

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ТЕСТЕРОВ И ВАТТМЕТРОВ**Введение**

Стремительный рост телекоммуникационной техники и информационных технологий во многом обусловлен прогрессом в развитии волоконно-оптических систем передачи. В настоящее время большинство стран мира создают свои информационные сети на базе оптико-волоконных линий связи.

В Украине доминирующими по темпам развития наземных линий связи являются волоконно-оптические системы передачи информации. Значительная часть междугородней сети уже построена на базе таких систем. Планируется их широкое внедрение и в локальные информационные сети всех уровней. Рост темпов использования в связи оптических технологий ведет к увеличению количества оптической измерительной аппаратуры, которая используется при контроле качества и состояния волоконно-оптических линий связи. Объем используемой в целях измерительной аппаратуры и ответственность каждого проведенного измерения независимо от места и времени его осуществления ставят вопрос о необходимости метрологического обеспечения этого вида измерений. Государственная система метрологического обеспечения не имеет в настоящее время материальной и нормативной базы для обеспечения всех средств измерительной техники, осуществляющей контроль за параметрами оптического волокна. Поэтому создание в рамках ведомственных метрологических служб таких заинтересованных предприятий, как например, Укртелком, калибровочных лабораторий, является первоочередной задачей.

Ниже (см. табл.) приведен перечень наиболее широко используемых в Украине оптических тестеров и ваттметров и даны их основные технические характеристики и фирмы-производители. Эти приборы предназначены для измерения затухания оптического излучения в оптических волокнах и являются самыми широко используемыми средствами измерительной техники. Ориентировочная необходимость в этих приборах по Украине составляет в настоящее время более 1000 штук. В большинстве случаев в соответствии с законом о метрологии эти приборы должны подвергаться калибровке. Калибровка предусматривает установление метрологических характеристик, которыми обладает прибор в настоящее время. Как видно из таблицы, в Украине эксплуатируются оптические измерительные приборы как отечественного, так и импортного производства, поэтому метрологическое обеспечение оптической измерительной аппаратуры в Украине должно осуществляться в соответствии с международными нормами и стандартами. Это касается как технических средств измерения, так и нормативной документации.

Наименование оптического тестера	Длина волны, мкм	Динамический диапазон измерения уровня мощности, дБм, Вт	Погрешность, %	Нелинейность, %	Фирма-производитель
1. ОМКЗ-76	0,85; 1,3	$10^{-8}(10^{-7}) - 10^{-3}$	±15-18	±10	НИИЦИ «Кварц», Россия
2. ОМКЗ-102	1,3; 1,55*	$10^{-8} - 10^{-2}$	±15	±2	НИИ Радиоизмерительных устройств, Россия
3. ОГУ-94	0,85; 1,3; 1,55	$10^{-8} - 2*10^{-3}$	±10	±10	НПФ «Оптел», Украина
4. ОГУ-96	0,85; 1,3; 1,55	$10^{-9} - 2*10^{-3}$	±10	±5	НПФ «Оптел», Украина
5. Si 774X	0,85; 1,3; 1,55	$2*10^{-8} - 2*10^{-3}$	±5		Фирма Wavetek, США
6. OTS 7940X	1,3; 1,55	$10^{-10} - 3,2*10^{-3}$	±5		Фирма Wavetek, США
7. OT2-1	0,85; 1,3; 1,55	$10^{-10} - 2*10^{-3}$	±5		Фирма IT, Беларусь
8. OT2-2	0,85; 1,3; 1,55	$10^{-10} - 2*10^{-3}$	±5		Фирма IT, Беларусь
9. HP E5970A	0,85; 1,3; 1,55	$10^{-10} - 11,6*10^{-3}$		±5	Фирма Hewlett-Packard, США
10. HP 8153	0,85; 1,3; 1,55	$10^{-10}(10^{-14}) - 2*10^{-3}$	±2,2-3	±2	Фирма Hewlett-Packard, США
11. EPM-1, ELS-1	0,85; 1,3; 1,55	$10^{-8}(10^{-9}) - 2*10^{-3}$	±6		Фирма Электроника, Венгрия

Как было отмечено выше основным информационным параметром, характеризующим качество оптического волокна, является затухание оптического лазерного излучения в кварцевых оптических волокнах. Особенность используемого кварца заключается в том, что минимальная дисперсия и минимальные потери при прохождении излучения по волокну наблюдаются в области 1300 нм и 1500 нм. Ранее использовался спектральный диапазон 850 нм. Поэтому как лазерные источники, так и фотоприемные устройства волоконно-оптических линий связи работают в этих спектральных окнах. Следовательно, измерительная аппаратура, к которой в первую очередь относятся оптические тестеры и ваттметры, также работают на этих длинах волн.

