

а – с равномерной шкалой квантования,  
б – с неравномерной шкалой квантования

Рисунок 1 – Амплитудные характеристики квантующих устройств

При квантовании в исходный сигнал, например, сигнал, определяющий яркость изображения в точке отсчета  $L_c$ , вносится ошибка, называемая шумом квантования. Величина этой ошибки вычисляется по формуле

$$L_{шкв} = L_{скв} - L_c \quad (4)$$

Если квантуемый сигнал распределен равномерно в интервале значений от 0 до  $L_{смакс}$ , оптимальной, т.е. обеспечивающей минимальный уровень шума квантования, будет равномерная шкала. При этом шаг квантования  $\delta_{кв}$ , представляющий собой разность двух смежных уровней квантования  $L_{квк}$  и  $L_{квк-1}$  с номерами  $k$  и  $k-1$ , будет постоянным  $\delta_{кв} = const$  и вычисляемым по формуле

$$\delta_{кв} = \frac{L_{смакс}}{m-1}, \quad (5)$$

При оцифровке изображений используется равномерная шкала квантования, несмотря на то, что в данном случае она не является оптимальной, поскольку закон распределения яркости в изображении не является равномерным. Обусловлено это тем, что при равномерной шкале после кодирования мы получаем код, который представляет номер уровня квантова-

УДК: 535.3

## АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Савкова Е.Н.<sup>1</sup>, Длугунович В.А.<sup>2</sup>, Никоненко С.В.<sup>2</sup>, Демидович А.Г.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В настоящее время оценивание неопределенности измерения является важным аспектом пригодности значения измеряемой величины для поставленной задачи. Так как измерения присутствуют практически во всех видах человеческой деятельности, которые включают промышленную, научную деятельность, здравоохранение, безопасность и др., появляется необходимость в приобретении опыта по оценке неопределенности.

В основе подхода к оцениванию и выражению неопределенности измерений лежат основополагающие понятия и принципы теории вероятностей [1]. Если все величины, от которых зави-

ния в виде двоичного числа, удобного для дальнейшего использования.

Плотность вероятности шума квантования в рассматриваемом случае описывается по формуле

$$W(L_{ш}) = \begin{cases} 1/\delta_{кв} & \text{при } -\delta_{кв}/2 \leq L_{ш} \leq \delta_{кв}/2 \\ 0 & \text{при невыполнении этого условия} \end{cases} \quad (6)$$

Ширина спектра шума квантования, как показывают расчеты и экспериментальные исследования, определяется числом уровней квантования и спектром квантуемого сигнала, и во много раз превышает последний.

СТБ ЕН ИСО 10545 устанавливает определение термина «цветовое различие», характеризующее цвет испытуемого образца по сравнению с образцом-эталоном.

Таким образом, стандартизация понятий, связанных с разрешающей способностью цветопередающих устройств представляет собой развивающееся направление, что обусловлено разнообразием данных устройств и технологий.

1. РМГ 29-99 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений
2. ISO 12233:2000 Photography -- Electronic still-picture cameras - Resolution measurements
3. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург. 2011.-608 с.
4. СТБ ЕН ИСО 10545-16-2007 Плитки и плиты керамические. Часть 16. Определение незначительных цветовых отклонений

сит результат измерения, изменяются, их неопределенность можно оценить статистическими методами. Однако так как на практике это редко представляется возможным из-за ограниченного времени и ресурсов, неопределенность результата измерения обычно оценивают, используя математическую модель измерения и закон распространения неопределенности.

Основные этапы оценивания неопределенности включают в себя формулирование и вычисление [1]. Этап формулирования при оценивании неопределенности включает в себя разработку модели измерений, учет соответствующих поправок и других воздействий, если это

необходимо. Этап вычислений состоит из трансформирования распределений вероятностей для входных величин с помощью модели измерений, с целью получения распределения вероятностей для выходной величины, и подведения итога с использованием этого распределения.

В данной работе рассматривается процесс оценивания неопределенности измерений комплекса для измерений спектральной плотности энергетической освещенности (далее СПЭО) «Лямбда УФ» (далее комплекс). Комплекс предназначен для испытаний источников ультрафиолетового излучения, производимых и используемых в Республике Беларусь. Согласно ТКП 8.004 средства измерений, предназначенные для применения в сфере законодательной метрологии и прошедшие метрологическую аттестацию, подлежат калибровке в соответствии с ТКП 8.014.

