

Влияние приборных факторов на оценивание неопределенности измерений технического светового выхода сцинтилляторов

Б.В. Гринев, Н.Р. Гурджян, О.В. Зеленская, В.Р. Любинский,
Л.И. Мицай, Н.И. Молчанова, В.А. Тарасов

Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины (ИСМА НАНУ), пр. Науки, 60, 61001, Харьков, Украина
grinyov@isc.kharkov.com, nana.mneyan@gmail.com

Аннотация

Настоящая работа дополняет цикл предыдущих работ, посвященных оцениванию неопределенности результатов измерений методом сравнения с рабочим образцом технического светового выхода, в фотонах/МэВ (фот/МэВ), цилиндрических сцинтилляторов на основе неорганических и органических монокристаллов CsI(Tl), NaI(Tl), CWO, BGO, п-терфенила, антрацена, стильбена и длинномерных стрипов на основе полистирола (ПС-стрипов). Исследуемые сцинтилляторы были изготовлены в Институте сцинтилляционных материалов Национальной академии наук Украины (ИСМА НАНУ). Технический световой выход данных сцинтилляторов находился в диапазоне от 38 фот/МэВ для стрипов до 55000 фот/МэВ для CsI(Tl).

Проведено сравнение оценок приборной неопределенности по типу В результатов измерений технического светового выхода сцинтилляторов при использовании импульсного и токового режимов измерений. Определены факторы, влияющие на величину приборной неопределенности измерений, проведено оценивание вкладов этих факторов в приборную неопределенность для указанных режимов измерений. Установлено, что величина приборной неопределенности измерений связана с ограниченной чувствительностью шкалы анализирующего прибора и зависит от количества делений используемой шкалы и местоположения отсчета измеряемого параметра на этой шкале. Рассчитанные значения оценок вкладов в неопределенность результатов измерений технического светового выхода сцинтилляторов находились в интервале от 0,05 до 0,18 % для CsI(Tl) и от 0,95 до 2,45 % для стрипа № 1.

По результатам проведенных в настоящей работе оценок приборной неопределенности и с учетом результатов предыдущих работ, были составлены бюджеты неопределенности измерений технического светового выхода сцинтилляторов на основе CsI(Tl) (импульсный режим) и стрипа № 3 (токовый режим).

Ключевые слова: сцинтиллятор, технический световой выход, гамма-излучение, приборная неопределенность, коэффициент чувствительности, бюджет неопределенности.

Получено: 14.11.2017

Отредактировано: 13.12.2017

Одобрено к печати: 19.12.2017

Введение

Введение в Украине европейских стандартов [1] и гармонизация международного стандарта IEC 62372 [2], действующего в Украине как ДСТУ IEC 62372:2009 [3], актуализировали задачу оценивания неопределенности результатов измерений технического светового выхода сцинтилляторов, разрабатываемых в Институте сцинтилляционных материалов Национальной академии наук Украины.

Данная работа является дополнением к циклу работ [4–8] по оцениванию неопределенности измерений технического светового выхода различных сцинтилляторов относительным методом, в фотонах/МэВ (фот/МэВ).

При использовании относительного метода измерения, основанного на сравнении характеристик исследуемых образцов сцинтилляторов с известными характеристиками рабочих образцов, основной вклад в неопределенность измерений вносит, как правило, значение неопределенности технического

светового выхода вышестоящего рабочего образца. Однако при определенных условиях вклад приборной неопределенности может быть одного порядка с вкладом неопределенности рабочего образца, что существенно увеличивает суммарную неопределенность измерения. Такими условиями могут быть ограниченная чувствительность шкалы анализирующего прибора и неравномерная относительная неопределенность отсчета, меняющаяся вдоль шкалы [9] и зависящая от отсчета. Наличие нескольких влияющих факторов и, соответственно, отсчетов вносит различные вклады в приборную неопределенность по типу В. В предыдущих работах влияние этих вкладов оценивалось и представлялось суммарной величиной.

Целью работы являлось оценивание вкладов неопределенности отдельных факторов в приборную неопределенность по типу В измерения технического светового выхода сцинтилляторов в двух режимах — импульсном и токовом.

