



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ВОСП

В.Н.Гаврилов, Ю.М.Грязнов, к.ф.-м.н., А.В.Махалов, П.Д.Моисеев, к.т.н., Д.А.Синев, А.А.Частов, к.ф.-м.н.; ОАО "ФНПЦ "НИИПИ "Кварц" имени А.П. Горшкова", www.kvarz.com, Нижний Новгород, Россия

В статье представлена новая автоматизированная система контроля параметров оптоэлектронных компонентов. Автоматизированная система состоит как из вновь разработанных приборов, так и из серийно выпускаемых. Приведены технические характеристики приборов и структурные схемы измерений параметров оптоэлектронных компонентов.

Волоконно-оптических системах передачи (ВОСП) информации наряду с пассивными элементами оптического тракта в качестве основных компонентов выступают светоизлучающие и фотоприемные структуры, а также выполненные на их основе модули и узлы. Эксплуатация ВОСП сопряжена с измерениями, тестированиями и контролем параметров этих элементов. Для автоматического тестирования и мониторинга параметров состояния пассивных элементов оптического тракта – соединителей, разветвителей и ответвителей, коммутаторов кабеля – на рынке имеется большое разнообразие измерительных систем. Но эти системы не контролируют параметры оптического сигнала: его уровень мощности, спектральные характеристики излучателей (лазеров или светодиодов), фотодетекторов, оптических усилителей. Поэтому в области контроля параметров светодиодов, полупроводниковых лазеров, излучающих модулей как на этапе их производства, так и в процессе эксплуатации ощущается необходимость в разработках измерительных систем. Системы контроля оптических параметров также необходимы на этапе разработки и производства фотоприемников и приемных модулей.

Автоматизированная система контроля параметров волоконно-оптических узлов и модулей

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF ELECTRO-OPTICAL COMPONENT PARAMETERS FOR THE FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS

V.N.Gavrilov; Yu.M.Gryaznov, *Cand.of Sc. (Phys. And Math.)*; A.V.Makhalov; P.D.Moiseev, *Cand. of Sc. (Eng.)*; D.A.Sinev; A.A.Chastov, *Cand.of Sc. (Phys. And Math.)*; kvarz_asu@sinn.ru IEM KVARZ, www.kvarz.com, Nizhny Novgorod, Russia

The paper presents a new automated control system of electro-optical component parameters. The automated system consists of both newly developed devices and series-produced ones. Technical characteristics of devices and block diagrams for measuring the parameters of electro-optical components are given.

Light-emitting and photo-integrated structures, as well as modules and nodes based on them, are used as the principal components in the creation of the fiber-optic transmission systems (FOTS). Thus the development of controls for the fiber-optic node and module parameters is caused by the need to solve measuring tasks in the following areas:

- control of LED, solid-state laser, radiating module parameters during the production phase and during operation,
- control of photoelectric receiver and receiving module parameters during development and production.

Automated control system will reduce the complexity of control operations and improve the stability of the produced component parameters for the FOTS.

The developed in JSC "Federal Research and Production Center" A.P. Gorshkov Research and Instrumentation Engineering Institution of Nizhny Novgorod "Quartz" automated control system of the fiber-optic node and module parameters is described below.

The automated system is designed to measure the following parameters of light-emitting and photo-integrated structures:

была разработана в ОАО "ФНПЦ "НИПИ "Кварц" имени А.П.Горшкова". Ее использование позволит снизить трудоемкость контрольных операций, повысить стабильность параметров выпускаемых компонентов ВОСП. Автоматизированная система предназначена для измерения следующих параметров светоизлучающих и фотоприемных структур:

- мощность и длина волны излучения светоизлучающих структур;
- ампер-ваттная чувствительность фотоприемных структур;
- спектральные характеристики светоизлучающих и фотоприемных структур;
- абсолютные и относительные уровни мощности излучения.

Автоматизированная система состоит из следующих приборов: источника излучения волоконно-оптического, измерителя мощности волоконно-оптического, аттенюатора волоконно-оптического, опорного приемника, входящего в состав установки для спектральных измерений. Приборы выполнены в виде конструктива размером 415×213×129 мм для установки в 19" стойку. Предусмотрена возможность комплектовать приборы в стандартном корпусе Propac PRO, производимом компанией Schroff, например: источник излучения волоконно-оптический и измеритель мощности, или источник излучения и аттенюатор волоконно-оптический (рис.1). В состав автоматизированной системы контроля входят также и серийно выпускаемые приборы: монохроматор МДР-204, источник питания постоянного тока, фотодиодный усилитель F57-601, ПЭВМ. Внешний вид автоматизированной системы контроля параметров волоконно-оптических узлов и модулей в полном составе приведен на рис.2.