Вторая особенность волоконно-оптических линий связи заключается в том, что распространяющееся лазерное излучение, которое необходимо измерять, имеет очень малые уровни мощности (от 10^{-3} до 10^{-10} Вт). Из таблицы следует, что динамический диапазон приборов лежит в пределах от $1,16 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-10} Вт.

С учетом современных требований необходимо с помощью оптических тестеров и ваттметров измерять затухание оптического лазерного излучения с погрешностью 3-5 %. Погрешность измерения у более ранних моделей оптических тестеров 15-10 %, у более современных – 5-3 %.

Эти особенности налагают определенные требования на метрологическое обеспечение оптических лазерных измерений.

Основные положения

Высокие требования, предъявляемые к точности измерения рабочих средств измерений требуют принципиально нового подхода к формированию метрологического обеспечения малоинтенсивной лазерной фотометрии. Необходимость развития нового подхода в первую очередь связана с тем, что этот спектральный диапазон до последнего времени для фотометрии не представлял большого интереса. Поэтому как создание высокоточных средств измерений, так и разработка методов поверок и калибровок приборов являются основными задачами, которые необходимо решить в Украине в ближайшее время в области метрологического обеспечения. Вторая особенность формирования метрологического обеспечения заключается в том, что ее необходимо создавать максимально приближенной к международным требованиям и стандартам.

Следовательно, основные задачи метрологического обеспечения в Украине в этой области состоят в следующем:

- создание высокоточных средств измерений;
- разработка методов поверок и калибровок приборов;
- максимальное приближение нормативной документации к международным требованиям и стандартам.

Для осуществления метрологического обеспечения оптических измерительных приборов необходимы источники излучения на длины волн 0,85 мкм; 1,3 мкм; 1,55 мкм с кратковременной (10-15 мкс) стабилизацией по мощности. При калибровке необходимо учитывать, что у отечественных оптических тестеров погрешность измерителя определяется в диапазоне, а у импортных приборов – в точке -20 дБм (10^{-5} Вт). Эта точка выбрана как стандартный уровень, потому что этот уровень обычно выбирается для калибровки чувствительности. Выбор стандартного уровня влияет на нелинейность, согласно определению, нелинейность равна нулю на стандартном уровне.

Следуя этим требованиям, предлагаем локальную поверочную схему для средств измерения мощности лазерного излучения малых и сверхмалых уровней построить следующим образом, используя существующие и действующие эталоны (см. рис.).

Верхний уровень поверочной схемы представлен государственным эталоном, основой которого является криогенный радиометр, позволяющий измерять уровни мощности до 10^{-5} Вт с погрешностью 0,01 %. Стоимость поверочных работ на этом эталоне очень велика вследствие того, что используется жидкий гелий. Поэтому по первичному эталону осуществляется поверка специального эталона базирующегося на абсолютном приемнике АП 300, погрешность которого составляет 2 % при измерении средней мощности в импульсе. Для решения поставленных в настоящей работе задач планируется модернизировать этот эталон путем включения в его состав абсолютного измерителя мощности на базе trap-детекторов. Они позволяют расширить диапазон измеряемых величин до 10^{-7} Вт и понизить погрешность измерений до 0,1 %.

Вторичный эталон предназначен для передачи единицы мощности рабочим эталонам и его планируется создать на базе фотометрической сферы, для того чтобы можно было измерять мощность расходящихся

лазерных пучков, поскольку на последующих уровнях метрологического обеспечения необходимо уже работать только с расходящимися пучками, наблюдаемыми на выходе из оптического волокна.