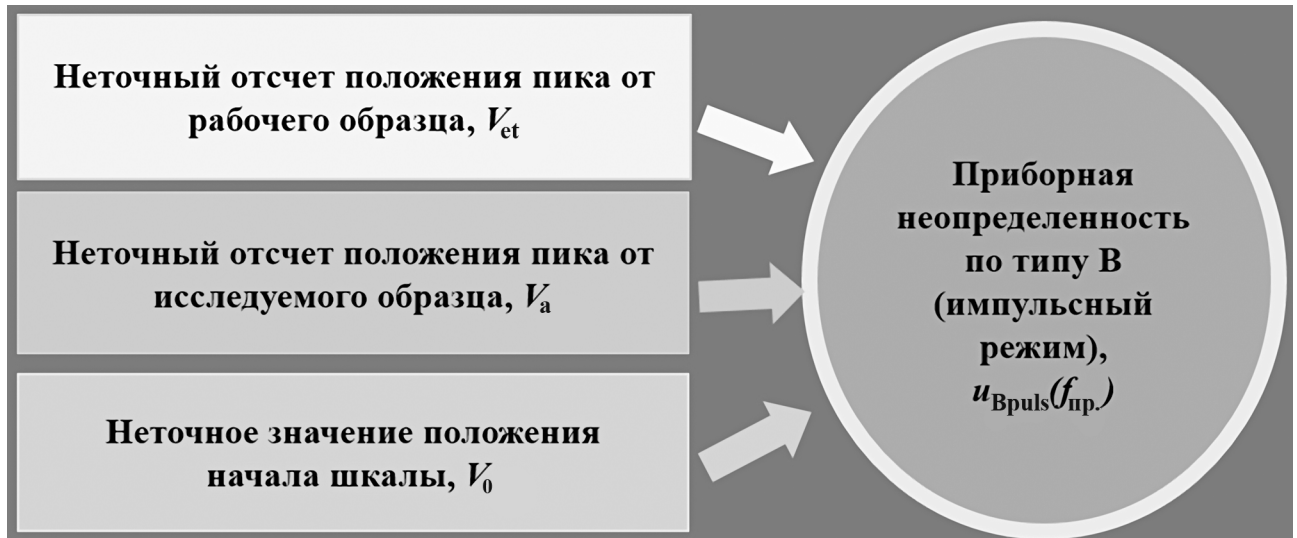


Рис. 1. Источники приборной неопределенности измерений технического светового выхода сцинтилляторов в импульсном режиме

Основная часть

1. Оценивание вкладов неопределенности отдельных факторов в приборную неопределенность по типу В измерений технического светового выхода сцинтилляторов в импульсном режиме. Измерялся технический световой выход, в фот/МэВ, цилиндрических сцинтилляторов: NaI(Tl), CsI(Tl), CWO, BGO, *n*-терфенила, антрацена и стильбена — при возбуждении гамма-излучением ¹³⁷Cs.

Описание внешнего вида и размеров исследуемых сцинтилляторов, математическая модель расчета технического светового выхода C_{ph} и используемая аппаратура подробно рассматривались в работе [4].

Набирались многократно спектры амплитуд импульсов рабочих и исследуемых сцинтилляторов. Определялись положения максимумов пиков полного поглощения либо конверсионных электронов от рабочего образца V_{et} и от исследуемого V_a . Учитывалось положение начала шкалы V_0 . Находилась отношение f_{puls} положений максимумов $V_a - V_0$ и $V_{et} - V_0$. Для определения величины $C_{ph(puls)}$ исследуемого образца, в фот/МэВ, среднее отношение полученных положений максимумов \bar{f}_{puls} умножалось на величину технического светового выхода рабочего образца $C_{ph0(puls)}$, в фот/МэВ [4].

Источники $x_{i(puls)}$ формирования приборной неопределенности по типу В $u_{Bpuls}(f_{пр.})$ измерений технического светового выхода сцинтилляторов в импульсном режиме представлены на рис. 1.

Использовался 4096-канальный анализатор импульсов с ценой деления шкалы в 1 канал. Согласно отчету [10], предел погрешности отсчетов V_{et} и V_a составлял 0,5 канала, V_0 —1 канал. Полученные результаты измерений представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что полученные значения $C_{ph(puls)}$ для различных сцинтилляторов не совсем пропорциональны полученным значениям отсчетов. Это связано с различными физическими свойствами сцинтилляторов (максимумом спектра люминесценции, временем высвечивания и т. д.) и подбором оптимальных условий измерений для каждого материала. Рабочий и исследуемый образцы измерялись в одинаковых условиях для каждого материала, что исключало дополнительную приборную неопределенность.

Кроме того, амплитудный спектр стильбена, в отличие от остальных сцинтилляторов, имел вид комптоновского распределения. В качестве V_{et} и V_a здесь регистрировались положения середины края комптоновского распределения (к-края) с энергией 477 кэВ, а не 662 кэВ.

Таблица 1

Результаты измерений технического светового выхода сцинтилляторов в импульсном режиме

Сцинтиллятор	$\overline{V_{et} + V_0}$, канал	$\overline{V_a + V_0}$, канал	\bar{f}_{puls}	$C_{ph(puls)}$, фот/МэВ	λ_{max} , нм	τ , мкс
CsI(Tl)	646,1	643,6	0,996	35500	560	4
NaI(Tl)	748,7	699,3	0,934	29500	415	2
<i>n</i> -терфенил	719,4	703,1	0,977	13700	420	2
Антрацен	410,2	394,2	0,961	11100	440	2
Стильбен	172,6	189,4	1,098	7900	390	2
CWO	636,3	495,7	0,778	5100	480	20
BGO	278,4	177,8	0,638	2800	480	2

Таблица 2

Вклады влияющих факторов и приборная неопределенность по типу В измерения светового выхода сцинтилляторов в импульсном режиме

