

Ю.А. Курчатов, Н.П. Кондратьев, Ю.П. Майборода, Ю.А. Марушкин,  
В.К. Николаев, Н.И. Одинцов, Г.А. Пономарев, Н.Я. Стриганков.

## **АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ.**

Сообщается о разработанном в ЦНИИИА комплексе аппаратуры для измерения основных параметров элементов волоконно-оптических линий связи.

В конце семидесятых годов предприятия министерства электронной промышленности СССР приступили к разработке элементной базы отечественных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) [1], [2]. В связи с этим ЦНИИИА была поручена работа по оснащению отрасли аппаратурой для измерения всех основных параметров элементов многомодовых ВОЛС:

- коэффициента затухания волоконных световодов (ВС) и световодных кабелей;
- дисперсии импульса в ВС;
- числовой апертуры;
- места расположения обрыва ВС в кабеле и распределения потерь вдоль ВС;
- профиля показателя преломления в поперечном сечении ВС;
- геометрических размеров ВС, деталей оптических разъемов, фоконов и заготовок для изготовления ВС.

Эта работа была выполнена в 1980 -1985 г.г. параллельно с разработкой элементов ВОЛС, отработкой технологии их изготовления и созданием технологического оборудования для их производства. В настоящей обзорной работе сообщаются принципы действия и основные технические характеристики разработанной аппаратуры.

Для многомодовых ВС коэффициент затухания, дисперсионная задержка импульсов и числовая апертура должны измеряться и иметь стационарное значение только при достижении равновесного распределения мод (РРМ) [3], которое достигается применением устройств, называемых смесителями мод [4], [5]. Общим для всех типов конструкций смесителей мод является обеспечение условий для сильной связи мод различных порядков на вызываемых внешними причинами микроизгибов и микронеоднородностей ВС и достижение близкого к РРМ состояния на небольшой длине. Контроль достижения РРМ в многомодовых ВС осуществляется измерением распределения мощности в поперечном сечении выходящего из ВС пучка в дальней зоне.

Во время разработки измерительной аппаратуры надежные оптические разъемы отсутствовали, поэтому ввод и вывод света осуществлялся через зачищенные от защитных оболочек и подготовленные входной и выходной торцы ВС. Подготовка торцов должна быть направлена на то, чтобы плоскости были перпендикулярны оси ВС и по чистоте и плоскостности приближались к идеальной оптической поверхности. Из того, что типичное значение наружного диаметра ВС равно 120 - 130 мкм, становится ясно, что эта задача непростая. В разработанной аппаратуре подготовка торцов ВС осуществлялась неуправляемым обламыванием ВС в месте предварительного надреза вблизи торца с обязательным контролем торцевой кромки под микроскопом. При отсутствии на кромке выбоин, раковин, выступов и прочих неровностей торцевая поверхность считается подготовленной.

Следующей технической особенностью возбуждения ВС пучком через входной торец является необходимость предотвращения распространения света по оболочке. Для этого зачищенный от защитных оболочек вблизи входного конца возбуждаемый ВС помещают в кювету с имперсионной жидкостью, показатель преломления которой близок к показателю преломления материала ВС.

Такое устройство называют фильтром оболочечных мод (ФОМ) [6]. Отметим, что к началу работы отсутствовала метрологическая аппаратура, необходимая для аттестации и поверки разрабатываемой аппаратуры. Поэтому одновременно с разработкой рабочей измерительной аппаратуры создавались методы и средства для ее метрологической аттестации и периодической поверки.

Важнейшим параметром ВС является коэффициент затухания  $A$ , определяемый в дБ по соотношению:  $A = 10 \lg \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}}$ , где  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$  - мощность света на входе и выходе соответственно.

Было разработано три типа установок для измерения коэффициента затухания, отличающихся техническими параметрами, но имеющие много общих черт.

Во всех установках применялся безобломный метод измерения: измеряемый ВС возбуждался идентичным ему коротким отрезком ВС, в котором для формирования РРМ применялся смеситель мод, а для предотвращения проникновения света через оболочку - ФОМ.