Автоматизированная система соответствует требованиям ГОСТ 22261 в части метрологических характеристик, по стойкости, прочности и устойчивости к механическим и климатическим воздействиям удовлетворяет требованиям группы 3 ГОСТ 22261.

Основу источника излучения волоконно-оптического составляют полупроводниковые лазеры, излучающие на длинах волн 0,85; 1,31; 1,55 и 1,62 мкм. Величина уровня мощности и длина волны излучения диодных лазеров сильно зависят от температуры окружающей среды и температуры рабочей среды лазера. Поэтому в качестве излучателя используется полупроводниковый оптический модуль (ПОМ), содержащий лазер, смонтированный на

- power and wavelength of light-emitting structures;
- ampere-watt sensitivity of photo-integrated structures;
- spectrum characteristics of light-emitting and photo-integrated structures;
- absolute and relative emitting power levels.

The automated system consists of newly developed devices: a fiber-optic emitting source, a fiber-optic power meter, a fiber-optic attenuator, a mounting receiver, which is part of a unit for spectrometric measurements. The devices are made in the form of a 415×213×129 mm structural element for installation in a 19 inches rack. Devices can also be supplied in a standard Schroff Propac PRO package. For example: a fiber-optic emitting source and a power meter, or an emitting source and a fiber-optic attenuator, etc. Exterior appearance of the devices in the Propac PRO package is shown in Fig. 1.

The automated control system also includes series-produced devices: a monochromator MDR-204, a DC power supply, a photodiode amplifier F57-601 and a PC. Exterior appearance of the automated control system for fiber-optic node and module parameters in full is shown in Fig. 2.

The automated system meets the requirements of GOST 22261 in terms of metrological characteristics, hardness, strength and resistance to mechanical and climatic effects satisfies the requirements of group 3 of GOST 22261.



Рис.1. Разработанные приборы в стандартном корпусе Propac PRO

Fig. 1. Exterior appearance of the developed devices in the Schroff package



Рис.2. Автоматизированные системы контроля параметров волоконно-оптических узлов и модулей
Fig. 2. Automated control system for fiber-optic node and module parameters

полупроводниковом холодильнике. Холодильник вместе с датчиком температуры (в качестве датчика использован терморезистор) включен в схему термостабилизации, где он играет роли исполнительного и чувствительного элементов.

Чувствительным элементом схемы стабилизации мощности излучения является фотодиод. Сигнал с фотодиода подается на операционный усилитель, сравнивается с опорным постоянным напряжением. Сигнал рассогласования усиливается, интегрируется и далее поступает на управляемый источник тока накачки лазера. При изменении тока накачки лазер выводится в рабочую точку, и производится процедура стабилизации рабочих режимов.

Возможна модуляция выходного излучения от внутреннего генератора с частотой 270 Гц, которая осуществляется изменением тока накачки лазера. При этом ток накачки лазера складывается из двух составляющих (постоянной и переменной), величины которых зависят от значений управляющих напряжений, подаваемых в базы транзисторов генераторов тока.

Принцип действия измерителя мощности волоконно-оптического основан на преобразовании энергии оптического сигнала в электрический ток при помощи фотодиода. На входах измерителя мощности расположены специально разработанные оптические соединители, позволяющие подключать как многомодовые, так и одномодовые оптические кабели. Линзы, расположенные в соединителях, формируют параллельный пучок, необходимый для работы оптических узлов и модулей прибора.

The basis of the fiber-optic emitting source are solid-state lasers operating at wavelengths of 0.85; 1.31; 1.55; 1.62 μm . Lasers have a strong dependence of the power level and emission wavelength on the ambient temperature and laser temperature. Therefore, a solid-state optical module (DOM) is used as the transmitting source, containing a laser located on a solid-state cooler, which, together with a temperature gage (thermal resistor), is included in the thermal stabilization circuit as an actuating and sensing elements.

The sensing element of the emission power equalizing circuit is a photodiode. The signal from the photodiode is fed to the operational amplifier, compared with the reference DC voltage. The error signal is amplified, integrated and then fed to a controlled current source of the laser pumping. When the pumping current is changed, the laser is submitted to the operating point, and the operational conditions control is performed.

It is possible to modulate the output radiation from an internal generator with a frequency of 270 Hz, which is accomplished by changing the current of the laser pumping. With that the current of the laser pumping is composed of two components (constant and variable), the values of which depend on the control voltage values supplied to the transistor bases of the current generators.