Сцинтиллятор	$C_{ph(puls)}$, фот/МэВ	Коэфф. c_{vet} , канал ⁻¹	Вклад $c_{vet} \cdot u_{Bvet}$, %	Коэфф. c_{va} , канал ⁻¹	Вклад $c_{va} \cdot u_{Bva}$, %	Коэфф. c_{v0} , канал ⁻¹	Вклад $c_{v0} \cdot u_{Bv0}$, %	$u_{Bpuls}(f_{np.})$ [4]	
								Абс., фот/МэВ	Отн., %
CsI(Tl)	35500	0,00155	0,0447	0,00155	0,0449	0,00310	0,1791	67,39	0,19
NaI(Tl)	29500	0,00134	0,0386	0,00143	0,0413	0,00277	0,1598	51,92	0,18
n-терфенил	13700	0,00139	0,0401	0,00142	0,0411	0,00281	0,1622	23,63	0,17
Антрацен	11100	0,00244	0,0704	0,00254	0,0732	0,00497	0,2872	33,67	0,31
Стильбен	7900	0,00580	0,1673	0,00528	0,1524	0,01107	0,6393	53,61	0,68
CWO	5100	0,00157	0,0454	0,00202	0,0582	0,00359	0,2072	11,14	0,22
BGO	2800	0,00359	0,1037	0,00563	0,1624	0,00922	0,5321	15,83	0,57

В качестве справочного материала в табл. 1 приведены значения длин волн, соответствующих максимуму интенсивности люминесценции различных сцинтилляторов λ_{max} , в нм, и время интегрирования импульса τ , в мкс, превышающее в 5–6 раз время высвечивания сцинтиллятора, что обеспечивало полный сбор сигнала.

Коэффициенты чувствительности приборной неопределенности по типу В c_{vet} , c_{va} , c_{v0} к неопределенности отсчетов V_{et} , V_a , V_0 рассчитывались как частные производные от $C_{ph(puls)}$ по каждому фактору $x_{i(puls)}$ в соответствии с выражениями (14)–(16) работы [4]. Общий вид частных производных представлен в колонке 7 табл. 5.

Значения стандартных неопределенностей u_{Bvet} , u_{Bva} , u_{Bv0} вычислялись в соответствии с выражением (29) работы [4]. Вклад каждого фактора $x_{i(puls)}$ определялся в соответствии с выражением (28) работы [4] как произведение ($c_{xi} \cdot u_{Bxi}$). Результаты расчетов величин вкладов представлены в табл. 2. В этой же таблице приведены значения приборной неопределенности по типу В $u_{Bpuls}(f_{np.})$, оценка которой, в соответствии с выражением (26) работы [4], производилась с использованием рассчитанных вкладов.

2. Оценка вкладов неопределенности различных факторов в приборную неопределенность по типу В измерений технического светового выхода сцинтилляторов в токовом режиме. Измерялся технический световой выход, в фот/МэВ, ПС-стрипов. Сведения о размерах стрипов, методике измерения и модели расчета технического светового выхода $C_{ph(cur)}$ изложены в работе [5]. Измерительным прибором служил микроамперметр (МА) типа М95 со шкалой в 50 делений.

Определение величины $C_{ph(cur)}$ исследуемых ПС-стрипов, в фот/МэВ, производилось путем сравнения анодных токов фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) от рабочего I_0 и исследуемого I образцов, с учетом фонового тока ФЭУ I_{bg} в делениях выбранной шкалы МА. Среднее значение отношения токов \bar{f}_{cur} умножалось на величину $C_{ph0(cur)}$, в фот/МэВ [4].

Источники $x_{i(cur)}$, формирующие приборную неопределенность по типу В, $u_{Bcur}(f_{np.})$, связанную с ограниченной чувствительностью шкалы МА, представлены на рис. 2.

Использовались оценки предела допускаемой погрешности отсчетов по шкале МА [9], равные 0,5 деления. Значение I_{bg} составляло 0,5 деления.



Рис. 2. Источники приборной неопределенности измерений технического светового выхода ПС-стрипов в токовом режиме

Полученные результаты измерений технического светового выхода ПС-стрипов в токовом режиме представлены в табл. 3.

Таблица 3
Результаты измерений технического светового выхода ПС-стрипов в токовом режиме

Номер ПС-стрипа	\bar{I}_0 , делений	\bar{I} , делений	\bar{f}_{cur}	$C_{ph(cur)}$, фот/МэВ
1	30	18,5	0,617	38
2	30	21,2	0,706	44
3	30	24,0	0,800	50

Значения коэффициентов чувствительности приборной неопределенности по типу В c_{10} , c_1 , c_{Ibg} стандартных неопределенностей u_{B10} , u_{B1} , u_{B1bg} , а также величины неопределенности вкладов каждого фактора $x_{i(cur)}$ рассчитывались аналогично вычислениям для импульсного режима. Результаты расчетов величин составляющих вкладов для токового режима и значения приборной неопределенности по типу В $u_{Bcur}(f_{пр.})$ представлены в табл. 4.

Зависимость полученных относительных значений вкладов факторов, составляющих приборную неопределенность измерений светового вы-

хода сцинтилляторов, от положения отсчета на шкале, а также суммарные значения приборной неопределенности по типу В представлены на рис. 3а, б.