Контроль достижения РРМ контролировался по наблюдению на экране осциллографа распределения мощности в поперечном сечении выходящего из ВС пучка в дальней зоне. Это распределение формировалось объективом и электромеханическим сканирующим устройством. Во всех установках коэффициент затухания измерялся при помощи логарифмирующего измерителя

отношения в цифровой форме в децибелах и его значение можно было отпечатать вместе с номером образца и датой измерения на ленте цифropечатающего устройства.

При установке 0 дБ на место измеряемого ВС подключался короткий калибровочный отрезок ВС, однотипный с измеряемым.

Для уменьшения разброса показаний на сопрягаемые торцы ВС наносилась имперсионная жидкость.

Во всех установках был реализован метод метрологической аттестации прямым измерением меры затухания, для чего в установке было предусмотрено место для установки мер затухания в параллельный пучок света. Меры были изготовлены в виде плоскопараллельных стеклянных пластин с полупрозрачными пленками из титана и были аттестованы по коэффициенту затухания на соответствующих длинах волн в Саратовском центре метрологии и стандартизации.

УСТАНОВКА 1.456.015 [7], имела следующие основные технические характеристики:

- рабочая длина волны, мкм 0,85
- пределы измерения коэффициента затухания, дБ 1 - 30
- погрешность измерения коэффициента затухания, не более, % 10
- наружные диаметры измеряемых ВС, мкм 120, 150, 300 или 600

УСТАНОВКА 1.456.024 [8], имеет следующие основные технические характеристики:

- длины волн, на которых измеряется коэффициент затухания, мкм 0,85; 1,3; 1,6
- пределы измерения коэффициента затухания, дБ 1 - 20
- погрешность измерения коэффициента затухания, не более, % (от измеряемого затухания в дБ) 10
- возможность записи спектральной зависимости коэффициента затухания в диапазонах волн, мкм 0,8 - 1,6

Вследствие того, что ко времени разработки этой установки серийные отечественные полупроводниковые лазеры на длины волн 1,3 мкм и 1,6 мкм еще не были созданы, а также вследствие того, что требовалась запись спектральной зависимости коэффициента затухания на ленте самописца, в установке применены осветитель на лампе КГМ 12-100 и монохроматор МДР-23.

В качестве фотоприемников применены германиевые фотодиоды с большой приемной площадкой типа ФД5Г, помещенные в термостабилизирующее устройство с охлаждающим элементом на эффекте Пельтье.

УСТАНОВКА 1.456.015-01 появилась вследствие модернизации установки 1.456.015. В ней применены источники излучения на серийных отечественных полупроводниковых лазерах и устранены недостатки в конструкции оптико-механических узлов, выявленные при эксплуатации предыдущих моделей. Кроме того в ней, как и в установках измерения других параметров элементов ВОЛС, отсутствует устройство контроля РРМ, так как была установлена надежная работа смесителя мод и необходимость в применении контроля РРМ отпала.

Основные технические данные:

- рабочие длины волн, мкм 0,85; 1,3; 1,6
- пределы измерения коэффициента затухания, дБ 1 - 40
- погрешность измерения коэффициента затухания, не более, % (от измеренного значения в дБ) 5

В установке для измерения дисперсии оптических импульсов в волоконных светодиодах 1.456.027 [9] реализован импульсный метод измерения. Она состоит из измерительного блока и осциллографа стробоскопического вычислительного типа С7-16.

Оптические импульсы длительностью 0,7нс по уровню 0,5 от амплитуды генерируются в передающем модуле и оптической системой вводятся в ВС. Вышедшие из ВС оптические импульсы направляются на приемную площадку лавинного фотодиода типа ЛФД2А, преобразуются в электрические, усиливаются и подаются на вход блока осциллографического, где индицируются на экране осциллографа.

