

от 1 до 100 МПа. Так для поверки приборов ИПМ-1 был изготовлен набор образцов, включающий: полиуретан с эквивалентной прочностью $f_{с,э\text{кв}}$ от 0,5 до 2 МПа, стекло органическое ТОСП ($f_{с,э\text{кв}}$ от 25 до 35 МПа) и алюминиевый сплав Д16Т ($f_{с,э\text{кв}}$ от 95 до 115 МПа). За счет отказа от аттестации эквивалентных мер исключается необходимость создания эталонного склерометра: для установления базовой градуировочной зависимости можно использовать серийно выпускаемые модификации ИПМ-1А и ИПМ-1Б. В совокупности это позволяет значительно уменьшить объем подготовительных работ, необходимых для поверки склерометров.

Предложенная методика поверки была согласована со специалистами Белорусского государственного института метрологии, утверждена и использовалась при проведении Государственных контрольных испытаний приборов ИПМ-1.

1. Испытание бетона. Неразрушающий кон-

троль прочности: СТБ 2264–2012. – Минск: Госстандарт, 2013. – 20 с.

2. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690–88. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 1997. – 28 с.
3. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–90. – Москва: Стандартинформ. – 2006. – 31 с.
4. Рудницкий, В.А. Новый прибор для неразрушающего контроля физико-механических свойств бетона / В.А. Рудницкий [и др.] // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: материалы XVII междунар. науч.-метод. семинара / Гродно: ГрГУ. – 2010. – С. 53-55.
5. Мацулевич, О.В. Применение прибора ИПМ-1Б для неразрушающего контроля прочности бетона / О.В. Мацулевич // Технологии бетонов. – 2014. – №7. – С. 22–23.

УДК 681.3

ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕДУР ИЗМЕРЕНИЙ, СРЕДСТВ (ПРИБОРОВ) ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Пономарева О.В.

*Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Основой формализованного описания измерительных процедур (алгоритмов, методов), погрешностей результатов измерения является уравнение измерений⁹. Наиболее общая форма уравнений задается следующим соотношением:

$$\lambda^* = L [\gamma(t)], \quad (1)$$

где λ^* – результат измерения физической величины λ ; $\gamma(t)$ – измерительный сигнал (сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине); L – обобщенный оператор, представляющий собой последовательность измерительных преобразований, выполняемых при измерении (алгоритм измерения).

Уравнение измерений (1), в отличие от иных форм уравнений измерений, дает возможность устанавливать взаимосвязь характеристик результатов измерений с составом алгоритма измерений (измерительной цепи) и характери-

стиками входящих в него измерительных преобразований (элементов измерительной цепи). Другими словами, благодаря уравнению измерений (1) появилась возможность путем детализации обобщенного оператора L создавать математические модели измерительной процедуры, степень адекватности которых определяется только априорными знаниями об измерительной цепи и составляющих ее элементов [1,2,3].

Начиная с семидесятых годов прошлого столетия процесс развития измерительной техники, проходит при все возрастающем влиянии информационных технологий (IT-технологии). Вследствие этого процесса был запущен механизм компьютеризации измерений, при котором средства вычислительной техники стали использоваться не только для обработки результатов измерений, но и были непосредственно включены в состав измерительных процедур. Применение средств вычислительной техники в составе измерительных процедур в свою очередь потребовало повышение уровня формализации описаний объектов и процедур. Естественно, эти обстоятельства привели к необходимости дальнейшего совершенствования формы уравнения измерений и, как следствие, к развитию подходов к формализованному описанию измерительных процедур (алгоритмов, методов), погрешностей

⁹ **Уравнение измерений** – уравнение, отражающее связь между величинами в конкретной измерительной задаче, обусловленную законами природы, в котором под буквенными символами понимают физические величины (РМГ 29 – 99).

результатов измерения, а также приборов измерений и их метрологических характеристик.

