

Оценка расширенной неопределенности результата измерения тока короткого замыкания тонкопленочных фотоэлектрических модулей

С. А. БОГОМОЛОВА*, Ю. Е. ЛУКАШОВ**, М. З. ШВАРЦ***

* Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова,
Чебоксары, Россия, e-mail: s_bogomolova@mail.ru

** Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы,
Москва, Россия

*** Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН С.-Петербурга, Россия,
e-mail: shvarts@scell.ioffe.ru

Дан анализ источников неопределенности результата измерения тока короткого замыкания тонкопленочного фотоэлектрического модуля. Разработана диаграмма Исикавы, отображающая основные источники неопределенности при использовании импульсного имитатора солнечного излучения. Выполнен расчет расширенной суммарной неопределенности результата измерения тока короткого замыкания с учетом выявленных источников.

Ключевые слова: тонкопленочный фотоэлектрический модуль, ток короткого замыкания, имитатор солнечного излучения, источники неопределенности результата измерения

An analysis of uncertainty of the results of measurement of short circuit current of the thin-film photovoltaic modules is presented. The Ishikawa diagram showing the main sources of uncertainty at using a pulse solar radiation simulator is developed. The calculation of the expanded total uncertainty of the result of short-circuit current measurement with taking into account the revealed sources of uncertainty has been carried out.

Key words: thin film photovoltaic module, solar radiation simulator, sources of measurement result uncertainty.

Современный этап развития солнечной фотоэлектрической энергетики характеризуется значительным прогрессом в области разработки и совершенствования структур и конструкций модулей на основе тонких пленок аморфного и микрокристаллического гидрогенизированного кремния (α -Si:H/ μ c-Si:H). Оборудование, используемое для плазмохимического осаждения полупроводниковых пленок, обеспечивает создание фотоэлектрических модулей (ФЭМ) размером 1300×1100 мм в едином технологическом процессе. Выходные фотоэлектрические характеристики полноразмерных модулей оценивают на имитаторах солнечного излучения (ИСИ), моделирующих при измерении вольт-амперной характеристики (ВАХ) стандартные параметры солнечного излучения: облученность 1000 Вт/м², спектральный состав AM1,5G, однородность и стабильность светового потока. По результатам измерения ВАХ модуля оценивают или вычисляют следующие фотоэлектрические параметры: ток короткого замыкания (фототок) $I_{к.з.}$, напряжение холостого хода $U_{х.х.}$, максимальную мощность $P_{\max}$, напряжение $U_{\text{опт}}$ и ток $I_{\text{опт}}$ в точке оптимальной нагрузки (при максимальной мощности), фактор заполнения FF' и коэффициент полезного действия η .

В зависимости от вырабатываемой мощности P производитель модулей может подразделять их на типы. Например, номенклатура тонкопленочных ФЭМ, доступных на рынке от компании Pramac (USA) или планируемых к выпуску ООО

«Хевел» (Россия), включает позиции 120, 125, 130, соответствующие $P = 120; 125; 130$ Вт. Для каждого типа модулей устанавливается рыночная стоимость. Очевидно, что определение интервала допустимых значений для фотоэлектрических параметров с учетом всех значимых источников неопределенности, влияющих на точность получаемых при контроле этих параметров результатов, является первостепенной задачей для любого производителя фотоэлектрической продукции.

В промышленных условиях стандартная процедура определения выходной электрической мощности модуля заключается в измерении ВАХ при засветке всей его фотовоспринимающей поверхности излучением постоянного или импульсного ИСИ. Технические характеристики ИСИ и формируемого им излучения оказывают значительное влияние на результаты измерения ВАХ ФЭМ. В соответствии с международными стандартами [1, 2] при эксплуатации ИСИ необходимо проводить периодическую калибровку и поверку создаваемых имитатором уровней энергетической освещенности (ЭО) и ее спектральной плотности (СПЭО), обеспечивая привязку к государственной поверочной схеме для средств измерений СПЭО и ЭО [3] и прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 86—2010.

В [4—8] обсуждаются вопросы влияния характеристик ИСИ и измерительных систем на показатели точности измерения $I_{к.з.}$, $U_{х.х.}$, $P_{\max}$. В [6—8] проанализированы источни-

ки неопределенности измерений фотоэлектрических параметров модулей, а также результаты расчета расширенной неопределенности при калибровке солнечных элементов и модулей на различных ИСИ в лабораторных условиях. Очевидно, что в промышленных условиях достаточно трудно добиться таких показателей точности.