Входящий в комплект осциллографа вычислитель при совместной работе с осциллографическим блоком обеспечивает измерение длительности электрических импульсов по заданной программе и отображение результатов измерения в цифровом виде на табло измерителя.

Основные технические характеристики установки:

- длина волны, мкм 0,85
- длительность зондирующих импульсов на уровне 0,5 от амплитуды, нс, не более 1 - 10
- погрешность измерения дисперсии, % 10
- затухание излучения в ВС, не более 20 дБ.

Установка измерения числовой апертуры 1.456.033 [10] имеет следующие технические характеристики:

- пределы измерения числовой апертуры 0,1 - 0,6
- числовая апертура измеряется на длине волны 0,85 мкм и в белом свете
- погрешность измерения числовой апертуры, не более, % 5
- коэффициент затухания измеряемого ВС, не более: на длине волны 0,85 мкм, дБ 10 в белом свете, дБ 20

В установке использован метод, основанный на измерении апертурного угла, вышедшего из ВС пучка в дальней зоне, который связан с апертурой NA формулой  $NA = \sin \theta$ , где  $\theta$  - измеряется в диаметральной плоскости пучка по уровню 0,1 от максимального значения мощности. Источником, свет от которого вводится в измеряемый световод, является светоизмерительная лампа. При работе на длине волны 0,85 мкм используется интерференционный светофильтр. Вышедший из ВС пучок направляется на фотоприемник с диафрагмой, который с помощью шагового двигателя может перемещаться в плоскости поперечного сечения пучка. Вычисление  $\sin \theta$ , обеспечивающее прямое измерение числовой апертуры, осуществляется встроенным микропроцессором.

В установке 1.430.112 [11], названной индикатором места обрыва волоконного световода в кабеле, импульсным методом определяется расстояние до места обрыва световода через измерение времени распространения света до места обрыва и обратно. Измеряемое расстояние индицируется в цифровом виде.

Технические характеристики установки:

- пределы измерения расстояния до места обрыва ВС, м 10 - 1000
- погрешность измерения расстояния, не более, м + 2
- максимальное суммарное затухание оптического сигнала, не более, дБ 20

Для наблюдения выходных сигналов с фотоприемника и визуального контроля измеряемого интервала индикатор места обрыва имеет выход на осциллограф.

Установка 1.456.032 [12] предназначалась для измерения длины ВС, определения местоположения дефектов в ВС и визуального контроля распределения затухания по длине ВС.

В установке использован метод оптической рефлектометрии во временной области, основанный на измерении мощности света, распространяющегося в обратном направлении в результате отражения от локальных неоднородностей и релеевского рассеяния [17].

При этом достаточен доступ к одному концу ВС. Для обеспечения возможности регистрации обратного релеевского рассеяния применен мощный импульсный источник света на лазерном диоде и стробоскопический накопитель импульсов, позволяющий увеличить отношение сигнал - шум приемного тракта в 10 - 100 раз в зависимости от времени анализа.

Основные технические характеристики:

- рабочая длина волны, мкм 0,85
- диапазон измерения расстояния, м 5 - 3000
- погрешность измерения расстояния, м, не более 1
- верхний предел измерения затухания, дБ 5
- допустимое суммарное затухание сигнала в ВС с учетом коэффициента отражения от контролируемого дефекта, дБ 45
- цифровая индикация измеренного расстояния и запись распределения затухания по длине ВС на графопостроителе.

Установка 1.456.018 [12] предназначалась для измерения профиля показателя преломления в поперечном сечении ВС по мощности отраженного от торцевой поверхности света при нормальном падении. Пучок света от гелий-неонового лазера фокусировался в пятно диаметром около 3 мкм на торец ВС, который шаговым двигателем перемещался в направлении, перпендикулярном оси пучка. Отраженный от торца ВС свет собирался на фотоприемник и преобразовывался в аналоговом вычислительном устройстве в сигнал, пропорциональный показателю преломления. Измеренные значения показателя преломления регистрировались цифровым вольтметром, а профиль записывался на ленте автоматического потенциометра КСПЧ.

