

УДК 535.3

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СВОТОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА БАЗЕ ЦСОТ НАН БЕЛАРУСИ**  
**Савкова Е.Н.<sup>1</sup>, Цвирко В.И.<sup>2</sup>, Позняк Д.Ю.<sup>1</sup>, Тарасенко В.И.<sup>1</sup>, Шевчук В.А.<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси»  
 Минск, Республика Беларусь

В ходе изучения и анализа ГОСТ Р 56057-2014 «Системы светооптические светодиодные для железнодорожной светофорной сигнализации. Общие технические требования и методы испытаний», на базе Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси была разработана методика оценивание неопределенности измерения характеристик отражения системы светооптической светодиодной (далее – ССС), а также «рабочий» файл формата «.xlsx», который позволяет рассчитывать неопределенность измерений практически в автоматическом режиме. Фрагменты данного файла будут показаны на рисунках 3-10.

Схема измерений представлена на рисунке 1. На рисунке ОУ – осветительное устройство, которое представляет из себя прожекторный источник света по спектру излучения близкий к стандартному источнику света типа В по ГОСТ 7721, воспроизводящий условия прямого солнечного освещения и создающий практически параллельный пучок лучей с углом рассеяния не более  $\pm 0,75^\circ$ ; ФПУ – фотоприемное устройство;  $\beta$  – угол падения луча ОУ на ССС (угол засветки ССС), который, согласно ГОСТ Р 56057, может составлять  $(10,0 \pm 0,5)^\circ$  или  $(3,0 \pm 0,15)^\circ$ , в зависимости от варианта засветки;  $l$  – расстояние от ССС до ФПУ, которое должно быть не менее 10 м.

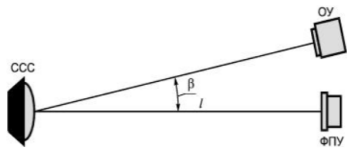


Рисунок 1 – Схема измерений (вид сбоку)

Для наглядности можно изобразить источники погрешности в виде диаграммы причинно-следственной связи на рисунке 2. На рисунке  $E_{\text{факт.инд}}$  – точечная оценка фактической освещенности, создаваемой на ССС;  $W_1$  – поправка на погрешность используемых средств измерений;  $W_2$  – поправка на погрешность, обусловленную индивидуальными особенностями оператора при проведении измерений;  $W_3$  – поправка на погрешность, обусловленную несовершенством метода измерений;  $I_{(1)\text{инд}}$  – точечная оценка силы света отраженного сигнала при фактической освещенности на ССС;  $I_{(2)\text{инд}}$  – точечная оценка силы света отраженного сигнала при фактической освещенности на образце, замещающим ССС (измерение фонового

отражения от объектов, расположенных вокруг ССС);  $C_1$  – поправка на погрешность используемых средств измерений;  $C_2$  – поправка на погрешность, обусловленную индивидуальными особенностями оператора;  $C_3$  – поправка на погрешность, обусловленную несовершенством метода измерений.

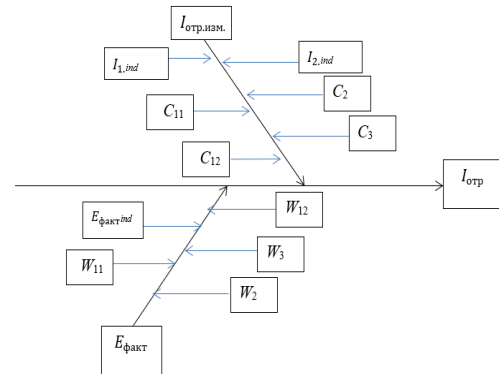


Рисунок 2 – Диаграмма причинно-следственной связи величин

Таким образом, модель математических ожиданий входной величины  $E_{\text{факт}}$  примет вид формулы 1, а неопределенность данной входной величины в виде формулы 2:

$$E_{\text{факт}} = E_{\text{факт.инд}} + W_{11} + W_{12} + W_2 + W_3 \quad (1)$$

$$u(E_{\text{факт}}) = \sqrt{u^2(E_{\text{факт.инд}}) + u^2(W_{11}) + u^2(W_{12}) + u^2(W_2) + u^2(W_3)} \quad (2)$$

Таким образом, модель математических ожиданий входной величины  $I_{\text{отр. изм.}}$  примет вид формулы 3, а неопределенность данной входной величины в виде формулы 4:

$$I_{\text{отр.изм.}} = I_{1\text{инд}} - I_{2\text{инд}} + 2C_{11} + 2C_{12} + C_2 + C_3 \quad (3)$$

$$u(I_{\text{отр.изм.}}) = \sqrt{u^2(I_{1\text{инд}}) + u^2(I_{2\text{инд}}) + 4u^2(C_{11}) + 4u^2(C_{12}) + u^2(C_2) + u^2(C_3)} \quad (4)$$

Таким образом, модель рассеяния (суммарную неопределенность) можно представить в следующем виде:

$$u(I_{\text{отр}}) = I_{\text{отр}} \sqrt{\left(\frac{u(I_{\text{отр.изм.}})}{I_{\text{отр.изм.}}}\right)^2 + \left(\frac{u(E_{\text{факт}})}{E_{\text{факт}}}\right)^2} \quad (5)$$

На следующих фрагментах изображены поля для ввода данных в «рабочем» файле.