В рамках подхода к основам математической метрологии, предложенного в монографии [1], введено три формы уравнения измерений:

форма уравнения измерения, описывающая идеальную (номинальную, принятую) реализацию измерительной процедуры:

$$\lambda_E^* = L [\gamma(t)]; \quad (2)$$

форма уравнения измерения, описывающая неидеальную (реализуемую) измерительную процедуру:

$$\lambda_i^* = L^i [\gamma(t)]; \quad (3)$$

форма уравнения измерения, описывающая гипотетическую (физически нереализуемую) измерительную процедуру и представляющая истинное значение измеряемой величины:

$$\lambda = L^{\lambda} [\gamma(t)]; \quad (4)$$

Гипотетическая измерительная процедура используется при определении истинного (λ) значения величины λ , идеальная – при определении результата измерения (λ_E^*) величины λ , который мог бы быть получен при идеальной реализации измерительной процедуры, и, наконец, неидеальная – при получении результата измерения (λ_i^*) величины, которая отличается от (λ_E^*) из-за того, что реальные характеристики измерительного средства отличаются от идеальных характеристик. Рассмотрим этапы развития формализованного описания измерительных процедур (алгоритмов, методов), погрешностей результатов измерения, а также приборов измерений и их метрологических характеристик, сопоставив его с эволюцией средств электроизмерительной техники (рисунок 1).

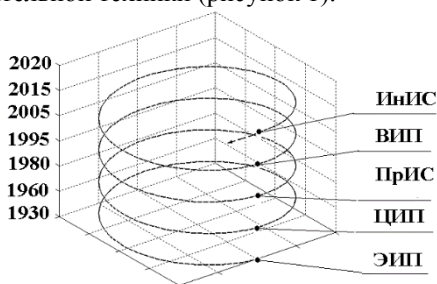


Рисунок 1 – Эволюция измерительных средств электроизмерительной техники

Электромеханические и электронные приборы. Формализованное описание измерительных процедур приборов данного поколения носит содержательный характер, а отдельные аналитические соотношения, которые описывают принцип измерения (физическое явление или

эффект, положенные в основу измерения), не носят обязательного характера.

Цифровые приборы. Появление данного класса измерительных приборов связано с целым рядом преимуществ цифровой обработки результатов измерений (гарантированная точность, идеальная воспроизводимость результатов) перед аналоговой обработкой. Это привело к переходу к уравнению измерений следующего вида:

$$\lambda^* = K R_1[\gamma(t)]; \quad (5)$$

R_1 – оператор преобразований осуществляемых в аналоговом виде; K – сравнение величины $R_1[\gamma(t)]$ с принятой образцовой единицей измерения.

Процессорные измерительные средства (ПриС). Это новая группа измерительных средств, в состав которых кроме аппаратной части входит перепрограммируемая вычислительная мощность (ПВМ), что дало возможность при той же аппаратной части изменять осуществляемые им (измерительным средством) измерительные преобразования за счет изменения измерительного программного обеспечения. Включение в ПриС ПВМ привело к дальнейшему повышению уровня формализованного описания и переходу к следующему уравнению измерений [3,4]:

$$\lambda^* = R_2 K R_1[\gamma(t)]; \quad (6)$$

где R_2 – оператор преобразований осуществляемых в цифровом виде.

Отметим, что при анализе характеристик погрешностей результатов измерения и метрологических характеристик средств измерений данного класса применяются как расчетные методы, так и методы имитационного моделирования [3].

Виртуальные измерительные средства. Одной из новых информационных технологий является так называемая технология виртуальных приборов, осуществляемая в программной среде Lab VIEW разработанной фирмой «National Instruments» [5], суть которой заключается в компьютерной (виртуальной) имитации (программной и алгоритмической) реальных измерительных приборов.

Данная информационная технология позволяет создавать множество измерительных приборов различного назначения с требуемыми метрологическими характеристиками, включая их моделирование и тестирование. При разработке универсального комплекса «объект – измерение» возможно применение для аналого-цифрового преобразования измерительных сигналов звуковой карты персонального компьютера и соответствующего ПО Lab VIEW.