Основные технические характеристики:

- рабочая длина волны, мкм 0,63
- диапазон измерения показателя преломления 1,4 - 1,6
- погрешность измерения расстояния, м, не более + 1
- погрешность измерения, % + 5 x 10<sup>-3</sup>
- диаметр измеряемых ВС, мкм 100 - 600

Установка 1.169.020 [14] для бесконтактного автоматизированного контроля геометрических параметров заготовок волоконных световодов предназначалась для измерения диаметров оболочки и

сердцевины заготовок ВС в различных сечениях вдоль оси и при повороте заготовки вдоль оси.

В установке использован иммерсионно-оптический метод измерения. Контролируемый образец помещался в кювету с иммерсионной жидкостью с показателем преломления, близким к показателю преломления материала заготовки, и просвечивался пучком света. Изображение образца в контролируемом сечении разворачивалось во времени относительно фотопреобразователя. Сигналы с фотопреобразователя, несущие информацию об измеряемых размерах, обрабатывались в электронной части установки и в цифровой форме подавались на индикаторы и печатающее устройство.

В процессе контроля заготовка смещалась вдоль оси с заданным шагом и поворачивалась в каждом сечении на заданные углы вокруг оси. Процессы собственно измерений, перемещения и вращения заготовки и управления печатающим устройством синхронизированы между собой.

Возможен визуальный контроль анализируемой картины с помощью промышленной телевизионной установки. На ленту ЦПУ и цифровые индикаторы выводятся данные о диаметрах оболочки и сердцевины, номера контролируемого сечения и его азимута, а так же данные об экстремальных значениях диаметров оболочки и сердцевины.

Установка (рис. 9) имеет следующие основные технические характеристики:

- диапазон измерения диаметров оболочки, мм 7,5 - 25,0
- диапазон измерения диаметров сердцевины, мм 2,5 - 12,0
- основная погрешность измерения: для заготовок с диаметром оболочки не более 10 мм, не более, % 5
- для заготовок с диаметром оболочки в пределах (10,0 - 25,0) мм, не более, % 10
- максимальная производительность установки без учета подготовительных операций измерений/час, не менее 1500
- Кроме того, установка позволяет контролировать наружный и внутренний диаметры, толщину стенок кварцевых трубок диаметром (7 - 20) мм.

Устройство установки защищено авторским свидетельством [15].

На базе разработанного в ЦНИИИА телевизионного микроскопа "Схема-1" была создана установка для измерения геометрических размеров параметров оптических деталей согласующих устройств элементов ВОЛС [16],

состоящая из микроскопа Биолам-М, промышленной телевизионной установки типа ПТУ-42 и блока управления. На столе микроскопа располагаются кассеты с измеряемыми деталями оптических разъемов и согласующих устройств (фоконов).

Основные технические характеристики установки:

- пределы измерения, мкм 26,0 - 800
- основная погрешность измерения линейных размеров, % 4
- время одного измерения, не более, с 5
- управление визирами и переключение диапазонов измерения геометрических размеров осуществляется сенсорными датчиками.

На все установки были разработаны полные комплекты конструкторской и эксплуатационной документации, по которой на опытном заводе ЦНИИИА были выпущены необходимые партии установок.

Макеты, опытные и повторные образцы установок были внедрены и работали на предприятиях Министерства, что способствовало организации опытно-промышленного производства волоконных световодов и волоконно - оптических кабелей.

Это измерительное оборудование было первым в СССР оборудованием подобного рода. В процессе его разработки появилась информация о разработке оборудования аналогичного назначения в Японии [17]. Собранная и изученная научно-техническая информация была обобщена в монографии [18], которая явилась первой в СССР книгой, посвященной проблемам измерения параметров элементов ВОЛС.