Operating principle of the fiber-optic power meter is based on energy conversion of a visual signal into an electric current using a photodiode. At the power meter inputs there are specially designed fiber optical connectors allowing connection of both multimode and single-mode



Для повышения точности измерения мощности в измерителе предусмотрена возможность автоматического определения центральной длины волны излучения. Измерение осуществляется с помощью дисперсионного элемента, спектральная характеристика поглощения которого внутри рабочего диапазона носит монотонный характер и имеет большую крутизну. Принцип измерения длины волны данным способом заключается в следующем [1].

Отклик фотоприемника на воздействие излучения с распределением мощности излучения по длине волны $P(\lambda)$ в спектральном диапазоне $\Delta\lambda$ имеет вид:

$$I_1 = \alpha \int_{\Delta\lambda} S(\lambda) \cdot P(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где I_1 – ток фотоприемника,
 $S(\lambda)$ – спектральная чувствительность фотоприемника,
 α – ампер-ваттная характеристика фотоприемника.

Если перед фотоприемником расположить фильтр, прозрачность которого $T(\lambda)$, то отклик фотоприемника на излучение с такими же характеристиками I_2 примет вид:

$$I_2 = \alpha \int_{\Delta\lambda} S(\lambda) \cdot P(\lambda) T(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

Спектральная чувствительность фотоприемника в пределах ширины спектра измеряемого излучения меняется незначительно, и ее можно считать постоянной.

Специально разработанный интерференционный фильтр имеет передаточную характеристику, обеспечивающую линейную зависимость его пропускания от длины волны (в пределах спектра, измеряемого ваттметром излучения), и следовательно:

$$I_2 \sim \alpha \int_{\Delta\lambda} \lambda \cdot P(\lambda) d\lambda. \quad (3)$$

Таким образом, отношение I_2/I_1 пропорционально центральной длине волны:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\int_{\Delta\lambda} \lambda \cdot P(\lambda) d\lambda}{\int_{\Delta\lambda} P(\lambda) d\lambda}. \quad (4)$$

Экспериментально измеренная при калибровке зависимость I_2/I_1 от длины волны излучения заносится в память процессора, и по двум

fiber optic cables. The lenses placed in the connectors form a parallel beam necessary for the operation of optical nodes and device modules.

To increase the accuracy of power measurement in the meter, it is possible to automatically determine the central emission wavelength. The measurement is carried out using a dispersive element, spectrum absorption characteristic of which is monotonic and has a high transconductance within the operating range. The principle of measuring the wavelength in this way is as follows [1].

Photoelectric receiver's response to the radiation effect with a radiation power distribution along the wavelength $P(\lambda)$ in the wavelength range $\Delta\lambda$ is given by:

$$I_1 = \alpha \int_{\Delta\lambda} S(\lambda) \cdot P(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

where I_1 is the photoelectric receiver current,
 $S(\lambda)$ is the spectrum response of the photoelectric receiver,
 α is the ampere-watt characteristic of the photoelectric receiver.

If a filter is placed before the photoelectric receiver, the transparency of which is $T(\lambda)$, then the response of the photoelectric receiver to emission with the same characteristics will be as follows:

$$I_2 = \alpha \int_{\Delta\lambda} S(\lambda) \cdot P(\lambda) T(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

The spectrum response of the photoelectric receiver within the spectrum width of the measured emission varies insignificantly, and it can be considered as constant.

A specially designed interference filter has a response characteristic that provides a linear dependence of its transmission on the wavelength (within the spectrum measured by the emission wattmeter) and, consequently:

$$I_2 \sim \alpha \int_{\Delta\lambda} \lambda \cdot P(\lambda) d\lambda. \quad (3)$$

Thus, the ratio I_2/I_1 is proportional to the central wavelength:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\int_{\Delta\lambda} \lambda \cdot P(\lambda) d\lambda}{\int_{\Delta\lambda} P(\lambda) d\lambda}. \quad (4)$$

The experimentally measured I_2/I_1 dependence on the emission wavelength when calibrating is



измерениям мощности определяется центральная длина волны исследуемого излучения.

При калибровке измеряется спектральная зависимость чувствительности фотодиодов, по которой рассчитываются коэффициенты, обратно пропорциональные чувствительности фотодиодов на каждой длине волны. При измерении мощности излучения по измеренной центральной длине волны излучения из памяти процессора извлекается коэффициент, соответствующий этой длине волны, и результат измерения мощности излучения дается с его учетом. Таким образом исключается спектральная чувствительность измерителя мощности от длины волны.