3) Диаграмма «причина-следствие». Для выявления источников неопределенности, их взаимосвязей и влияния на неопределенность конечного результата, используем диаграмму «причина – следствие», представленную на рисунке 1.

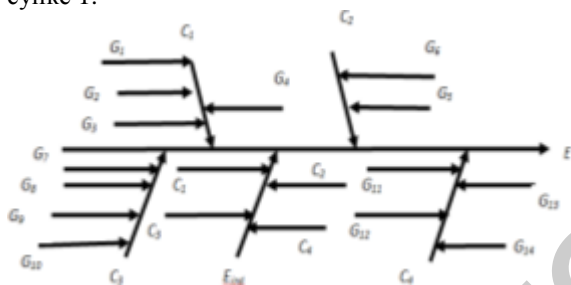


Рисунок 1 – Диаграмма «причина-следствие»

$G_1$  – техническое несовершенство эталонной лампы;  $G_2$  – техническое несовершенство приемника;  $G_3$  – техническое несовершенство концевых мер длины;  $G_4$  – техническое несовершенство угольника;  $G_5$  – манипулирование объектом измерения;  $G_6$  – манипулирование техническими средствами;  $G_7$  – несовершенство подаваемого тока;  $G_8$  – идеализация объекта измерений;  $G_9$  – несовершенство компьютерной обработки;  $G_{10}$  – несовершенство подаваемого напряжения;  $G_{11}$  – влияние температуры;  $G_{12}$  – влияние влажности;  $G_{13}$  – влияние вибраций;  $G_{14}$  – влияние давления.

4) Окончательная модель измерения. В результате анализа составляющих изменчивости измерений СПЭО получена окончательная модель измерений:

$$E = E_{ind} + G_1 + G_2 + G_3 + G_4 \quad (2)$$

5) Оценивание значений относительных стандартных неопределенностей входных величин. Точечная оценка значения СПЭО находится как среднее арифметическое результатов многократных наблюдений:

$$E_{ind} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (3)$$

где  $E_i$  –  $i$ -е измерение оцениваемой величины.

Относительная стандартная неопределенность результатов наблюдений рассчитывается как относительное стандартное отклонение среднего значения оцениваемой величины по формуле

$$\delta(E_{ind}) = \frac{u(E_{ind})}{E_{ind}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{E} - E_i)^2}{n \cdot (n-1) \cdot \bar{E}^2}} \quad (4)$$

Результаты оценивания точности результатов измерений СПЭО для номинальной длины волны 400 нм представлены в виде бюджета неопределенности в таблице 1. Анализ бюджета неопределенности показал, что наибольший вклад в суммарную неопределенность измерений вносит составляющая, обусловленная техническим несовершенством приемника излучения.

Основным разделом разработанной методики калибровки является «Обработка результатов измерений», включающим методики оценивания неопределенности результатов измерений. В процессе оценивания неопределенности результатов измерений определяются:

- модель измерений;
- оценки входных величин, включенных в модель измерения и связанные с ними стандартные неопределенности;
- измеренное значение величины (оценка измеряемой величины);
- суммарная стандартная неопределенность;
- расширенная неопределенность с указанием значения вероятности и коэффициента охвата.

Рассмотрим поэтапно процесс оценивания относительной расширенной неопределенности на примере измерений СПЭО дейтериевой лампы в спектральном диапазоне от 200 до 400 нм с помощью комплекса.

1) Измерительная задача. СПЭО дейтериевой лампы измеряют многократно ( $n=10$ ) на комплексе, методом сравнения с мерой – эталонной дейтериевой лампой с относительной стандартной неопределенностью измерений 1 %. Схема измерений представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема измерений СПЭО дейтериевой лампы

2) Общая модель измерений

$$E = E_{ind} + C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (1)$$

где  $E_{ind}$  – точечная оценка СПЭО;  
 $C_1$  – поправка, обусловленная погрешностью средств измерений;  
 $C_2$  – поправка, обусловленная индивидуальными особенностями оператора;  
 $C_3$  – поправка, обусловленная несовершенством метода измерения;  
 $C_4$  – поправка, обусловленная изменением условий измерений.