#### Литература.

1. Дианов Е.М. Волоконно-оптическая связь. Состояние и перспективы развития. -Изв. АН СССР. Сер. физическая, 1980, Т.44, N 8, с.1754 - 1769.
2. Котельников В.А. Волоконно-оптические линии связи. - Радиотехника, 1982. N 2, с. 2-4.
3. Коэн Л.Г., Кайзер П., Линь Ч. Методы измерения потерь и дисперсии в волоконных светодиодах. -ТИИЭР, 1980, Т.68, N 10, с. 41 -48.
4. Cherin A.N., Head E.D.. A fiber concevation experiment, using a Standartized hoss measurement metod. - U.S. Dep.Com. Nat.Bur. Stand. Spec. Publ, 1980, N 597, p. 19 - 22.
5. Вейнберг Б.В., Саттаров Д.К. Оптика светодтодов.-Л.: Машиностроение, 1977.-320с.

6. Балов А.В., Неуструев В.Б. Метрика волоконных светодтодов и вопросы стандартизации измерений. - Изв. вузов, СССР. Сер.Радиоэлектроника.-1983.-Т.26, N 5,-С.18 - 26.
7. Научно-технический отчет N 1982 по ОКР "Разработка установки для измерения коэффициента полного затухания в единичном волокне и волоконно-оптическом кабеле".-Рег. N Ф11446/9002431.- ЦНИИИА-Саратов. 1981.
8. Научно-технический отчет N 1121 по ОКР "Разработка средства измерения коэффициента затухания в световоде и кабеле в пределах (1 - 20) дБ на длинах волн 0,85; 1,3; 1,6 мкм" .- Рег. N Ф15441/1002399.-ЦНИИИА-Саратов.1983.
9. Научно-технический отчет N 1259 по ОКР "Разработка установки для измерения дисперсии оптического импульса в волоконных световодах в пределах (1 - 10)нс". -Рег. N Ф15452/10022410.- ЦНИИИА-Саратов.1983.
- 10.Научно-технический отчет N 1259 по ОКР "Разработка полуавтоматической установки на базе микропроцессора для измерения числовой апертуры волоконных световодов в диапазоне 0,1 - 0,6".- Рег. N Ф19862/3002143.-ЦНИИИА-Саратов.1985.
- 11.Научно-технический отчет N 991 по ОКР "Разработка аппаратуры для обнаружения места обрыва оптического волокна в волоконно-оптическом кабеле". Тема N 367.-,ЦНИИИА-Саратов.1981.
- 12.Научно-технический отчет N 1240 по ОКР "Разработка рефлектометра для волоконных световодов".-Рег. N Ф17504/2002556.-ЦНИИИА-Саратов.1984.
- 13.Научно-технический отчет N 992 по ОКР "Разработка аппаратуры для контроля профиля показателя преломления в поперечном сечении оптического волокна".-Рег. N Ф11433/9002432.- ЦНИИИА-Саратов.1981.
- 14.Научно-технический отчет N 1261 по ОКР "Разработка полуавтоматической установки производственного назначения для бесконтактного контроля геометрических параметров заготовок волоконных световодов с производительностьб до 1500 изм./час",-Рег. N Ф208308/3003971.-ЦНИИИА-Саратов.1985.
- 15.. А.с. N 1295227 (СССР). Устройство для измерения геометрических параметров заготовок волоконных светодидов / Ю.А. Марушкин, В.К. Николаев. - Открытия, изобретения, 1987, №9.
- 16.Пояснительная записка N 1035 по ОКР "Установка для измерения геометрических параметров оптических деталей, согласующих устройств элементов ВОЛС",,-Рег. N 14544/1001100.-ЦНИИИА-Саратов.1983.
- 17.Measuring instruments for optical fiber communication system. / Информационно- рекламный материал фирмы ANDO Electric Co.Ltd,Japan.
- 18.А.Ф.Котюк, Ю.Н.Курчатов, Ю.П.Майборода и др., Введение в технику измерений оптико-физических параметров световодных систем./ Под ред. профессора А.Ф. Котюка, М: "Радио и связь", 1987, - 224с.