В каждом оптическом канале перед фотодиодами располагаются три независимо управляемых переключателя, которые по команде вводят в оптический пучок заслонку из светонепроницаемого материала, оптический аттенюатор с ослаблением 20 дБ или дисперсионный элемент, периодически включающийся в режиме измерения длины волны.

Введение в оптический тракт аттенюатора расширяет диапазон линейности фотоприемника, в качестве которого используется специальный фотодиод, расположенный на полупроводниковом термоэлементе, позволяющем стабилизировать температуру.

В структуре системы предусмотрена заслонка, способная перекрывать световой канал. Ее наличие вызвано необходимостью проведения калибровки прибора, а также связано с работой в режиме "установка нуля". Предусмотрено, что в этот режим можно входить как по команде оператора, так и автоматически - через заданный промежуток времени.

В качестве фотоприемника используется фотодиод на основе InGaAs-структур, фоточувствительный элемент которого расположен на полупроводниковом микрохолодильнике, что дает возможность стабилизировать температуру. Ток фотоприемников преобразуется в напряжение и далее подается на вход программируемого усилителя. Программируемый усилитель позволяет изменять коэффициент передачи усилителя в соответствии с уровнем подаваемой мощности оптического сигнала. Далее напряжение подается на вход 14-разрядного АЦП, преобразуется в двоичный код и обрабатывается микроконтроллером.

Исследование параметров излучающих и фотоприемных структур необходимо производить в широком динамическом диапазоне мощ-

recorded in the processor memory and the central wavelength of the analyzed emission is determined by two power measurements.

When calibrating, the spectral dependence of the photodiode sensitivity is measured, by which the factors inversely proportional to the photodiode sensitivity at each wavelength are calculated. When measuring the emitting power from the measured central emission wavelength, a factor corresponding to this wavelength is derived from the processor memory and the result of the emitting power measurement is given with its account. Thus, the spectral response of the power meter becomes independent of the wavelength.

In each optical channel, three independently controlled switches are placed in front of the photodiodes, which, upon command, introduce a damper made of light resistant material, an optical attenuator with attenuation of 20 dB, or a dispersive element periodically switched on in the wavelength measurement mode into the optical beam.

Introduction to the optical wavelength path of the attenuator extends the linearity range of the photoelectric receiver, which uses a special photodiode located on a semiconductor thermoelement, which allows stabilizing the temperature.

The presence of a damper blocking an optical channel is necessary both during calibration of the device and during operation in the "zero setting" mode. It is provided that this mode can be entered both by the operator's command and automatically - after a preset period of time.

As a photoelectric receiver, a photodiode based on InGaAs structures is used, the photosensitive element of which is located on a semiconductor micro-cooler, which stabilizing the temperature. The current of the photoelectric receivers is converted into a voltage and then fed to the programmed amplifier input. The programmed amplifier allows changing the transmission ratio of the amplifier in accordance with the level of the optical signal supplied power. Next, the voltage is supplied to the input of a 14-bit AD converter, converted to a binary code and processed by a microcontroller.

Parameters of the emitting and photo-integrated structure analysis must be carried out in a wide dynamic range of emitting powers, which is achieved by using a fiber optic attenuator.

ностей излучения. Это достигается применением аттенюатора волоконно-оптического.

Ослабление оптического излучения реализовано в приборе путем использования поглощающих металлических пленок, напыленных на подложки из оптического стекла. Этот метод обеспечивает наиболее стабильные показатели и более технологичен для получения заданных величин ослабления с большой точностью. Требуемое значение ослабления достигают, вводя в пучок параллельных лучей компоненты из набора дискретных ослабителей. Точное значение устанавливаемого ослабления достигается введением переменного ослабителя, ослабление которого меняется с углом поворота диска, расположенного на пути светового пучка, с нанесенным на него поглотителем.

При включении n дискретных ослабителей и переменного аттенюатора величина полного ослабления определяется в соответствии с формулой [2]:

$$A(\text{дБ}) = \rho_{\lambda_0 \text{ пер}}(\alpha) \exp(-k_{\lambda_0} f(\alpha)) + 10 \lg \prod_{i=1}^n \rho_{i, \lambda_0} \exp \left[-k_{\lambda_0} \sum_{i=1}^n L_i \right], \quad (5)$$

где k_{λ_0} – коэффициент поглощения пленки на длине волны градуировки λ_0 ,
 L – толщина поглотителя,
 α – угол поворота переменного ослабителя,
 $f(\alpha)$ – функция зависимости толщины пленки от угла поворота,
 $\rho(\alpha, \lambda)$ – коэффициент ослабления, определяемый отражением на поверхности с нанесенным на нее поглотителем.