Из рис. 3 видно, что величина приборной неопределенности измерения светового выхода сцинтилляторов определяется значением большего влияющего вклада и уменьшается при сдвиге отсчетов в сторону больших значений.

Из-за специфики токовых измерений (использования существующих МА со шкалой с количеством делений 50–100) приборная неопределенность измерений ПС-стрипов в токовом режиме значительно превышает (от 4 до 20 раз) приборную неопределенность измерений цилиндрических сцинтилляторов в импульсном режиме.

Бюджеты неопределенности измерений светового выхода сцинтилляторов с самым высоким световым выходом (в импульсном режиме — CsI(Tl), в токовом — ПС-стрип 3) представлены в табл. 5 и 6. Для составления бюджетов использовались результаты предыдущих работ [4, 5] по оцениванию суммарной и расширенной неопределенности измерений светового выхода сцинтилляторов и полученные данные по величинам вкладов, составляющих приборную неопределенность.

Таблица 4
Вклады влияющих факторов и приборная неопределенность по типу В измерений светового выхода ПС-стрипов в токовом режиме

Номер ПС-стрипа	$C_{ph(cur)}$, фот/МэВ	Коэфф. C_{10} , делен. $^{-1}$	Вклад $C_{10} \cdot u_{B10}$, %	Коэфф. C_1 , делен. $^{-1}$	Вклад $C_1 \cdot u_{B1}$, %	Коэфф. C_{Ibg} , делен. $^{-1}$	Вклад $C_{Ibg} \cdot u_{B1bg}$, %	$u_{B(cur)}(f_{пр.})$ [4]	
								Абс., фот/МэВ	Отн., %
1	38	0,03279	0,9465	0,05263	1,5193	0,08542	2,4658	1,19	3,05
2	44	0,03279	0,9465	0,04608	1,3303	0,07887	2,2768	1,26	2,81
3	50	0,03279	0,9465	0,04082	1,1783	0,07360	2,1247	1,33	2,66

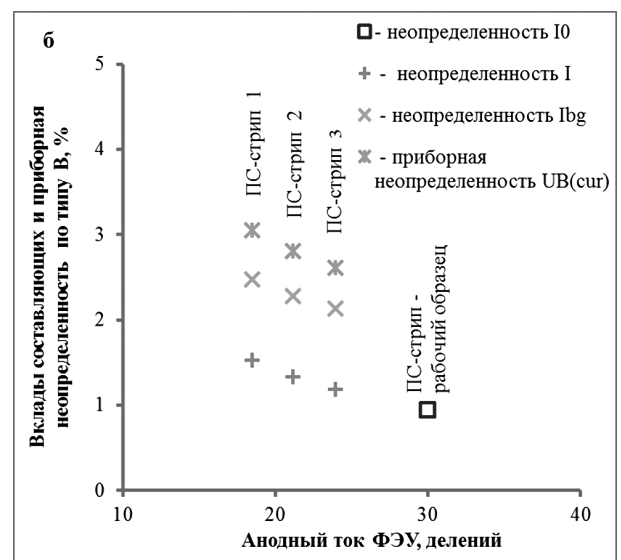
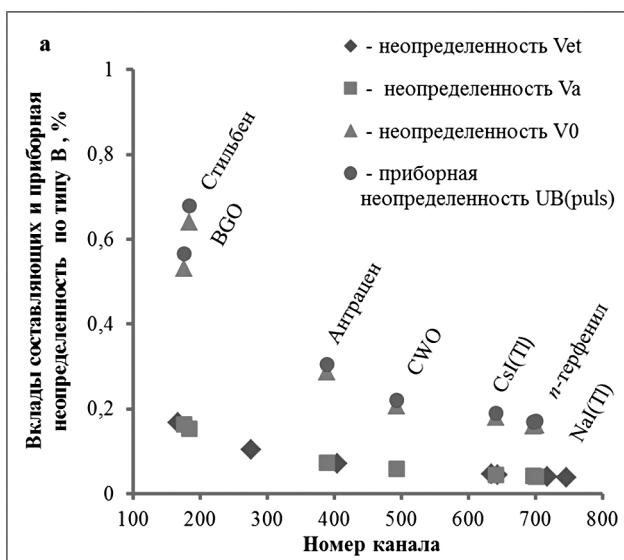


Рис. 3. Вклады неопределенностей различных факторов и приборная неопределенность измерений: а — импульсный режим; б — токовый режим

Таблица 5

Бюджет неопределенности измерений технического светового выхода CsI(Tl)

