

# Анализ влияния статистики эксперимента на оценку точности измерения 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 НАНУ, пр-т Науки, 60, 61001, Харьков, Украина  
tarasov@isc.kharkov.com

## Аннотация

Работа посвящена анализу влияния статистики экспериментальных данных на оценку показателей случайных составляющих (прецизионности и доверительных границ случайной погрешности) точности измерений технического светового выхода различных сцинтилляторов. Оценки точности проводились с целью установления необходимого числа измерений при проведении метрологических работ различного уровня.

Определялся технический световой выход, в фотонах/МэВ (фот/МэВ), цилиндрических сцинтилляторов на основе монокристаллов NaI(Tl), CsI(Tl), CWO, BGO, *n*-терфенила, антрацена, стильбена и ПС.

Показатели точности измерений технического светового выхода сцинтилляторов оценивались на основании серий результатов измерений в определенных условиях. Проводились три серии измерений в условиях внутрилабораторной воспроизводимости, при этом каждая серия измерений светового выхода проводилась в условиях повторяемости. Оценкой изменчивости случайной составляющей погрешности единичного измерения светового выхода являлся показатель прецизионности измерения – стандартное отклонение результата единичного измерения, выполненного в условиях повторяемости.

Вычислялись абсолютные и относительные значения показателей прецизионности и доверительных границ случайной погрешности для каждой серии измерений. Изучались зависимости показателей точности от числа измерений в серии от 3 до 9.

Показано, что при увеличении светового выхода сцинтилляторов от 2800 фот/МэВ для BGO до 35500 фот/МэВ для CsI(Tl), для любого числа измерений, показатель прецизионности измерений светового выхода сцинтилляторов уменьшается примерно от 2 до 0,3 %, то есть прецизионность измерений повышается.

Установлено, что отношение величины границы случайной погрешности к показателю прецизионности измерений уменьшается от 2,5 до 0,8 при возрастании количества измерений от 3 до 9.

На основании полученных результатов даны рекомендации по количеству измерений, необходимых для проведения метрологических работ различного уровня.

**Ключевые слова:** сцинтиллятор, технический световой выход, прецизионность, повторяемость, внутрилабораторная воспроизводимость, границы случайной погрешности.

Получено: 19.11.2018

Отредактировано: 30.11.2018

Одобрено к печати: 04.12.2018

## Введение

В Институте сцинтилляционных материалов НАНУ (ИСМА НАНУ) производится большое количество различных сцинтилляторов для зарубежных поставок. Качество выпускаемых сцинтилляторов определяется на основании анализа результатов проводимых измерений параметров сцинтилляторов и характеризуется точностью полученных результатов.

В настоящее время в Украине терминология и требования к точности методов и результатов измерений регламентированы национальным

стандартом [1], который гармонизирован с международным стандартом [2]. Показатели точности (прецизионность и правильность) в соответствии с этим стандартом определяются на основании экспериментальных статистических данных, которые могут быть получены в условиях внутрилабораторного или межлабораторного эксперимента. При определении показателей прецизионности такой эксперимент называется “экспериментом по оценке прецизионности”.

Прецизионность является общим термином для выражения изменчивости повторяющихся измерений, характеризует степень малости рассея-