Коэффициенты k_{λ_0} , $f(\alpha)$, $\rho_{\lambda_0 \text{ пер}}(\alpha)$, ρ_i , λ_0 определяются экспериментально на длине волны градуировки λ_0 .

Спектральные измерения в автоматизированной измерительной системе производятся на основе малогабаритного монохроматора МДР-204, в котором используется дифракционная решетка (600 штрихов на миллиметр), имеющая рабочую область 380–2500 нм. Для обеспечения возможности работы монохроматора с волоконно-оптическими световодами в системе применены согласующие оптические узлы на входную и выходную щели монохроматора. При работе выходное излучение монохроматора вводится в многомодовые волоконно-оптические соединители 62,5/125 мкм или 200/230 мкм, имеющие на своих концах соединительные разъемы типа FC/PC.

Приемник опорный, используемый в спектральных измерениях, работает в двух диапазонах: 0,8–1,0 мкм и 1,0–1,65 мкм. Отличитель-

The attenuation of optical emission is implemented in the device by using absorbing metal films deposited on optical glass substrates. This method provides the most stable rates and is more sophisticated for obtaining the specified attenuation values with great accuracy. The required attenuation is achieved by introducing parallel rays of discrete attenuators set into the beam. The precise value of the attenuation to be adjusted is achieved by introducing a variable attenuator whose attenuation varies with the disk angular rotation located in the path of the light beam with an absorber deposited on it.

With the inclusion of n discrete and variable attenuators, an absolute attenuation value is determined in accordance with the formula [2]:

$$A(\text{дБ}) = \rho_{\lambda_0 \text{ пер}}(\alpha) \exp(-k_{\lambda_0} f(\alpha)) + 10 \lg \prod_{i=1}^n \rho_{i, \lambda_0} \exp \left[-k_{\lambda_0} \sum_{i=1}^n L_i \right], \quad (5)$$

where k_{λ_0} is the absorption factor of the film at the wavelength of the calibration λ_0 ,
 L is the thickness of the absorber,
 α is the angular rotation of the variable attenuator,
 $f(\alpha)$ is the dependence function of a film thickness on the angular rotation,
 $\rho(\alpha, \lambda)$ is the attenuation factor determined by reflection on the surface with an absorber deposited on it.

The k_{λ_0} , $f(\alpha)$, $\rho_{\lambda_0 \text{ пер}}(\alpha)$, ρ_i , λ_0 factors are determined experimentally at the wavelength of calibration λ_0 .

Spectral measurements in automated measuring system are carried out on the basis of a small-size monochromator MDR-204, which uses a 600 grooves per millimeter diffraction grating with a working area of 380–2500 nm. To ensure the possibility of a monochromator operation with fiber optic waveguides, the system uses interface optical nodes at the entrance and exit slits of the monochromator. In operation, the output radiation of the monochromator is introduced into multimode fiber optic connectors of 62.5 / 125 μm or 200/230 μm having FC / PC type connectors at their ends.

The reference receiver used in spectral measurements operates in two ranges: from 0.8 to 1.0 μm and from 1.0 to 1.65 μm . A distinctive feature of the reference receiver is that its relative spectrum characteristic is preliminarily measured at a high-precision unit for spectral measurements, which is part of the State Special Standard of units of length and propagation



ной особенностью опорного приемника является то, что его относительная спектральная характеристика предварительно измеряется на установке высшей точности для спектральных измерений, входящей в состав Государственного специального эталона единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170-2006 [3]. Значения спектральной характеристики, измеренные через 10 нм, заносятся в формуляр опорного приемника и используются в программе измерений.

Структурная схема приемника опорного в основном аналогична структурной схеме измерителя мощности волоконно-оптического. Но имеется отличие, оно заключается в том, что излучение в приемнике опорном с входного соединителя поступает непосредственно на фотодиоды, т.е. в нем отсутствуют задвижка, дисперсионный элемент и аттенуатор.

Средство контроля работает в следующих основных режимах:

- проверка правильности функционирования средства контроля;
- проведение автоматизированного измерения параметров излучающих структур;
- проведение автоматизированного измерения параметров фотоприемных структур.

Проверка правильности функционирования средства контроля обеспечивается диагностированием входящих в средство контроля приборов, проверкой их взаимодействия и проводится при подготовке к работе со средством контроля или при наличии сбоев в работе средства контроля.

Автоматизированная проверка излучающих и фотоприемных структур осуществляется в диалоговом режиме. ПЭВМ согласно программе выдает на дисплей указания для проведения соответствующих операций с проверяемой аппаратурой, оператор выполняет их и сообщает о выполнении на дисплей. По окончании проверки формируется и печатается, при необходимости, протокол проверки.