Интеллектуальные измерительные средства (ИнИС). Разработка принципов повышения

уровня интеллекта ПриС привела к появлению интеллектуальных измерительных средств, которые радикально изменили требования к составу и организации измерительного обеспечения. Отметим, что данный вид измерительных средств предполагает полную формализацию [1] представления используемых и получаемых знаний, гипотетических, идеальных и неидеальных измерительных процедур.

5. Цветков, Э.И. Основы математической метрологии.-СПб.: Политехника. – 2005.-510 с.
6. Пономарева, О.В. Повышение точности и расширение функциональных возможностей цифровых фильтров на основе частотной

выборки / О.В. Пономарева, Н.В. Пономарева // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 114 - 119.

7. Пономарева, О.В., Алексеев, В.А., Пономарев, В.А. Методология определения погрешностей измерения вероятностных характеристик случайных процессов, реализуемых процессорными измерительными средствами // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 91-99.
8. Цветков, Э.И. Процессорные измерительные средства.-Л.: Энергоатомиздат. – 1989. – 224 с.
9. Суранов, А.Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям.-М.: LVR Пресс. – 2007. – 536 с.

UDC 620.179.14

AUTOMATED FACILITY FOR CALIBRATION OF LUXMETERS/PHOTOMETERS UPF-2

Skyns D.V., Tarasova O.B., Bakovets N.V.

*Belarusian State Institute of Metrology
Minsk, Belarus*

Introduction. One of the priorities of the Belarusian industrial policy is energy saving. Up to 20% of consumed in the country electricity is used for lighting of streets and buildings. So-called energy saving lamps) are widespread in last years.

The one of the main problems by the assessing of the correctness validity of light source exploitations is the measurements of created illumination.

This value (illumination) is strictly standardized by the number of technical regulations and should be controlled carefully [1-3]. However, all types used in Belarus luxmeters are calibrated or tested against the standard source CIE type A with correlated color temperature $T_c = 2856$ K, which relative spectral distribution of the radiation power is quite different the spectral distribution of the LED. Theoretical studies show, that by this reason the measurement error of illumination should significantly rise [4-6]. In our previous research was defined, that in the case of changing from CIE type A source to the LEDs illuminance measurement uncertainty in some cases increased [4]. In this case the illuminance relative measurement uncertainty of the luxmeters is not bigger than 4 %, the illuminance relative measurement uncertainty decelerated by the producer is 6% - 10% according to the type of luxmeter.

The nowadays used in BelGIM Facility UPF for calibration of luxmeters are obsolete, the automated Facility for calibration of luxmeters/photometers UPF-2 was created. Facility based on the light source, which includes both incandescent lamps and LEDs.

According to the definition, illuminance (at a point of a surface) is a integral, taken over the hemi-

sphere visible from the given point, of the expression $L_v \cos \theta d\Omega$, where L_v is the luminance at the given point in the various directions of the incident elementary beams of solid angle $d\Omega$, and θ is the angle between any of these beams and the normal to the surface at the given point. Unit: lx = lm·m⁻². From other side according the Lambert law the illuminance is proportional the cosine of the angle of the light direction and the illuminance is possible to calculate from the follow equation.

$$E_n = L_v \cos(\alpha) / r^2 \quad (1)$$

where r – distance to the light source. The most common method of the assessing the measurement error (uncertainty) is the method of substitution, i.e. comparison of measurements of illuminance produced by stable light source done with the standard photometer and the DUT. Thus, the measurement error of the DUT is defined as

$$\Delta E = \frac{\sum(E_{i_{\text{incn}}} - E_{i_{\text{is}}})}{n} \quad (2)$$

where $E_{i_{\text{incn}}}$ – illuminance measured by the DUT, $E_{i_{\text{is}}}$ – illuminance measured by the standard photometer, n – number of measurements, usually not less than 3.

The required value of illuminance is created by changing the distance from the light source or with use of the neutral attenuator of luminous flux. On the base of the Facility UPF-2 the both methods was decided to use. The block diagram on Figure 1 shows the Facility's structure.

The Facility consists of four units. There are the unit of the linear positioning and the luminous flux