Для солнечных элементов и ФЭМ требования к параметрам потока излучения, моделируемого на имитаторах, методам и средствам измерений ВАХ, методикам расчета коэффициентов спектрального рассогласования и температурных коэффициентов в полном объеме определены в стандартах [1, 2, 9—13]. Однако в каждом конкретном случае использования того или иного типа оборудования необходимо выявлять источники неопределенности, анализировать и оценивать расширенную неопределенность результатов измерений.

Ниже дан анализ источников неопределенности результата измерения $I_{k,3}$ тонкопленочных модулей при использовании ИСИ типа PVS1114i фирмы Nissihinbo Mechatronics Inc. (Япония), входящих в состав промышленной линии ООО «Хевел» и экспериментальной линии научно-технического центра тонкопленочных технологий при ФТИ им. А. Ф. Иоффе (С.-Петербург). Ток короткого замыкания выбран в качестве анализируемого параметра, так как в нормативной документации на данный параметр установлены наиболее жесткие требования по точности.

Определение фотоэлектрических параметров тонкопленочных ФЭМ в промышленных условиях. Использоу-

емые в работе импульсные ИСИ типа PVS1114i по совокупности технических характеристик и функциональных возможностей источника излучения, системы регистрации ВАХ и контроля условий измерения (уровня освещенности, температуры модуля и т. д.) при записи нагрузочных ВАХ полноразмерных модулей (1300×1100 мм) и определения нормируемых выходных фотоэлектрических параметров удовлетворяют требованиям стандартов [2, 9, 11]. Энергетическая освещенность настраивается и контролируется по эталонному ФЭМ, откалиброванному в соответствии с [10] и имеющему компоновку, аналогичную исследуемому объекту.

Поток излучения имитатора формируется двумя комбинированными источниками света, один из которых включает 36 линейных трубчатых галогенных ламп, а другой — две импульсные ксеноновые лампы, причем вначале включаются галогенные лампы, а затем импульсные. Таким образом, на модуле создается требуемый уровень энергетической освещенности 1000 Вт/м² при спектральном распределении излучения AM1,5G. Световой импульс имеет длительность плоской части 10 мс. В течение этого времени блок электронной нагрузки обеспечивает развертку по напряжению и измерение ВАХ модуля. Малая длительность светового импульса исключает нагрев исследуемого модуля. Диапазоны измеряемых напряжений 0—200 В, токов 0—5 А. Имитатор обеспечивает воспроизведение параметров потока излучения по классу АВА в соответствии с [2] и имеет технические характеристики, представленные в табл. 1.

Контроль температуры модуля осуществляется в течение всего процесса измерения, что позволяет в дальнейшем корректировать полученные результаты. При помощи персонального компьютера обеспечивается управление процессом измерения и регистрации ВАХ, представление и расчет всех требуемых фотоэлектрических параметров модуля, приведенных к стандартным условиям: облученность 1000 Вт/м²; температура 25 °С с учетом возможных вариаций плотности потока излучения и температуры модуля.

