температура спекания, ºС	600	850	1100

Как видно, таблица 2 не требует особых комментариев. Следует отметить лишь то, что для стеклянного и минерального волокон приведены "лучшие" показатели. Они могут существенно отличаться от табличных данных в зависимости от марки стекла или состава шихты в минеральном волокне. Базальтовое волокно стабильно по составу и, соответственно, по температурным характеристикам. Кроме того, при оценке температурных характеристик необходимо учесть не только то, как волокно "держит" температуру, но и как меняется его прочность (Таблица 1, строка 1.6). Вывод очевиден в пользу базальтовых волокон.

В данной работе изложены методика и приведены результаты экспериментального исследования волоконно-оптического тракта для разработки оптоэлектронной системы неразрушающего контроля [3, 4].

Исследовано три типа полимерных световодов:

а) оптоволокно круглого сечения в защитной оболочке, диаметр сердцевины d_c = 0,4 мм, диаметр отражающей оболочки d_o = 0,6 мм.

б) оптоволокно круглого сечения без защитной оболочки, диаметр сердцевины d_c = 0,4 мм, диаметр отражающей оболочки d_o = 0,5 мм.

в) оптоволокно круглого сечения без защитной оболочки, диаметр сердцевины d_c = 0,2 мм, диаметр отражающей оболочки d_o = 0,4 мм.

Длина всех трех исследованных волокон составила 1 метр. Исследовано соединение «излучатель – разъем – оптоволокно – разъем – кабель – разъем – ПОИ».

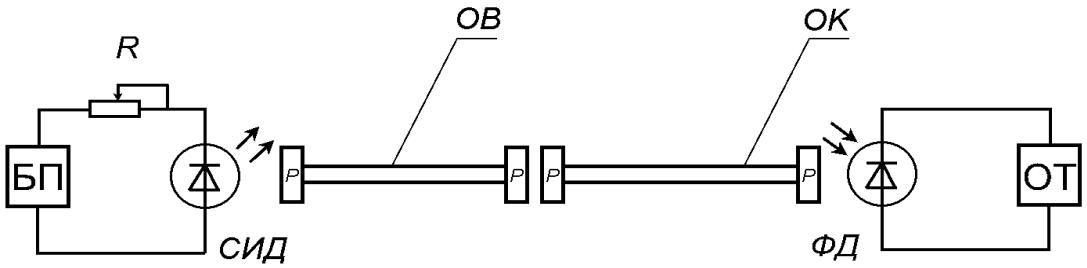

Рис. 2. Схема экспериментальной установки для снятия характеристики «излучатель – разъем – оптоволокно – разъем – кабель – разъем – ПОИ». БП – блок питания; R – регулировочный резистор; СИД – светоизлучающий диод; Р – разъем; ОВ – оптоволокно; ОК – оптический кабель; ФД – фотодиод; ОТ – оптический тестер.

Для проведения данного эксперимента собрана установка (рис.2). Из блока питания (БП) через переменный резистор R подается ток на светоизлучающий диод (СИД). В качестве СИД использован светодиод АЛ-107Б мощностью излучения до 10 мВт и длинной волны 0,85 – 1,2 мкм. Излучение СИД через разъем подается на исследуемое оптоволокно, и далее, через разъем на оптический кабель. Из оптического кабеля через разъем световой поток попадает на светочувствительную поверхность ПОИ. В качестве ПОИ использован фотодиод ФД-11К. Сигнал с ПОИ регистрируется в оптическом тестере (ОТ) «Электноника-6».

Электрическая схема тестера реализована на полупроводниковых приборах и интегральной схеме. Фотоэлектрический сигнал из ПОИ поступает на вход преобразователя «ток – напряжение», выполненном на интегральном операционном усилителе Д140УД12 в инвертирующем включении. Двухтактный эмиттерный повторитель на транзисторах КТ315Б и КТ361Б служит для увеличения нагрузочной способности операционного усилителя и для согласования его входного сопротивления с сопротивлением цепи обратной связи и сопротивлением индикатора. Напряжение с выхода преобразователя через переключатель режима работы и потенциометры поступает на измерительный прибор, в качестве которого используется микроамперметр М-906 ГОСТ 8711-75 со шкалами градуированными непосредственно в микроваттах и децибелах.

Далее поведен опыт по исследованию влияния длины волокна на его пропускную способность (оценка потерь в волокне в зависимости от его длины).

На рис.3 представлены зависимость сигнала от длины волокна. По результатам измерений видно, что при увеличении длины увеличиваются потери в волокне.