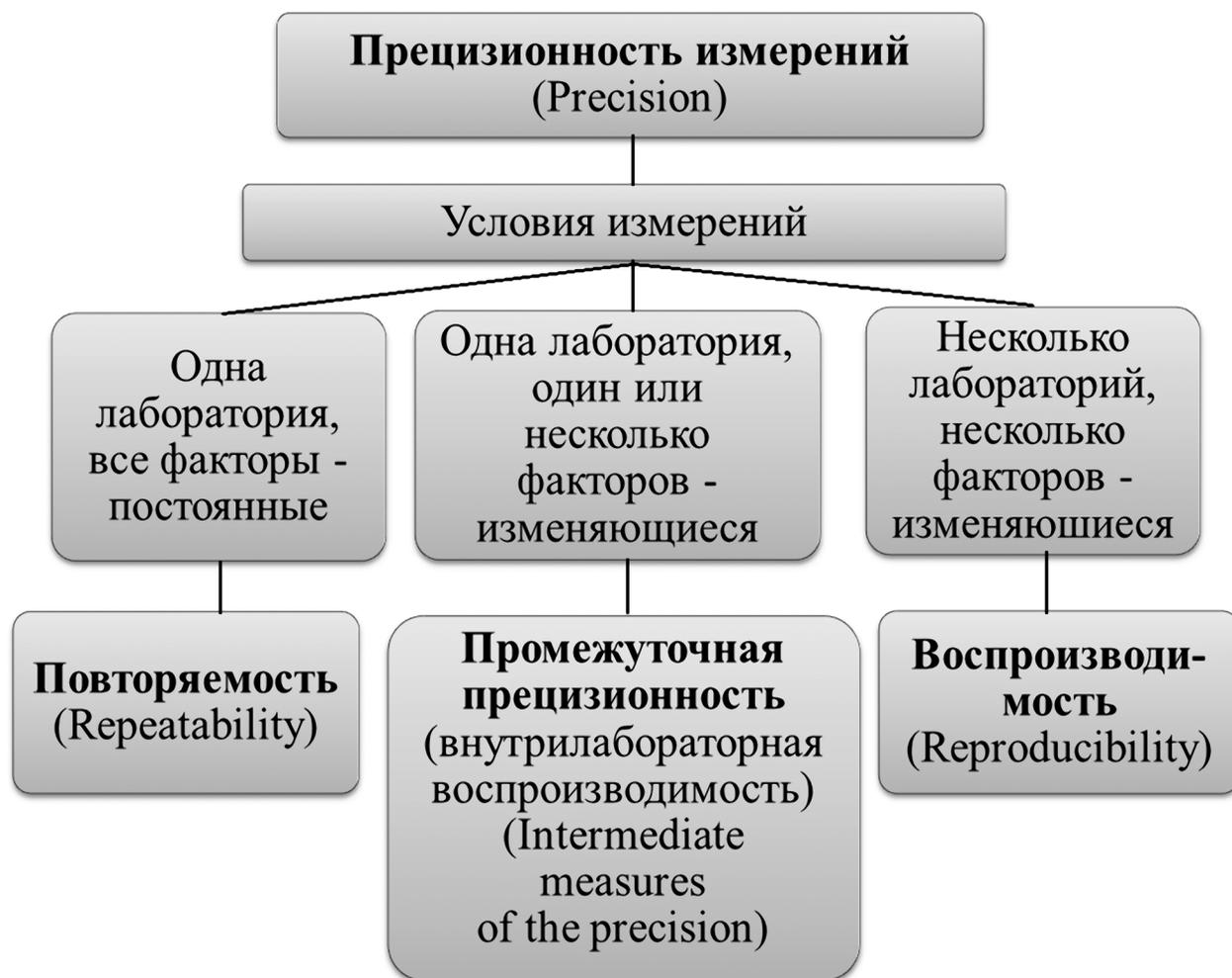


Рис. 1. Виды условий измерений при оценке прецизионности

ния независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях, и зависит только от случайных ошибок каждого измерения. Показатели прецизионности определяются на основании серии результатов измерений. Конечной целью эксперимента по оценке прецизионности является оценка значений стандартных отклонений измеренных величин с определенной вероятностью.

Количественные значения мер прецизионности зависят от заданных условий, определяемых факторами (время, калибровка, оператор и оборудование), влияющими на изменчивость результата. Прецизионность, полученная при этом, соответствует совокупностям факторов, характеризующим определенные условия проведения измерений [3] (рис. 1).

#### Цель работы

Целью работы являлось оценивание величин прецизионности и границ случайной погрешности измерения технического светового выхода различных сцинтилляторов, а также соотношения между ними, в зависимости от числа измерений.

#### Основная часть

Методом сравнения с рабочим образцом определялся технический световой выход  $C_{ph}$ , в фотонах/МэВ (фот/МэВ), цилиндрических сцинтилляторов на основе монокристаллов NaI(Tl), CsI(Tl), CWO, BGO, *n*-терфенила, антрацена, стильбена и ПС. Внешний вид, размеры всех образцов, кроме ПС, аппаратура и метод измерения описаны в работе [4]. Размеры образца ПС составляли  $\varnothing 45 \times 20$  мм.

Измерения проводились в соответствии с национальным стандартом [5], который гармонизирован с международным стандартом [6], на стандартном спектрометрическом устройстве с использованием в качестве фотоприемника фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) R1307 "Hamamatsu". Для возбуждения сцинтилляционных кристаллов использовался гамма-источник ионизирующего излучения  $^{137}\text{Cs}$  ( $E_\gamma = 662$  кэВ).