Измерение параметров излучающих структур производится по схеме, представленной на рис.3. У излучающих структур измеряется мощность излучения и спектральные характеристики (длина волны и полуширина спектра излучения). Мощность излучения можно измерять либо при фиксированном (заранее установленном значении тока накачки), либо в авто-

time in the fiber-optic waveguide, of the average power, attenuation and wavelength for fiber-optic data transmission systems of SSS170-2006 [3]. The values of the spectrum characteristic, measured at 10 nm, are entered in the reference receiver log and used in the measurement program.

The block diagram of the reference receiver is basically similar to the block diagram of a fiber-optic power meter. The difference is that in the reference receiver, the emission from the input connector goes directly to the photodiodes, i.e. there are no: damper, dispersive element and attenuator in it.

The control device operates in the following basic modes:

- fault detection in the course of operation of the control device;
- automated measurement of the emitting structure parameters;
- automated measurement of the photo-integrated structure parameters.

Fault detection in the course of operation of the control device is provided by diagnosing the devices included into the control device, verifying their interaction, and is performed in preparation for work with the control device or if any malfunctions in the control device.

Automated detection of emitting and photo-integrated structures is carried out in an interactive way. The PC, according to the program, calls up instructions on the display to perform the corresponding operations with the equipment controlled, the operator completes them and notifies on the display. Upon detection completion, a control chart is generated and printed, if necessary.

Emitting structure parameters are measured according to the diagram shown in Fig. 3.

The emitting structures measure the emitting power and spectrum characteristics (wavelength and half-width of the emission spectrum). The emitting power can be measured either at a fixed (preset pump current) or to remove the ampere-wattage of the analyzed emitting element in automatic mode. In this case, the limit values of the pump current and the step of its change must be entered in the measurement program. To measure the spectrum characteristics, the emission is fed through a monochromator to the reference receiver, the signal from which is fed to the PC via the interface. At the

матическом режиме снимать ампер-ваттную зависимость исследуемого излучателя. В этом случае в программу измерений должны быть введены предельные значения величины тока накачки и шаг его изменения. Для измерения спектральных характеристик излучение через монохроматор подается на приемник опорный, сигнал с которого через интерфейс поступает на ПЭВМ. По окончании цикла измерений ампер-ваттной и спектральной характеристик формируется протокол по результатам измерений.

Схема соединения приборов при измерении параметров фотоприемных структур приведена на рис.4.

Измерения спектральной чувствительности фотодиодов проводятся методом сравнения спектральных характеристик чувствительности фотоприемного модуля и приемника опорного с известной спектральной характеристикой, входящего в состав установки.

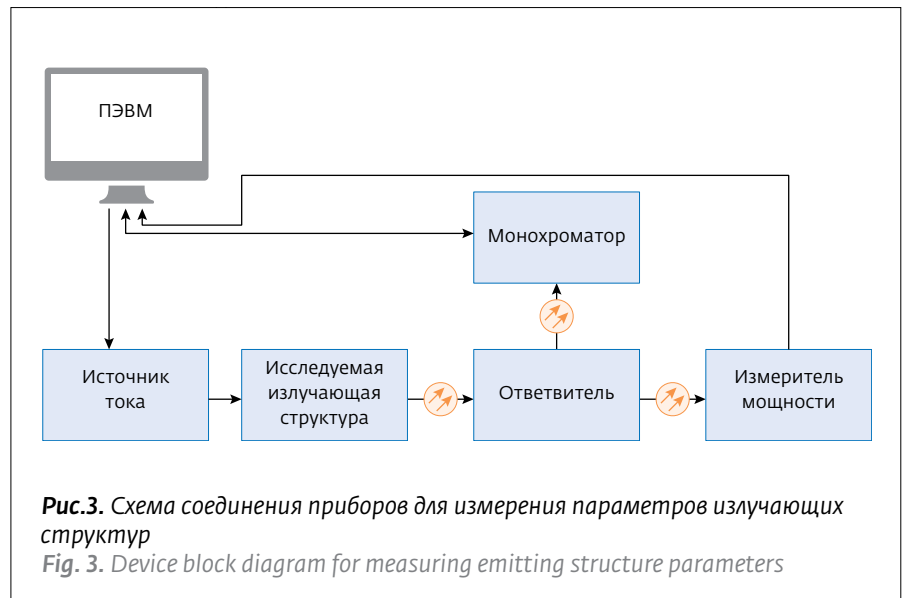
Сигналы, получаемые при последовательном подключении волоконно-оптического кабеля от монохроматора к входам опорного приемника и фотоприемного модуля (ФМ), можно записать как:

$$I_{\text{ОП},\lambda} = P_{\lambda} \cdot S_{\text{ОП},\lambda}, \quad (6)$$

$$I_{\text{ФМ},\lambda} = P_{\lambda} \cdot S_{\text{ФМ},\lambda}, \quad (7)$$

где P_{λ} – мощность излучения на выходе монохроматора на длине волны λ ;
 $S_{\text{ОП},\lambda}$, $S_{\text{ФМ},\lambda}$ – спектральные чувствительности приемника опорного (ОП) и фотоприемного модуля на длине волны λ ;
 $I_{\text{ОП},\lambda}$, $I_{\text{ФМ},\lambda}$ – отклики приемника опорного приемника и фотоприемного модуля на длине волны λ .

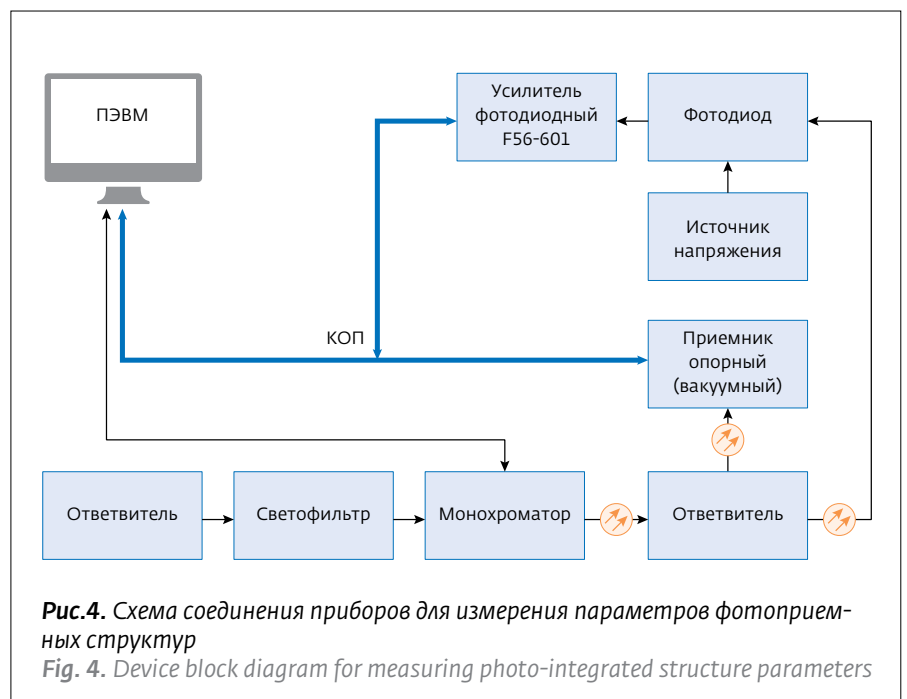
Тогда спектральная чувствительность фотоприемного модуля запишется следующим образом:



end of the measurements cycle of ampere-watt and spectrum characteristics, a protocol is generated based on the measurement results.

Device block diagram when measuring the photo-integrated structure parameters is shown in Fig. 4.

Measurements of the photodiode spectral response are performed by comparing the spectrum characteristics of the photo-integrated module response and the reference receiver with a known spectrum characteristic being a part of the unit.





S_{ФМ,λ} = S_{ОП,λ} · I_{ФМ,λ} / I_{ОП,λ} (8)

В результате измерений в диалоговом окне программы наряду с графическим изображением отклика чувствительности опорного приемника в заданном спектральном диапазоне отобразится спектральная зависимость отклика фотоприемного модуля и таблицы их значений.

Измерение ампер-ваттной чувствительности фотоприемных модулей проводится путем измерения мощности излучения, падающего на модули, и тока с помощью фотодиодного усилителя.

Для определения ампер-ваттной зависимости исследуемой фотоприемной структуры в программу измерений должны быть введены предельные значения величины мощности излучения и шаг ослабления.

Для определения спектральной чувствительности устанавливают спектральный диапазон измерений (λ_{max}, λ_{min}) и шаг движения по спектру.

По окончании цикла измерений ампер-ваттной характеристики и спектральной чувствительности фотодиодов формируется протокол по результатам измерений параметров фотодиодов.