Входная величина, $x_{i(puls)}$	Значение входной величины	Оценка входной величины	Тип неопределенности	Закон распределения	Станд. неопределенность, $u_{Bxi(puls)}$	Выражение для коэфф. чувств., $c_{i(puls)}$	Значение $c_{i(puls)}$	Вклад в суммарную неопределенность, $(c_i u_{Bxi(puls)})^2, \%$
\bar{f}	0,996	0,134 %	A	Нормальный	0,134 %	1	1	0,01804
\bar{V}_{et}	644,1 канала	0,5 канала	B	Равномерный	0,5/√3 канала	1/($V_{et} + V_0$) канала ⁻¹	0,00155 канал ⁻¹	0,00200
\bar{V}_a	641,6 канала	0,5 канала	B	Равномерный	0,5/√3 канала	1/($V_a + V_0$) канала ⁻¹	0,00155 канал ⁻¹	0,00201
V_0	2 канала	1 канал	B	Равномерный	1/√3 канала	1/($V_{et} + V_0$) + 1/($V_a + V_0$)	0,00310 канал ⁻¹	0,03206
$C_{ph0(puls)}$ [4]	35600 фот/МэВ	6,5 % [4]	B	Равномерный	6,5/√3 %	1	1	14,0833
Измеряемая величина	Результат измерения	Относительная суммарная стандартная неопределенность, $u_c(C_{ph(puls)}) = \sqrt{\sum (c_i u_{Bxi(puls)})^2}, \%$						3,76
$C_{ph(puls)}$ CsI(Tl)	35500 фот/МэВ	Относительная расширенная стандартная неопределенность ($p=0,95, k_{0,95}=2$), $U_p(C_{ph}) = 2 \cdot u_c(C_{ph}), \%$						7,52

Таблица 6

Бюджет неопределенности измерений технического светового выхода ПС-стрипа 3

Входная величина, $x_{i(cur)}$	Значение входной величины	Оценка входной величины	Тип неопределенности	Закон распределения	Станд. неопределенность, $u_{Bxi(cur)}$	Выражение для коэфф. чувств., $c_{i(cur)}$	Значение $c_{i(cur)}$	Вклад в суммарную неопределенность, $(c_i u_{Bxi(cur)})^2, \%$
\bar{f}	0,800	1,11 %	A	Нормальный	1,11 %	1	1	1,2321
\bar{I}_0	30 делений	0,5 деления	B	Равномерный	0,5/√3 деления	1/($I_0 + I_{bg}$) делен. ⁻¹	0,03279 делен. ⁻¹	0,8958
\bar{I}	24 деления	0,5 деления	B	Равномерный	0,5/√3 деления	1/($I + I_{bg}$) делен. ⁻¹	0,04082 делен. ⁻¹	1,3883
I_{bg}	0,5 деления	0,5 деления	B	Равномерный	0,5/√3 деления	1/($I_0 + I_{bg}$) + 1/($I + I_{bg}$)	0,07360 делен. ⁻¹	4,5152
$C_{ph0(cur)}$ [4]	62 фот/МэВ	5 % [4]	B	Равномерный	5/√3 %	1	1	8,3333
Измеряемая величина	Результат измерения	Относительная суммарная стандартная неопределенность, $u_c(C_{ph(cur)}) = \sqrt{\sum (c_i u_{Bxi(cur)})^2}, \%$						4,05
$C_{ph(cur)}$ стрип	50 фот/МэВ	Относительная расширенная стандартная неопределенность ($p=0,95, k_{0,95}=2$), $U_p(C_{ph}) = 2 \times u_c(C_{ph}), \%$						8,10

Для наглядности соотношения вкладов составляющих суммарной неопределенности измерений технического светового выхода CsI(Tl) и ПС-стрипа 3 представлены на рис. 4а, б.