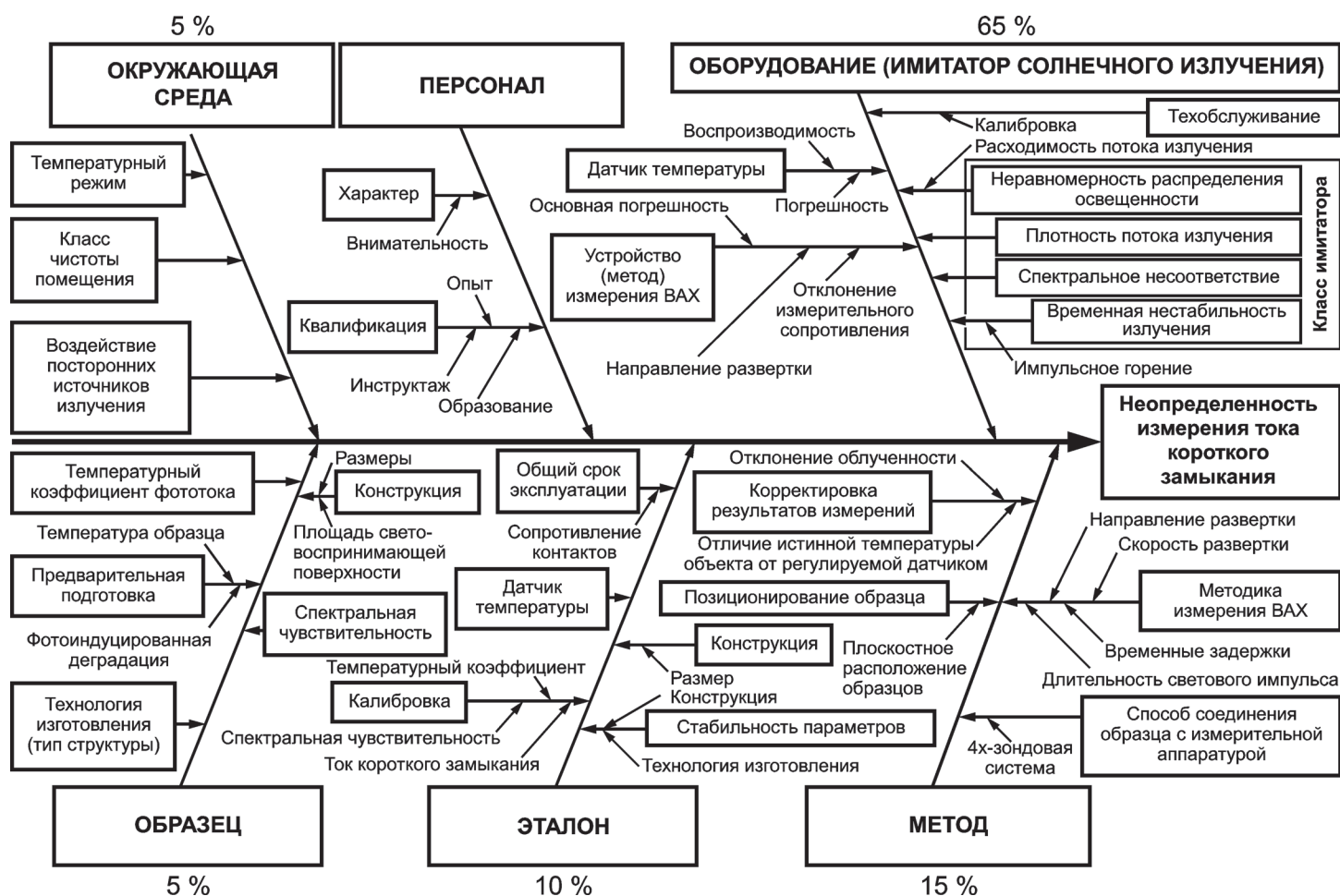
Анализ источников неопределенности результата измерения (НРИ) тока короткого замыкания ФЭМ. При определении составляющих НРИ $I_{k,3}$ ФЭМ с использованием ИСИ необходимо выявить источники их возникновения. Для наглядного представления факторов, формирующих неопределенность, и установления причинно-следственных связей между ними использована диаграмма Исикавы [14], при построении которой учитывались многочисленные факторы, связанные отношениями типа причина—результат. Диаграмма позволяет графически упорядочить факторы, влияющие на объект анализа. Ее построение начинают с того, что к центральной горизонтальной стрелке, изображающей объект анализа, подводят большие первичные стрелки — «большие кости», обозначающие главные причины (факторы или их группы), влияющие на объект анализа. Далее наносятся вторичные причины (стрелки второго уровня — «малые кости»), которые влияют на главные причины. Таким образом, главные причины оказываются следствием вторичных [15].