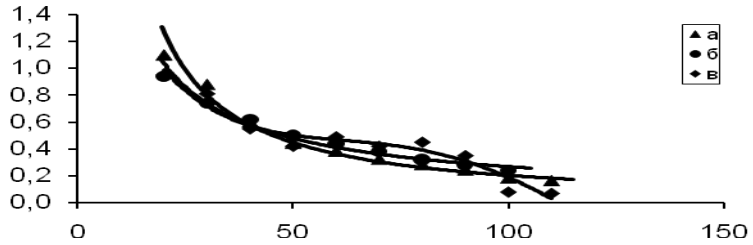

Рис. 3. Зависимость сигнала от длины волокна

Для проведения статических испытаний оптоволокна нами изготовлена экспериментальная установка (рис. 4). В состав установки входят следующие элементы: блок питания (БП), переменный резистор (R), лазерный диод (ЛД), исследуемое оптоволокно (ОВ), динамометрическая установка (ДУ), фотодиод (ФД) и оптический тестер (ОТ). Из блока питания через переменный резистор R на лазерный диод подается питающий ток.

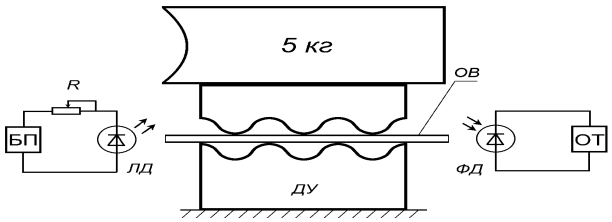

Рис.4. Схема экспериментальной установки для снятия динамометрических характеристик оптоволокна.
БП – блок питания; R – регулировочный резистор;
ЛД – лазерный диод; ОВ – оптоволокно; ДУ – динамометрическое устройство; ФД – фотодиод; ОТ – оптический тестер.

Излучение ЛД, проходя через исследуемое оптоволокно, попадает на светочувствительную поверхность фотодиода. Сигнал с фотодиода измеряется с помощью оптического тестера. В качестве ЛД использован излучатель ИЛПН-301-1 с длиной волны 0,81-0,89 мкм, способный работать в непрерывном и импульсном режиме. В качестве датчика использован полимерный световод круглого сечения в защитной оболочке с диаметром сердцевины d_c = 0,4 мм и диаметром отражающей оболочки d_o = 0,6 мм. Прочность таких световодов значительно меньше 50 МПа, однако обращаться с ними гораздо удобнее, так как они не боятся случайных резких изгибов. Основной недостаток этих световодов – это повышенное на 2-3 порядка, по сравнению с кварцевыми, затухание. Динамометрическая установка, форма которой показана на рис. 5, изготовлена из твердого металла. Данная установка способна взвесить груз массой до 40 кг с разрешающей способностью и точностью ≈1%.

На рис.5 показана типичная характеристика, т.е. результат эксперимента. Данная характеристика показывает, что с увеличением нагрузки происходит ослабление сигнала, что согласуется с общепринятой теорией [5].

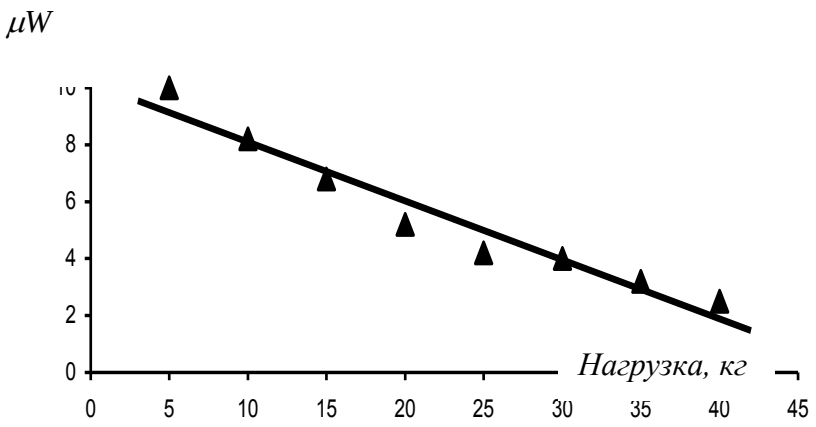

Рис. 5. Характеристика «нагрузка – ослабление сигнала».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Н.Р.Рахимов. Оптоэлектронные системы с применением волоконно-оптических датчиков для контроля усилия (давления) // Узб. Физ. журнал, 2005. № 1. – С. 156–158[1]

2. Н.Р.Рахимов. Оптоэлектронная система с волоконными световодами для определения начального момента разрушения конструкций // ПТЭ, 2005. №4. – С. 161–162. [2]

3. А.Н.Серьезнов, Н.Р. Рахимов, В.Н. Чаплыгин. Оптоэлектронная система с волоконными световодами для обнаружения трещин в конструкциях летательных аппаратов // сб. трудов Всероссийской отраслевой конференции. – Новосибирск: СибНИА, 2004. – С. 344–347. [3]

4. Н.Р.Рахимов, А.Н.Серьезнов. Способ определения мест предразрушения конструкций // Патент РФ №2247412, БИ. 2005. №8. [4]

5. Kaiser, P.: 'NA-dependent spectral loss measurements of optical fibres', Trans. I.E.C.E. of Japan, E61, 3, March, 1978, p 225-229.

Сибирская государственная геодезическая академия,
Андижанский государственный университет
Принято 26 января 2011 года