Относительная суммарная стандартная неопределенность измерений СПЭО вычисляется по формуле

$$\delta_c(y) = \sqrt{\left[\frac{u(E_{ind})}{E_{ind}}\right]^2 + \left[\frac{u(G_1)}{G_1}\right]^2 + \left[\frac{u(G_2)}{G_2}\right]^2 + \left[\frac{u(G_3)}{G_3}\right]^2 + \left[\frac{u(G_4)}{G_4}\right]^2} \quad (5)$$

Суммарная относительная стандартная неопределенность для номинальной длины волны 400 нм составила  $\delta_c = 2,2 \%$ .

Относительную расширенную неопределенность  $U$  получим путем умножения суммарной относительной стандартной неопределенности  $\delta_c(y)$  на коэффициент охвата  $k = 2$ ;  $U = 4,4 \%$ .

Таблица 1 – Бюджет неопределенности результатов измерений СПЭО

Величина $X_i$	Единица измерений	Оценка, $x_i$	Тип оценивания неопределенности	Распределение вероятностей	Относительная стандартная неопределенность, %	Вклад в суммарную неопределенность, %
$E_{ind}$	кВт/м <sup>3</sup>	279,9	A	нормальное	0,08	0,06
$G_1$	Вт/м <sup>3</sup>	0	B	равномерное	1	16,9
$G$	нм	0	B	равномерное	2	71

УДК 53.088.3

### НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАЛИБРОВКИ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА В РЕЖИМЕ СТАТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Мохаммед Салем А.А.<sup>1</sup>, Мельникова Г.Б.<sup>2</sup>, Маханёк А.А.<sup>2</sup>, Чижик С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Измерениям модуля упругости в статическом режиме методом атомно-силовой микроскопии предшествует калибровка прибора. Ее цель – установление масштаба максимального отклонения кантилевера, т.е. получение калибровочного коэффициента для пересчета отклонения консоли, измеряемого в условных единицах, в единицы длины, выраженные в нм. Методика калибровки состоит в индентировании образца, обладающего достаточно большим модулем упругости и определении переводного коэффициента  $K$ , представляющего тангенс угла наклона кривой индентирования к оси перемещения образца. При этом пренебрегают деформацией

2				ное		,8
G	мм	0	B	равномерное	0,0022	9,6
G	мм	0	B	равномерное	0,00003	1,5

Результаты измерений СПЭО дейтериевой лампы для диапазона длин волн от 200 до 400 нм представлены в графическом виде на рисунке 3.

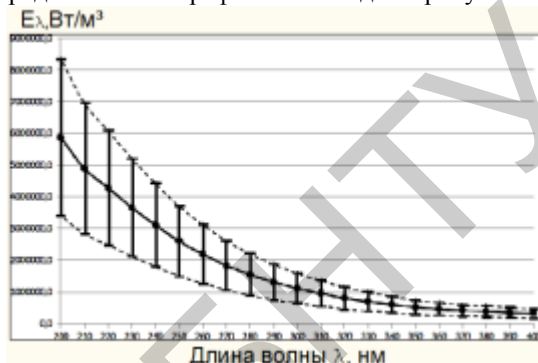


Рисунок 3 – Графическое представление результатов измерений

1. Руководство по выражению неопределенности измерения. – СПб.: Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева». 1999. -119 с.
2. ТКП 8.004-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ.
3. ТКП 8.014-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ.

зонда и образца, т.е. предполагают, что фактическое отклонение консоли тождественно перемещению образца. Калибровка осуществляется обычно по пластинкам кремния. Расчетное соотношение для определения калибровочного коэффициента имеет вид

$$K = (Z_{defl,n}^* - Z_{defl,m}^*) / (Z_{pos,n} - Z_{pos,m}), \quad (1)$$

где  $Z_{defl}^*$ ,  $Z_{pos}$  – измеренное в условных единицах отклонение консоли и фактическое перемещение рабочей площадки (образца). В последующем калибровочный коэффициент используется для вычисления фактического отклонения кантилевера  $Z_{defl} = Z_{defl}^* / K$ .