При анализе причинно-следственных связей было установлено шесть групп источников НРИ $I_{k,3}$: «оборудование», «метод», «эталон», «образец», «окружающая среда», «персонал» (см. рисунок). При помощи диаграммы Исикавы были определены составляющие суммарной

Таблица 1

Технические характеристики импульсного ИСИ PVS1114i

Параметр	Значение
Осветитель	
Размер освещаемой поверхности, мм	1400×1100
Напряжение на лампах, кВ: ксеноновой галогенной	2,0—2,5 0,14—0,240
Срок службы ламп (количество измерений до замены): ксеноновой галогенной	160 000 вспышек 125 ч (80 000)
Длительность плоской части светового импульса ксеноновой лампы, мс	10
Спектр излучения AM1,5G, нм	400—1100 (класс А в соответствии с [2])
Энергетическая освещенность, Вт/м ²	1000
Неравномерность распределения освещенности в рабочей области, %	± (3—4) (класс В в соответствии с [2])
Нестабильность освещенности во времени, %	± 1 (класс А в соответствии с [2])
Устройство измерения ВАХ (погрешность ± 0,2 % во всем диапазоне значений)	
Длительность записи ВАХ, мс	10
Диапазон напряжения, В	0—2; 0—50; 0—200
Диапазон силы тока, А	0—0,2; 0—2,0; 0—5,0



Причинно-следственная диаграмма Исикавы для анализа неопределенности результата измерения тока короткого замыкания для фотоэлектрических модулей

НРИ, главные из них — оптическая (спектральное рассогласование, нестабильность излучения во времени и т. д.), электрическая, температурная и составляющая связанная с эталонным модулем.

Расчет составляющих суммарной расширенной НРИ $I_{k,3}$. На первом этапе формируется бюджет неопределенностей и определяются стандартные неопределенности по типу В [16] для всех источников погрешности измерения на основании известных законов распределения случайных величин (табл. 2).

Наибольший вклад в НРИ $I_{k,3}$ вносит оптическая составляющая, учитывающая различные варианты спектрального рассогласования. Обычно спектр излучения ИСИ отличается от стандартизованного спектра AM1,5G, а спектральные чувствительности испытываемого эталонного ФЭМ не совпадают.

Расширенная неопределенность измерения спектральной чувствительности эталонного модуля содержит различные указанные выше составляющие и по данным [7] может составлять $\pm 2,12\%$. Неопределенность измерения спектральной чувствительности исследуемого модуля также принимаем равной $\pm 2,12\%$ (при $k = 2$). В зависимости от класса имитатора, используемого при измерениях, вклад от спектрального несоответствия излучения имитатора спектру AM1,5G в неопределенность определения фототока может

быть различной. Для ИСИ класса А допустимое отклонение энергетической освещенности от стандартизованной может составлять $\pm 25\%$ в выделенных диапазонах длин волн [2].

Для оценивания НРИ, связанной со спектральным рассогласованием, принимаем экспериментально измеренное отклонение энергетической освещенности для имитатора равным $\pm 19\%$. Вычисления стандартной неопределенности выполняем по формуле

$$u_{CP} = \pm \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}, \quad (1)$$

где u_1, u_2, u_3 — стандартные НРИ спектральной чувствительности эталонного модуля и испытываемого образца в режиме короткого замыкания, спектрального распределения излучения имитатора, соответственно.

В [6—8] было указано, что полученный результат u_{CP} необходимо разделить на 10, поскольку его расчетное значение, связанное со спектральным рассогласованием, вносит в 10 раз меньший вклад в суммарную НРИ $I_{k,3}$, чем рассчитанный результат по (1). Окончательный результат вычисления НРИ приведен в табл. 2.

К оптической составляющей НРИ $I_{k,3}$ также относят неравномерность распределения освещенности по поверхности модуля. В зависимости от значения данной характерис-