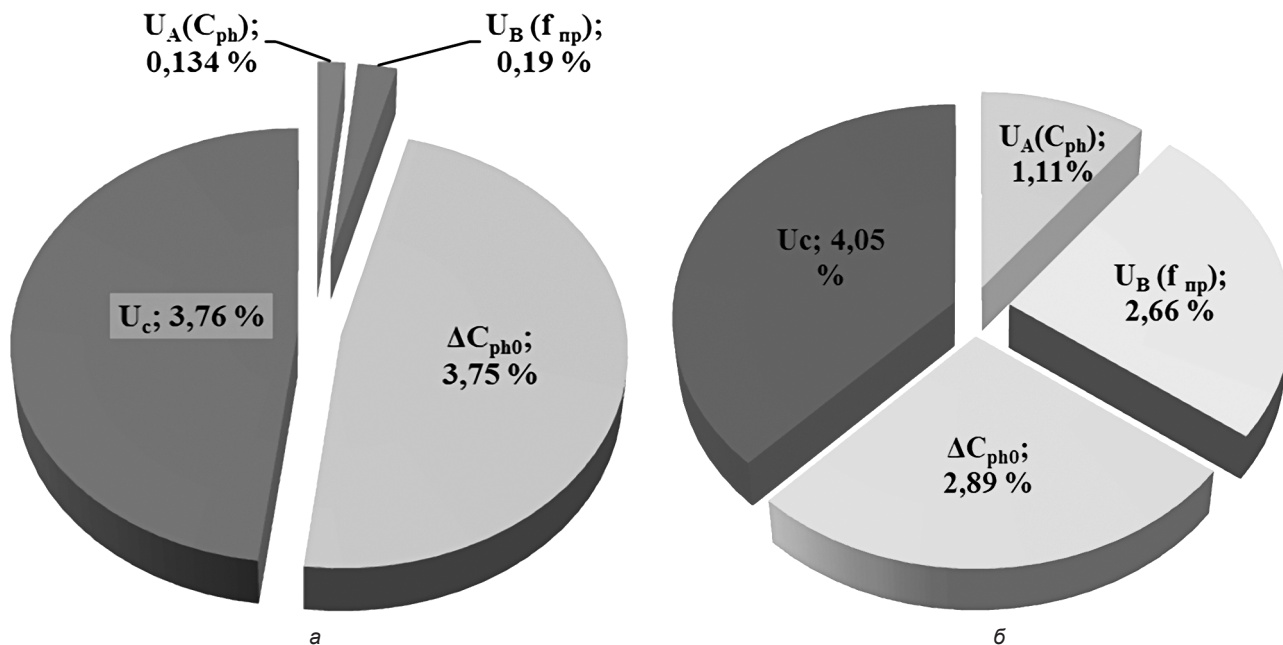


Рис. 4. Составляющие суммарной неопределенности измерений технического светового выхода сцинтилляторов: а — CsI(Tl); б — ПС-стрипа 3

Выводы

1. Определены источники неопределенности, связанные с ограниченной чувствительностью шкалы используемых анализирующих приборов и формирующие приборную неопределенность по типу В измерений светового выхода сцинтилляторов в импульсном и токовом режимах.

2. Произведена оценка вкладов отдельных приборных факторов в неопределенность по типу В измерений светового выхода различных сцинтилляторов. Рассмотрены измерения импульсным и токовым методами.

3. Показано, что приборная неопределенность измерения ПС-стрипов в токовом режиме значитель-

но превышает приборную неопределенность измерения цилиндрических сцинтилляторов в импульсном режиме. Для снижения приборной неопределенности при токовых измерениях рекомендуется применение цифровых измерительных приборов.

4. Составлены бюджеты неопределенности измерений светового выхода цилиндрического сцинтиллятора CsI(Tl) и ПС-стрипа с максимальным световым выходом. Из бюджетов и диаграмм хорошо видно значительное расхождение в величинах вкладов составляющих приборной неопределенности в суммарную неопределенность измерений технического светового выхода сцинтилляторов импульсным и токовым методами.

Вплив приладових факторів на оцінювання невизначеності вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів

Б.В. Гриньов, Н.Р. Гурджян, О.В. Зеленська, В.Р. Любинський, Л.Й. Міцай, Н.І. Молчанова, В.О. Тарасов

Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України (ІСМА НАНУ), пр. Науки, 60, 61001, Харків, Україна
grinyov@isc.kharkov.com, nana.mneyan@gmail.com

Анотація

Ця робота доповнює цикл попередніх робіт, присвячених оцінюванню невизначеності результатів вимірювань методом порівняння з робочим зразком технічного світлового виходу, у фотонах/МеВ (фот/МеВ), циліндричних сцинтиляторів на основі неорганічних та органічних монокристалів NaI(Tl), CsI(Tl), CWO, BGO, п-терфеніла, антрацена, стильбена та довгомірних стрипів на основі поліестіролу (ПС-стрипів). Досліджувані сцинтилятори були

виготовлені в Інституті сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України (ІСМА НАНУ). Технічний світловий вихід цих сцинтиляторів знаходився у діапазоні від 38 фот/МеВ для стрипів до 55000 фот/МеВ для CsI(Tl).

Проведено порівняння оцінок приладової невизначеності за типом В результатів вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів при використанні імпульсного і токового режимів вимірювань. Визначено фактори, що впливають на величину приладової невизначеності вимірювань, і проведено оцінювання вкладів цих факторів у приладову невизначеність для зазначених режимів вимірювань. Установлено, що величина приладової невизначеності вимірювань пов'язана з обмеженою чутливістю шкали аналізуючого приладу і залежить від кількості поділок використовуваної шкали і місця розташування відліку вимірюваного параметра на цій шкалі. Розраховані значення оцінок вкладів у невизначеність результатів вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів знаходяться в інтервалі від 0,05 до 0,18 % для CsI(Tl) і від 0,95 до 2,45 % для стрипа № 1.

За результатами проведених в цій роботі оцінок приладової невизначеності та з урахуванням результатів попередніх робіт, було упорядковано бюджети невизначеності вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів на основі CsI(Tl) (імпульсний режим) і стрипа № 3 (токовий режим).

Ключові слова: сцинтилятор, технічний світловий вихід, гамма-випромінювання, приладова невизначеність, коефіцієнт чутливості, бюджет невизначеності.