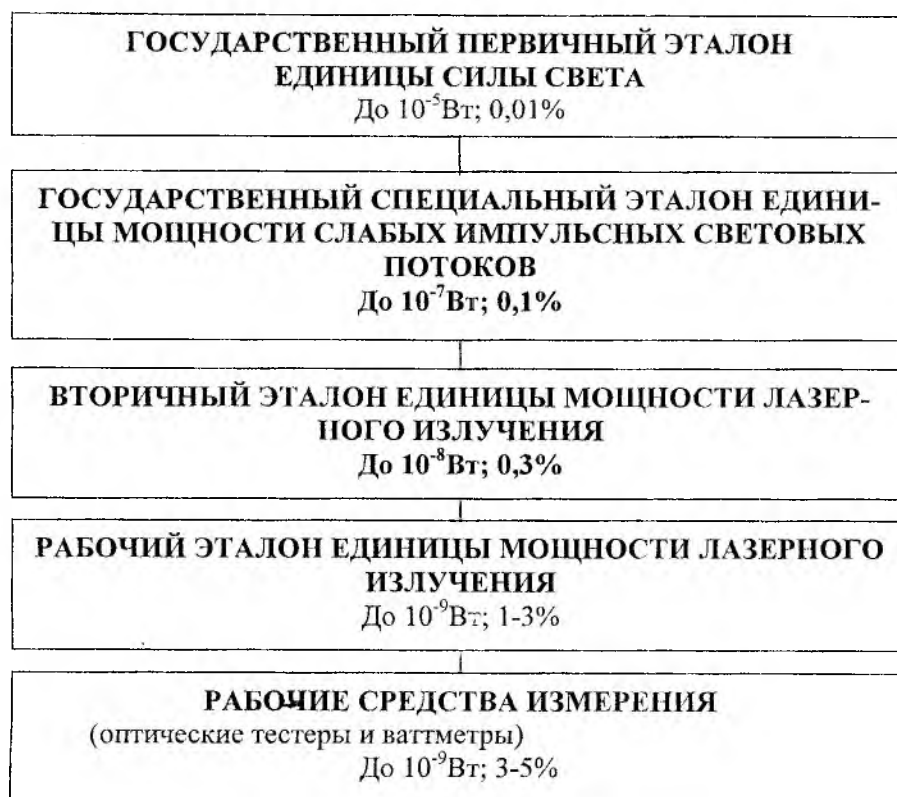


Рис.

Для непосредственной поверки рабочих средств измерений применяется рабочий эталон (в настоящее время один такой эталон действует в метрологической лаборатории Укртелекома (г. Киев)), у которого погрешность измерений не должна превышать 1-3 %, а диапазон увеличен до 10^{-9} Вт.

Предлагаемая локальная поверочная схема полностью совпадает с 4-уровневой схемой калибровки оптических тестеров и ваттметров предлагаемой международными документами, и в частности, стандартом IEC 1315.

Предлагаемую нами методику калибровки оптических тестеров и ваттметров можно условно разделить на 3 этапа: калибровка длины волны излучения; калибровка диапазона и калибровка погрешности.

На первом этапе калибровки определяют длины волн излучения поверяемых оптических источников излучения. Исследуемое оптическое излучение по волоконно-оптическому кабелю подается на вход монохроматора, который предназначен для выделения монохроматического излучения в спектральном диапазоне от 0,75 до 1,6 мкм. Диапазон выбран таким образом, чтобы в него входили все длины волн излучения, которые нам необходимо определить, т. е. 0,85 мкм, 1,3 мкм и 1,55 мкм. На выходе монохроматора измеряется интенсивность излучения и результаты фиксируются в памяти компьютера. Данные в компьютере обрабатываются и на экране дисплея высвечивается спектрограмма измеряемого излучения. Поскольку одновременно в процессе работы измеряют два параметра: длину волны, на которую настроен монохроматор, и интенсивность излучения, прошедшего через него, то можно построить спектрограмму излучения и измерить длину волны основной моды.