Таблица 2

Бюджет неопределенностей при расчете суммарной расширенной НРИ $I_{к.з}$ для ФЭМ

Источники неопределенности	Закон распределения	Коэффициент охвата k ($P = 95\%$)	Стандартная неопределенность, u_c , %
О п т и ч е с к а я с о с т а в л я ю щ а я			
Спектральное рассогласование: чувствительность эталонного модуля ($\pm 2,12\%$); чувствительность исследуемого модуля ($\pm 2,12\%$); несоответствие излучения имитатора ($\pm 19\%$)	Нормальный То же Равномерный	2 2 $\sqrt{3}$	11,07/10 = 1,107 [6—8] (1,06) (1,06) (10,97)
Неравномерность распределения освещенности в рабочей области ($\pm 3\%$ для используемой модели ИСИ)	То же	$\sqrt{3}$	1,732
Отклонение от плоскостности расположения эталонного и исследуемого модулей ($\pm 2^\circ$)	«—»	$\sqrt{3}$	0,020
Нестабильность освещенности во времени ($\pm 1\%$)	«—»	$\sqrt{3}$	0,577
Э л е к т р и ч е с к а я с о с т а в л я ю щ а я			
Погрешность устройства для измерения ВАХ ($\pm 0,20\%$)	Нормальный	2,586*	0,077
Отклонение шунтирующего сопротивления в измерительной схеме для датчика освещенности ($\pm 0,10\%$)	Равномерный	$\sqrt{3}$	0,058
Т е м п е р а т у р н а я с о с т а в л я ю щ а я			
Погрешность устройства для измерения температуры (термопары Т-типа) ($\pm 1^\circ\text{C}$)	Равномерный	$\sqrt{3}$	0,035
Изменение температуры в течение измерения ($\pm 1^\circ\text{C}$)	То же	$\sqrt{3}$	0,035
Неоднородность распределения температуры по поверхности модуля ($\pm 0,5^\circ\text{C}$)	«—»	$\sqrt{3}$	0,017
«Э т а л о н н а я» с о с т а в л я ю щ а я			
Отклонение фототока от номинального значения ($\pm 2,5\%$)	Нормальный	2	1,250
Нестабильность параметров эталонного модуля ($\pm 0,19\%$)	Равномерный	$\sqrt{3}$	0,110
Суммарная расширенная неопределенность ($k = 2$) $U(I_{к.з})$			4,96

* $P = 99\%$.

тики ИСИ разделяют на классы в соответствии с [2]. Для имитатора класса В неравномерность распределения излучения по поверхности модуля не должна превышать $\pm 5\%$. Для имитатора типа PVS1114i экспериментально измеренная неравномерность распределения освещенности в рабочей области составляет $\pm 3\%$, поэтому с учетом равномерного закона распределения $u_{ср} = 1,732\%$.

В соответствии с требованиями [9] отклонение от плоскостности расположения эталонного и исследуемого модулей не должно превышать $\pm 2^\circ$. Отклонение от плоскостности поразному влияет на распределение освещенности по их поверхности и, следовательно, $I_{к.з}$. Стандартная НРИ в этом случае определяется по формуле

$$u_{пл} = \pm (1 - \cos \psi),$$

где $\psi = 2 / \sqrt{3} = 1,15^\circ$ — стандартная неопределенность отклонения от плоскостности расположения эталонного и исследуемого модулей.

Нестабильность излучения во времени приводит к колебаниям энергетической освещенности в плоскости расположения исследуемого модуля, вызывая соответствующие этим колебаниям кратковременные изменения фототока модуля в период измерения. Для рассматриваемой модели ИСИ предельное отклонение освещенности во время измерения ВАХ составляет менее 1% . В этом случае стандартная НРИ определяется с учетом равномерного закона распределения случайной величины как

$$u_{ни} = \pm (U_{ни}(I) / \sqrt{3}),$$

где $U_{ни}$ — расширенная НРИ, связанная с нестабильностью излучения ИСИ во времени.

Погрешность устройства для измерения ВАХ определена в технической документации на импульсный ИСИ и для системы регистрации силы тока составляет $\pm 0,20\%$ диапазона измерения с учетом отклонения измерительного со-

противления от номинального значения, что соответствует требованиям [9]. Стандартная неопределенность, связанная с основной погрешностью устройства для измерения ВАХ, при нормальном законе распределения ($k = 2,586$ и $P = 99\%$) составляет $0,077\%$.

В каждой установке для обеспечения измерительного процесса используется вспомогательное оборудование, которое непосредственно не формирует результат измерения, но влияет на расширенную неопределенность. К числу таких вспомогательных устройств относится датчик освещенности, служащий для регистрации фототока, определяемого по падению напряжения на прецизионном сопротивлении трансимпедансного усилителя, предназначенного для поддержания короткозамкнутого состояния в процессе измерения. Погрешность измерения $I_{k,3}$, связанная с отклонением указанного сопротивления от номинального значения, принимаем $\pm 0,10\%$ в соответствии с [6], так как информация от производителя по данному значению отсутствует. Соответствующая стандартная неопределенность при равномерном законе распределения случайной величины составляет $0,058\%$.