The influence of instrumental factors at uncertainty evaluation of scintillators technical light output measurements

B.V. Grinyov, N.R. Gurdzhyan, O.V. Zelenskaya, V.R. Lyubynskiy, L.I. Mitsay, N.I. Molchanova, V.A. Tarasov

Institute for Scintillation Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (ISMA NAS of Ukraine), Nauky Ave., 60, 61001, Kharkiv, Ukraine
grinyov@isc.kharkov.com, nana.mneyan@gmail.com

Abstract

This article complements the cycle of previous works that were devoted to the evaluation of uncertainty of measurement results of cylindrical scintillators on the base of NaI(Tl), CsI(Tl), CWO, BGO, p-terphenyl, anthracene, stilbene and long length strips based on polystyrene (PS strip) technical light output in photons/MeV (ph/MeV). The comparison method with the working sample was used. The investigated scintillators were manufactured at the Institute for Scintillation Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (ISMA NASU). Technical light output of the scintillators was in the range from 38 ph/MeV for strips to 55000 ph/MeV for CsI(Tl).

In this work, we compared the estimates of instrumental uncertainty of type B of the measurement results of the technical light output of scintillators using pulse and current measurement modes. Factors influencing the magnitude of instrumental measurement uncertainty are determined. The contributions of these factors to the instrumental uncertainty for specified measurement modes are evaluated. It is established that the value of instrumental measurement uncertainty is related to the limited sensitivity of the scale of analyzing instrument and depends on the number of divisions of the used scale and the location of the measured parameter on this scale. The calculated values of contributions' estimates to the uncertainty of the measurement results of the technical light output of scintillators are in the range from 0.05 to 0.18 % for CsI(Tl) and from 0.95 to 2.45 % for strip No. 1.

Based on the results of the instrumental uncertainty estimates received in this work and taking into account the results of previous studies, the measurement uncertainty budgets for the technical light output of scintillators based on CsI(Tl) (pulse mode) and strip No. 3 (current mode) are compiled.

Keywords: scintillator, technical light output, gamma radiation, instrumental uncertainty, sensitivity coefficient, uncertainty budget.

Список литературы

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM): First edition. Switzerland: ISO, 1993. 101 p.
2. IEC 62372:2006. Nuclear instrumentation — Housed scintillators — Measurement methods of light output and intrinsic resolution (Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу та власної роздільної здатності).
3. ДСТУ IEC 62372:2009. Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу. Київ, 2012.
4. Состояние и перспективы развития функциональных материалов для науки и техники. Аспекты сцинтилляционной техники / под ред. А. В. Гектина. Харьков: ИСМА, 2017. 264 с.
5. Гринев Б. В., Зеленская О. В., Любинский В. Р., Мицай Л. И., Молчанова Н. И., Тарасов В. А. Определение относительного светового выхода стрипов на основе пластмассовых сцинтилляторов. *Український метрологічний журнал*. 2014. № 4. С. 46–49.
6. Гринев Б. В., Гурджян Н. Р., Зеленская О. В., Любинский В. Р., Молчанова Н. И., Тарасов В. А. Сравнительный анализ методик вычислений погрешности и неопределенности измерений на примере сцинтиллятора [Электронный ресурс]. *Метрологія та вимірювальна техніка*: наук. праці VIII Міжнар. наук. — техн. конф. (Харків, 9–11 жовтня 2012). Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2012. С. 54–60. 1 електрон. опт. диск (CD-R).
7. Гринев Б. В., Гурджян Н. Р., Зеленская О. В., Любинский В. Р., Молчанова Н. И., Тарасов В. А. Оценка качества результатов измерений светового выхода упакованных сцинтилляторов на основе неорганических кристаллов. *Метрологія та прилади*. 2013. № 1. С. 31–39.
8. Гринев Б. В., Гурджян Н. Р., Зеленская О. В., Любинский В. Р., Молчанова Н. И., Тарасов В. А. О различных подходах к выражению характеристик точности измерений светового выхода органических сцинтилляторов. *Там же*. 2013. № 5. С. 20–27.
9. Фаддеев М. А. Элементарная обработка результатов эксперимента. Нижний Новгород: ННГУ, 2010. 122 с.
10. Отчет о НИР: Разработка методов и метрологическое обеспечение контроля качества упакованных сцинтилляционных кристаллов / под рук. Ю. А. Цирлина. Харьков: Институт монокристаллов, 1980. 118 с.