	Сила света						кд
	fon 0;0	0;0	fon 0;-1,5	0;-1,5	fon 0;1,5	0;1,5	
HV-1	21,59	21,821	25,496	25,736	20,188	20,429	
HV-2	21,6	21,821	25,526	25,746	20,178	20,429	
HV-3	21,6	21,831	25,486	25,716	20,188	20,429	
HV-4	21,59	21,831	25,516	25,716	20,178	20,429	
HV-5	21,59	21,821	25,496	25,696	20,168	20,429	
HV-6	21,6	21,821	25,526	25,696	20,178	20,419	
HV-7	21,6	21,831	25,506	25,705	20,178	20,439	
HV-8	21,59	21,831	25,536	25,726	20,198	20,429	
HV-9	21,6	21,831	25,516	25,736	20,188	20,429	
HV-10	21,6	21,821	25,506	25,716	20,188	20,429	

Рисунок 3 – Поле для ввода значений параметра силы света

m=	Освещенность					
	1	555	554	556	555	554
	2	575	576	574	574	576
	3	578	577	578	579	580
	4	560	561	559	559	558
	5	563	562	562	564	564

Рисунок 4 – Поле для ввода значений параметра освещенности

На следующих изображениях представлены промежуточные расчеты.

срзнач	21,596	21,826	25,511	25,719	20,183	20,429
результат	0,23		0,2079		0,246	
	x-хср					
	-0,006	-0,005	-0,015	0,017	0,005	0,000
	0,004	-0,005	0,015	0,027	-0,005	0,000
	0,004	0,005	-0,025	-0,003	0,005	0,000
	-0,006	0,005	0,005	-0,003	-0,005	0,000
	-0,006	-0,005	-0,015	-0,023	-0,015	0,000
	0,004	-0,005	0,015	-0,023	-0,005	-0,010
	0,004	0,005	-0,005	-0,014	-0,005	0,010
	-0,006	0,005	0,025	0,007	0,015	0,000
	0,004	0,005	-0,005	0,017	0,005	0,000
	0,004	-0,005	-0,005	-0,003	0,005	0,000
	(x-хср) <sup>2</sup>					
	3,6E-05	2,5E-05	0,00023	0,00029	2,5E-05	0
	1,6E-05	2,5E-05	0,00023	0,00073	2,5E-05	0
	1,6E-05	2,5E-05	0,00062	8,4E-06	2,5E-05	0
	3,6E-05	2,5E-05	2,5E-05	8,4E-06	2,5E-05	0
	3,6E-05	2,5E-05	0,00023	0,00052	0,00023	0
	1,6E-05	2,5E-05	0,00023	0,00052	2,5E-05	1E-04
	1,6E-05	2,5E-05	2,5E-05	0,00019	2,5E-05	0,0001
	3,6E-05	2,5E-05	0,00063	5E-05	0,00023	0
	1,6E-05	2,5E-05	2,5E-05	0,00029	2,5E-05	0
	1,6E-05	2,5E-05	2,5E-05	8,4E-06	2,5E-05	0
сумма	0,00024	0,00025	0,00225	0,00264	0,00065	0,0002
u	0,00163	0,00167	0,005	0,00541	0,00269	0,00149

Рисунок 5 – Промежуточный расчет для параметра силы света

срзнач	лк	лк	Неравномерность		лк
554,8	0,37417	1,02956	23,6		лк
575	0,44721		4,17		%
578,4	0,5099				
559,4	0,5099				
563	0,44721				

Рисунок 6 – Промежуточный расчет для параметра освещенности

Определение дискретности отчета силы света изображено на рисунке 7.

На современном этапе в оптических исследованиях с точки зрения метрологии можно выделить следующие тенденции: 1) необходимость количественной оценки новых оптических свойств объектов, что требует разработки условных шкал и источников их метрологической прослеживаемости; 2) эффекты дискретизации и квантования, присутствующие в дискретных измерительных системах, приводят к необратимым потерям измерительной информации, что учитывается при составлении бюджета неопределенности, однако необходимы доработка и уточнение способов оценки их вкладов; 3) влияние субъективного

фактора в оптических качественных методах анализа на принятие решений.