В температурной составляющей НРИ $I_{k,3}$ следует учесть погрешность устройства для измерения температуры (термопары Т-типа), изменение температуры исследуемого модуля во время измерения и неоднородность распределения температуры по его поверхности.

Погрешность термопары Т-типа $\pm 1^\circ\text{C}$. Стандартная неопределенность, связанная с устройством для измерения температуры, вычисляется по формуле

$$u_T = \pm (\alpha u(T)), \quad (2)$$

где $\alpha = 0,06\%/^\circ\text{C}$ — температурный коэффициент $I_{k,3}$; $u(T)$ — стандартная неопределенность результата измерения температуры соответствующим устройством.

Неконтролируемые малые вариации температуры во время измерения вносят неопределенность в значение $I_{k,3}$, которая определяется точностью устройства регистрации температуры ($\pm 1^\circ\text{C}$). Расчет стандартной неопределенности в этом случае выполняется по (2). Если температура изменяется в более широких пределах, то корректировку результата измерения выполняют в соответствии с [17].

Неоднородность распределения температуры по поверхности модуля составляет в помещении $\pm 0,5^\circ\text{C}$ [6]. Для расчета стандартной неопределенности используют (2), в которой $u(T) = u(T_p)$ — стандартной неопределенности, обусловленной неоднородностью распределения температуры по поверхности модуля.

Значение НРИ фототока эталонного модуля следует принимать в соответствии с его паспортными данными (для модуля, используемого в Научно-техническом центре тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А. Ф. Иоффе, расширенная НРИ при $k = 2$ составляет $\pm 2,5\%$).

Нестабильность параметров эталонного модуля также является источником НРИ $I_{k,3}$. Согласно [6] в процессе долгосрочных многолетних наблюдений установлена нестабильность фотоэлектрических параметров эталонного модуля $\pm 0,19\%$. Стандартная неопределенность в этом случае с учетом равномерного закона распределения составляет $0,110\%$.

Для расчета суммарной расширенной неопределенности принимаем нормальный закон распределения случай-

ных величин с коэффициентом охвата $k = 2$ при доверительной вероятности $P = 95\%$. В соответствии с [16] расчет выполняем в предположении, что все указанные выше в табл. 2 составляющие неопределенности являются некоррелированными величинами. Таким образом, расчетное значение суммарной расширенной НРИ $I_{k,3}$ составляет $\pm 4,96\%$.

Если представить доверительный интервал для фототока в абсолютной форме ($\Delta = \pm 0,07\text{ A}$) то, очевидно, что достигнутой точности результата измерения $I_{k,3}$ недостаточно для осуществления классификации модулей по типам, так как значения данного параметра для модулей соседних типов различаются на $0,01\text{—}0,03$. Это означает, что данный фотоэлектрический параметр нельзя считать характерным для классификации модулей по типам.

Из изложенного следует, что в дальнейшем необходимо проанализировать расширенную НРИ для других нормируемых фотоэлектрических параметров модулей ($U_{x,x}$, $I_{\text{опт}}$, $U_{\text{опт}}$) и обобщить эти данные для получения генеральной неопределенности выходной электрической мощности P_{max} , по которой классифицируется выпускаемая продукция и в последующем устанавливается ее рыночная стоимость.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 8075 от 20 июля 2012 года) и РФФИ (гранты 12-08-00354, 13-08-90711).

Л и т е р а т у р а

1. IEC 60904-4:2009. Photovoltaic devices. Pt. 4. Procedures for establishing the traceability of the calibration of photovoltaic reference devices.
2. IEC 60904-9:2007. Photovoltaic devices. Pt. 9. Solar simulator performance requirements.
3. ГОСТ 8.195—89. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещенности в диапазоне длин волн от $0,25$ до $25,00\text{ мкм}$; силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от $0,2$ до $25,0\text{ мкм}$.
4. Hohl-Ebinger J., Warta W. Uncertainty of the spectral mismatch correction factor in STC measurements on photovoltaic devices // Prog. Photovolt: Res. Appl. 2011. V. 19. P. 573—579.
5. Adelhelm R., Berger D. Requirements for a large area solar simulator regarding the measurement of MJ solar cells // Photovoltaic Energy Conversion: Proc. 3rd World Conf. Osaka (Japan), 2003. V. 1. P. 821—824.
6. Mullejjans H., Zaaiman W., Galleano R. Analysis and mitigation of measurement uncertainties in the traceability chain for the calibration of photovoltaic devices // Meas. Sci. Technol. 2009. V. 20. P. 075101—11.
7. Mullejjans H. e. a. Comparison of traceable calibration methods for primary photovoltaic reference cells // Prog. Photovolt: Res. Appl. 2005. V. 13. P. 661—671.
8. Emery K. Uncertainty analysis of certified photovoltaic measurements at the National Renewable Energy Laboratory // Technic. Report. 2009.
9. IEC 60904-1:2006. Photovoltaic devices. Pt. 1. Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics.
10. IEC 60904-2:2007. Photovoltaic devices. Pt. 2. Requirements for reference solar devices.