References

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM): First edition. Switzerland, ISO Publ., 1993, 101 p.
2. IEC 62372:2006. Yaderne prykladobuduvannia — Stsyntyliatory upakovani — Metody kontroliuvannia tekhnichnoho svitlovoho vykhodu ta vlasnoi rozdilnoi zdatnosti [IEC 62372:2006. Nuclear instrumentation — Housed scintillators — Measurement methods of light output and intrinsic resolution] (in Ukrainian).
3. DSTU IEC 62372:2009. Yaderne prykladobuduvannia — Stsyntyliatory upakovani — Metody kontroliuvannia tekhnichnoho svitlovoho vykhodu [State Standard of Ukraine IEC 62372:2009 Nuclear instrumentation — Housed scintillators — Measurement methods of light output and intrinsic resolution]. Kyiv, 2012 (in Ukrainian).
4. Gektin A. W. (Ed.). *Sostoyanie i perspektivyyi razvitiya funktsionalnykh materialov dlya nauki i tekhniki. Aspektyi stsyntillyatsionnoy tekhniki* [The state and prospects of development of functional materials for science and technology. Aspects of the scintillation technique]. Kharkov, ISMA Publ., 2017. 264 p.
5. Grynyov B. V., Zelenskaya O. V., Lyubynskiy V. R., Mitcay L. I., Molchanova N. I., Tarasov V. A. Opredelenie otnositelnogo svetovogo vyihoda stripov na osnove plastmassovyih stsyntillyatorov [Determination of relative light output of strips based on plastic scintillators]. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal — Ukrainian metrological journal*, 2014, no. 4, pp. 46–49.
6. Grynyov B. V., Gurdzhian N. R., Zelenskaya O. V., Lyubynskiy V. R., Molchanova N. I., Tarasov V. A. Sravnitel'nyi analiz metodik vychislenii pogreshnosti i neopredelennosti izmerenii na primere stsyntillyatora [Comparative analysis of methods of calculation of error and uncertainty of measurement on the example of the scintillator]. *Metrolohiia ta vymiriuvalna tekhnika: naukovyi pratsi VIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii* [Metrology and measurement technology: scientific proceedings of the VIII International scientific-technical conference]. Kharkov, National Research Center “Institute of Metrology”, 2012, pp. 54–60.
7. Grynyov B. V., Gurdzhian N. R., Zelenskaya O. V., Lyubynskiy V. R., Molchanova N. I., Tarasov V. A. Otsenka kachestva rezultatov izmereniy svetovogo vyihoda upakovannykh stsyntillyatorov na osnove neorganicheskikh kristallov [Evaluation of the quality of light output measurements of packed scintillators based on inorganic crystals]. *Metrolohiia ta prylyady — Metrology and instrumentation*, 2013, no. 1, pp. 31–39.

8. Grynyov B. V., Gurdzhian N. R., Zelenskaya O. V., Lyubynskiy V. R., Molchanova N. I., Tarasov V. A. O razlichnyih podhodah k vyrazheniyu characteristic tochnosti izmereniy svetovogo vyihoda organicheskikh stintillyatorov [About the different approaches to the expression of the characteristics of accuracy of measurement of light output of organic scintillators]. *Metrologiya ta prylady — Metrology and instrumentation*, 2013, no. 5, pp. 20–27.
9. Faddeev M. A. *Elementarnaya obrabotka rezultatov eksperimenta* [Basic processing of the results of the experiment]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University Publ., 2010. 122 p.
10. Cirlina Ju. A. (Ed.). Report on scientific-research work: Development of methods and metrological assurance of quality control packed scintillation crystals. Kharkov, Institute of Single Crystals Publ., 1980. 118 p. (in Russian, unpublished).

UDC 543.545(088.8)

Combined method of analytical control of concentration of combustible substances with preliminary oxidization in barrier discharge

G. M. Mamedov, S. M. Abbasova

Azerbaijan State University of Oil and Industry, Azadlig Avenue, 2, Az 1010, Baku, Azerbaijan
mamedov.gakhraman@mail.ru

Abstract

The combined method of analytical control of the concentration of combustible substances with preliminary oxidation in a barrier discharge is considered, where the analyzed substance is subjected to a combination of certain types of energy effects, which allows obtaining measurement information about the composition or physicochemical properties of the analyzed substance. In analytical practice, in a barrier discharge, ozone is synthesized in a device consisting of two coaxially located metal electrodes in the form of a tube and a rod separated by a dielectric from the pyrite glass, the gap of which is filled with air at the atmospheric pressure. The process of obtaining ozone in the device proceeds in two stages. At the first stage, endothermic dissociation of oxygen molecules occurs to atoms, and at the second (exothermic) stage, a reversible reaction of ozone formation occurs.

During electro-cracking in a gaseous hydrocarbon environment in a barrier discharge, hydrocarbon molecules are splitting to the radicals. The nature of the chemical reactions and, consequently, the composition of the reaction products are determined by the initial composition of the initial substances, their pressure, as well as the time of action of the electric discharge and its power. In the interaction of atomic oxygen with the products of the electro-cracking of molecules of the analyzed substance, the balance in ozone formation is disturbed, which leads to a decrease in the ozone concentration in the barrier discharge.

Changes in the concentration of ozone in the presence of vapors of liquid hydrocarbons and petroleum products in the air, directly in the ozone synthesizer, makes it possible to use the method of analytical control under consideration to determine the concentration of vapor-gas mixtures of combustible substances and petroleum products, as well as to measure saturated vapor pressure of liquid hydrocarbons, petroleum products and fuels.

Keywords: barrier discharge, oxidation, ozone, atomic oxygen, combustible substance, saturated vapor pressure, concentration.

Received: 10.10.2017

Edited: 27.11.2017

Approved for publication: 05.12.2017

Currently for determination of structure and properties of the analyzed substances, various methods of analytical control in which for the measurement of physical quantity a number of chemical and physical transformations of the analyzed substance takes place are applied. Application of similar methods of analytical control is connected with the intensive development

of tool methods of analytical chemistry and problems arising at identification of substances in various branches of science and technology. Instrumental methods, namely, physical and physicochemical ones, have ample information opportunities, rapidity and can be used for analytical control of liquid and gaseous substances [1].