Параметры и характеристики автоматизированной системы контроля определяются параметрами и характеристиками входящих в него составных частей. Для измерителя параметров излучающих модулей они соответствуют следующим значениям:

- диапазон измеряемых значений средней мощности 10^{-9}-10^{-1} Вт;
• основная относительная погрешность измерения средней мощности на длинах волн градуировки в пределах ±5%;
• длины волн излучения 0,85-1,65 мкм;
• абсолютная погрешность измерений длин волн не более 5 нм.

Для измерителя параметров фотоприемных модулей они соответствуют следующим значениям:

- ампер-ваттная чувствительность ..0,05-1 А/Вт;
• спектральная чувствительность:
• диапазон длин волн..... 0,60-1,65 мкм;
• погрешность измерения... не более ±4%.

Технические решения, применяемые в автоматизированной системе контроля параметров волоконно-оптических узлов и модулей, и наличие трех интерфейсов USB, RS232, КОП (GPIB) в каждом приборе обеспечивают простоту подключения как всей автоматизированной

The signals obtained by the series connection of the fiber optic cable from the monochromator to reference receiver inputs and the photo-integrated module (PM) can be written as:

I_{RR, λ} = Pλ · S_{RR, λ} (6)

I_{PM, λ} = Pλ · S_{PM, λ} (7)

where Pλ is the emitting power at the output of a monochromator at a wavelength λ, S_{RR, λ}, S_{PM, λ} - spectral responses of the reference receiver (RR) and photo-integrated module at wavelength λ, I_{RR, λ}, I_{PM, λ} - receiver responses of the reference receiver and the photo-integrated module at wavelength λ.

Then the spectral response of the photo-integrated module will be written as follows:

S_{ФМ,λ} = S_{ОП,λ} · I_{ФМ,λ} / I_{ОП,λ} (8)

As a result of measurements in the dialog box of the program, along with a graphic representation of the reference receiver response in a given wavelength range, the spectral dependence of the photo-integrated module response and their entry table will be displayed.

The ampere-watt response of the photo-integrated modules is measured by measuring the emitting power, impinged on the modules, and current using a photodiode amplifier.

To determine the ampere-wattage of the analyzed photo-integrated structure, limit values of the emitting power and the attenuation step must be included into the measurement program.

To determine spectral response, the spectral measurement range (λ_{max}, λ_{min}) and the motion step along the spectrum is set.

Upon completion of the measurements cycle of the photodiode ampere-watt characteristic and the spectral response, a protocol is generated based on the measurement results of the photodiode parameters.

Parameters and characteristics of the automated control system are determined by the parameters and characteristics of its component parts and correspond to:

- for the meter of the emitting module parameters:
• range of measured values of average power 10^{-9} - 10^{-1} W;



системы, так и отдельных приборов, входящих в ее состав, к персональному компьютеру. Пакет прилагаемых программных средств позволяет осуществить автоматизацию испытаний, составление отчетов и обеспечить при этом максимальный уровень производительности при измерении параметров волоконно-оптических узлов и модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гаврилов В.Н.** Комплект волоконно-оптических измерительных модулей для автоматизированной магистрально-модульной системы на базе шины VXI / В. Н. Гаврилов, Ю. М. Грязнов, А.В Махалов, А.А. Частов. – Антенны, 2004, вып. 7 (86), с. 23–30.
2. **Гаврилов В.Н., Грязнов Ю.М., Моисеев П.Д., Частов А.А.** Программируемый аттенюатор волоконно-оптический. – Радиоизмерения и электроника, 2010, № 16, с. 2–6. Н. Новгород. – ФГУП ННИПИ "Кварц".
3. Государственный специальный эталон единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны для волоконно-оптических систем связи и передачи информации ГЭТ 170–2006.
4. **Hecht J.** Photonic Frontiers: Optical Test and Measurement: Looking Back/ Looking Forward: A revolution in optical measurement – faster, easier and far more digital. – Laser Focus World, 2015, v.10, № 13, p. 25.

- the basic relative error of average power measurement at calibration wavelengths within $\pm 5\%$;
- emission wavelengths 0,85–1,65 μm ;
- absolute measurement error of wavelengths not more than 5 nm.

for the meter of the photo-integrated module parameters:

- ampere wattage response, A / W 0,05–1;
- spectral response:
 - wavelength range, μm 0,60–1,65;
 - measurement error, %, not more than ± 4 .

Engineering solutions used in automated control system of the fiber-optic node and module parameters, and the presence of three USB, RS232, GPIB interfaces in each device ensure easy connection, both of the entire automated system and individual devices included in it, to a personal computer. The software package allows performing testing automation, report preparation and, at the same time, ensuring the maximum performance efficiency when measuring the fiber-optic node and module parameters.