11. IEC 60904-3:2008. Photovoltaic devices. Pt. 3. Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data.

12. IEC 60891:2009. Photovoltaic devices — Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices.

13. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement: Pt. 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement.

14. Kaoru Ishikawa. Guide to Quality Control (Industrial engineering & technology). Tokyo: Asian Productivity Org. 1976.

15. Пономарев С. В и др. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: Учеб. пособие. М.: РИА «Стандарты и качество», 2005.

16. Руководство по выражению неопределенности измерения / Пер. с англ. СПб.: ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 1999.

17. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. N.Y.: John Wiley & Sons, 2003.

Дата принятия 12.08.2013 г.

620.1.08

Оценка соответствия требованию на допуск при неопределенности измерений и неизвестных глобальных рисках

А. В. КОШУЛЯН, В. П. МАЛАЙЧУК

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина,
e-mail: a.koshulyan@gmail.com

Рассмотрены несколько стратегий рационального выбора границ приемки для случая неопределенности измерений и при неизвестных глобальных рисках потребителя и производителя. Приведены приближенные формулы для вычисления границ приемки.

Ключевые слова: допуск, качество, соответствие, приемка, риск.

The several strategies of rational selection of acceptance limits for the case of measurement uncertainty and the unknown consumer and producer global risks are considered. The approximate equations for calculation of acceptance limits are presented.

Key words: tolerance, quality, conformance, acceptance, risk.

Рассмотрим задачу оценки соответствия требованию на допуск, который задан нижней T_L и верхней T_U границами и определяет допускаемый интервал значений для некоторого параметра изделий (объектов) серийного производства. Ограничимся случаем, когда решения о соответствии требованию опираются на измерения как на основной источник информации. Поскольку решения о состоянии объектов принимаются по результатам измерений их параметров, и для этих измерений характерна неопределенность, то решения могут быть ошибочными, если, во-первых, объект, принятый как соответствующий, на самом деле не отвечает предъявляемому требованию и, во-вторых, объект, принятый как несоответствующий требованию, в действительности ему со-

ответствует. Вероятности ошибочных решений называют глобальными рисками потребителя и производителя.

При оценке соответствия одним из способов учета неопределенности измерений и вызванных ею рисков является установка, так называемых, зон безопасности w_L и w_U (рис. 1). Они определяют интервал приемки A , который может быть как уже (рис. 1, а), так и шире (рис. 1, б) интервала допуска T , что зависит от решаемой задачи. Если измеренное значение попадает в интервал приемки, то принимается решение о соответствии объекта заданному требованию, иначе — о несоответствии.

Существует два основных подхода к установке зон безопасности. Первый нашел отражение в стандартах [1, 2] и предполагает размещение внутри интервала допуска зон безопасности, ширина которых фиксирована и равна расширенной неопределенности U . Второй подход рассмотрен в [3, 4] и подразумевает установку зон безопасности с учетом возможных рисков производителя и потребителя. Этот подход обладает большей гибкостью по сравнению с первым, поскольку позволяет управлять ошибочными решениями путем выбора необходимой ширины зоны безопасности.

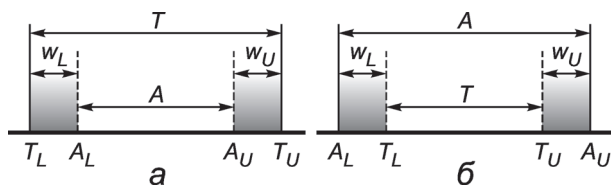


Рис. 1. Интервалы допуска T и приемки A :

а — $A < T$; б — $A > T$