Сортировка данных по возрастанию величины					
21,59	21,821	25,486	25,696	20,168	20,419
21,59	21,821	25,496	25,696	20,178	20,429
21,59	21,821	25,496	25,705	20,178	20,429
21,59	21,821	25,506	25,716	20,178	20,429
21,6	21,821	25,506	25,716	20,178	20,429
21,6	21,831	25,516	25,716	20,188	20,429
21,6	21,831	25,516	25,726	20,188	20,429
21,6	21,831	25,526	25,736	20,188	20,429
21,6	21,831	25,526	25,736	20,188	20,429
21,6	21,831	25,536	25,746	20,198	20,439
21,6	21,831	25,536	25,746	20,198	20,439

Вычитание наименьшего значения в столбце

0	0	0	0	0	0
0	0	0,01	0	0,01	0,01
0	0	0,01	0,009	0,01	0,01
0	0	0,02	0,02	0,01	0,01
0,01	0	0,02	0,02	0,01	0,01
0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01
0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01
0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01
0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01
0,01	0,01	0,05	0,05	0,03	0,02

Дискретность отчета силы света - 0,01 кд

Рисунок 7 – Определение дискретности

На рисунке 8 изображено оценивание вкладов в неопределенность измерений гониофотометром

Вклад	Δ, %	Δ, абс.	Неопределенность			Уровень значимости (по ГОСТ Р 28746-2013, табл. 1)	Уровень значимости (по ГОСТ Р 28746-2013, табл. 2)
			Полное	Полное (L)	Полное (L)		
Гониофотометр	Δ, %	Δ, абс.	0,48621212	0,48621212	0,48621212	0,05	0,05
Неопределенность измерения силы света отсюда: проекция калибровки, связанная с систематической погрешностью (сила света)	0,8	0,48621212	0,48621212	0,48621212	0,48621212	0,05	0,05
Неопределенность измерения силы света отсюда: проекция калибровки, связанная с функциональной погрешностью (сила света)	0,5	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05
Неопределенность силы света отсюда: проекция калибровки, связанная с случайной погрешностью (диаметры и форма)	0,6	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05
Неопределенность силы света отсюда: проекция калибровки, связанная с случайной погрешностью (диаметры и форма)	0,6	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05
Разрешающая способность силы света (с образцом)	0,6	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05
Разрешающая способность силы света (с фотометром)	0,6	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05
Случайная систематическая погрешность (форма)	0,6	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05
Случайная систематическая погрешность (форма)	0,6	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05
Оператор	0	0	0	0	0	0	0
Суммарная неопределенность измерения силы света	0,8	0,487238	0,487238	0,487238	0,487238	0,05	0,05

Рисунок 8 – Вклады гониофотометра

На рисунке 9 изображено оценивание вкладов в неопределенность измерений люксметром.

Вклад	Δ, %	Δ, абс.	Неопределенность			Уровень значимости (по ГОСТ Р 28746-2013, табл. 1)	Уровень значимости (по ГОСТ Р 28746-2013, табл. 2)
			Полное	Полное (L)	Полное (L)		
Люксметр ТКА-Люкс	Δ, %	Δ, абс.	19,61097206	19,61097206	19,61097206	0,05	0,05
Погрешность измерения силы света отсюда: проекция калибровки, связанная с систематической погрешностью (СИ)	6	11,9472	19,61097206	19,61097206	19,61097206	0,05	0,05
Погрешность, обусловленная референсной погрешностью (СИ)	6	11,9472	19,61097206	19,61097206	19,61097206	0,05	0,05
Случайная систематическая погрешность (погрешность)	6	11,9472	19,61097206	19,61097206	19,61097206	0,05	0,05
Систематическая погрешность (погрешность)	6	11,9472	19,61097206	19,61097206	19,61097206	0,05	0,05
Суммарная неопределенность измерения силы света	6	11,9472	19,61097206	19,61097206	19,61097206	0,05	0,05
u	0,23	0,2079	0,246	0,246	0,246	0,05	0,05
E фот	0,23	0,2079	0,246	0,246	0,246	0,05	0,05
Итоговая неопределенность измерения силы света (с учетом функциональной погрешности)	1,20979105	1,88935611	1,38748832	1,38748832	1,38748832	0,05	0,05

Рисунок 9 – Вклады люксметра

На рисунке 10 можно увидеть конечную модель.

Вид	Вариация модели		u	E	u <sub>rel</sub>	E <sub>rel</sub>	Δ, %
	u	E					
Оцененное значение силы света (u)	0,23	0,2079	0,246	0,246	0,246	0,246	0,23
Оцененное значение силы света (E)	0,23	0,2079	0,246	0,246	0,246	0,246	0,23
Оцененное значение силы света (u <sub>rel</sub> )	0,23	0,2079	0,246	0,246	0,246	0,246	0,23
Оцененное значение силы света (E <sub>rel</sub> )	0,23	0,2079	0,246	0,246	0,246	0,246	0,23
Итоговая неопределенность измерения силы света (с учетом функциональной погрешности)	1,20979105	1,88935611	1,38748832	1,38748832	1,38748832	1,38748832	0,05

Рисунок 10 – Итоговая модель неопределенности результата измерения