Второй этап калибровки – калибровка диапазонов уровней мощности. Проводим измерения мощности излучения в нескольких диапазонах и рассчитываем погрешность измерения в каждом диапазоне. Проверяем, не превышает ли погрешность в конкретном диапазоне мощности значения общей погрешности, указанной в техническом описании на тестируемый прибор. Чтобы удостовериться, что результат измерения оптическим тестером верен в широком диапазоне уровней мощности, а не только на уровне мощности, на котором калибровали абсолютную чувствительность тестера (10^{-5} Вт), необходимо измерять нелинейность тестера. Теоретически оптические тестеры дают правильные результаты измерения на протяжении многих значений оптической мощности. Однако эта

способность часто нарушается нелинейностью в отдельных диапазонах уровней мощности. Нелинейность тестера можно классифицировать следующим образом:

- нелинейность фотодетектора. Это влияние может быть малым на низких уровнях мощности, но оно может быть значительным на более высоких уровнях мощности, например, выше нескольких сотен микроватт;

- электронная нелинейность:

- 1) нелинейность в диапазоне аналогового усилителя, находящегося за фотодетектором;

- 2) разрыв диапазона, наблюдаемый путем переключения с одного диапазона мощности на другой, что вызвано несоответствием усиления, производимого усилителем.

Необходимо рационально определять нелинейность так, чтобы она непосредственно переводилась в погрешность измерения. Для этого сначала определяют чувствительность как результат измерения мощности, деленный на оптическую мощность на входе, затем отклонение от линейной чувствительности, т. е. разность между чувствительностью на произвольном уровне мощности и чувствительностью на стандартном уровне мощности, деленная на чувствительность на стандартном уровне мощности.

Согласно международным стандартам вводится понятие неопределенности. Рассматривают неопределенность двух типов: неопределенности типа А соответствует случайная погрешность, неопределенности типа В – систематическая погрешность. При проведении калибровки погрешности определяют 2 типа погрешности: случайную погрешность (неопределенность типа А) и систематическую погрешность (неопределенность типа В). Случайные изменения результатов измерений характеризуют случайную погрешность. Предполагается Гауссово распределение этих результатов измерений. Случайную погрешность определяют с помощью статистического анализа при доверительной вероятности 95 % (реже при – 97,7 %) и рекомендуют количество результатов измерений брать более 30.

Систематическая погрешность количественно определяет неизвестное смещение между результатом измерения и «истинным» значением измеряемой величины. Ее величину следует определить и описать шириной диапазона неточности. Предполагается прямоугольное распределение результатов измерения.

Затем определяется суммарная погрешность для собирания ряда индивидуальных неопределенностей в одно число. Суммарная неопределенность основывается на статистической независимости отдельных неопределенностей. Это ведет к сумме корней квадратных их стандартных отклонений. В отчетах о калибровке суммарную неопределенность указывают в виде диапазона неопределенности с доверительной вероятностью 95 %, реже – 97,7 %

Заключение

Таким образом, планируется создать материальную базу для метрологического обеспечения в полном соответствии с международными требованиями, что гарантирует единство измерений в этой области.

Учитывая тот факт, что в настоящее время в Украине эксплуатируется около 40 наименований оптических тестеров и ваттметров восьми фирм, для обеспечения единства в подходе к поверке и калибровке этих приборов на территории Украины было принято решение создать единый документ, в соответствии с которым все имеющиеся приборы калибруются на одном оборудовании и по единой методике.

В методику, которая разработана в Харьковском государственном научно-исследовательском институте метрологии, входят следующие основные калибровочные операции:

- калибровка длины волны излучения (в оптических тестерах);
- калибровка диапазона;
- калибровка погрешности.

Список литературы: 1. *International standart IEC 1315 "Calibration of fibre optic power meters"*. 1995. 122p. 2. *P50-660-88. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к построению, содержанию и изложению стандартов методов и средств поверки мер и измерительных приборов.* 3. *Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку.* К., 1999. 505с. 4. *Setting up a Calibration System for Optical Power Meters and Attenuators. Recommendation.* 1996. 16 p. 5. *Hewlett Packard's Optical Power Meter. Calibration.* 1996. 8 p. 6. *Michael Barrett. Calibration and Tractability of ILX Lightwave Optical Power Meters.* 1997. 15 p.

Харьковский государственный
научно-исследовательский институт метрологии

Поступила в редколлегию 4.07.2000