Проводилось три серии измерений в условиях внутрилабораторной воспроизводимости. Количество измерений  $n$  в условиях повторяемости составляло 3 для первой серии, 6 — для второй и 9 — для третьей. Предполагался нормальный закон распределения с доверительной вероятностью, равной  $P_d = 0,95$ .

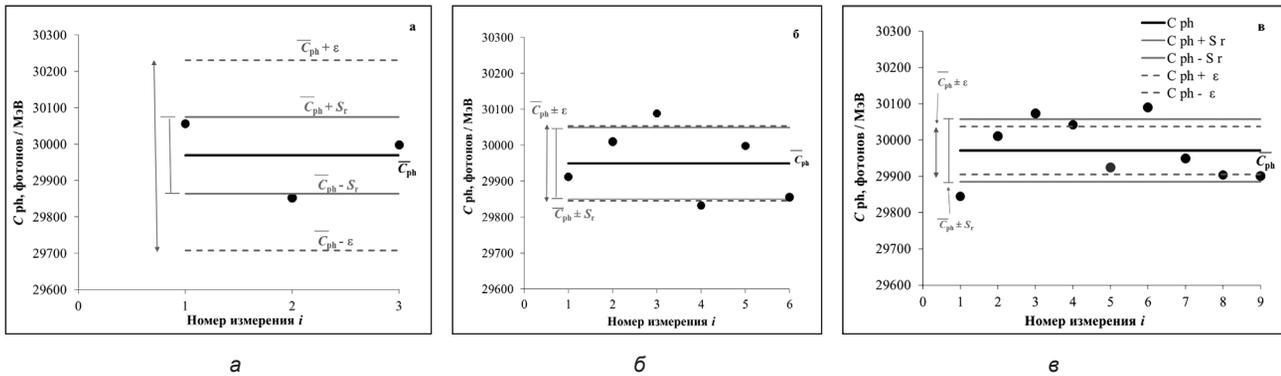


Рис. 2. Прецизионность и доверительные границы случайной составляющей погрешности измерения технического светового выхода NaI(Tl) при различном числе измерений: а)  $n = 3$ ; б)  $n = 6$ ; в)  $n = 9$

В соответствии со стандартом [7], статистическую модель оценки точности каждого результата измерений технического светового выхода сцинтилляторов,  $C_{phi}$ , можно представить в виде:

$$C_{phi} = \bar{C}_{ph} + B + e, \quad (1)$$

где  $C_{phi}$  –  $i$ -е измеренное значение технического светового выхода испытуемого образца;  $\bar{C}_{ph}$  – среднее значение светового выхода испытуемого образца;  $B$  – лабораторная составляющая систематической погрешности в условиях повторяемости;  $e$  – случайная составляющая погрешности каждого результата измерений в условиях повторяемости.

Учитывая, что в данном эксперименте измерения внутри серии проводились в условиях повторяемости, при которых все влияющие факторы считаются постоянными и не влияющими на изменчивость результата, а время между сериями измерений составляло не более 2-х часов, влиянием составляющей  $B$  можно пренебречь. Также при данных условиях измерения предполагалось отсутствие выбросов.

Оценкой изменчивости случайной составляющей погрешности единичного измерения  $e$  является показатель прецизионности измерения – стандартное отклонение (СКО) результата единичного измерения,  $S_r(C_{ph})$ , выполненного в условиях повторяемости.

Для каждой серии вычислялось абсолютное значение  $S_r(C_{ph})$  измерения технического светового выхода  $C_{ph}$ , в фот/МэВ, по формуле

$$S_r(C_{ph}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{phi} - \bar{C}_{ph})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где  $n$  – число измерений.

Относительное значение показателя прецизионности  $\tilde{S}_r(C_{ph})$ , в процентах, определялось по формуле

$$\tilde{S}_r(C_{ph}) = \frac{S_r(C_{ph})}{\bar{C}_{ph}} \cdot 100. \quad (3)$$

Абсолютные величины доверительных границ случайной погрешности измерения  $\epsilon(\bar{C}_{ph})$ , в фот/МэВ, вычислялись для каждой серии, в соответствии со стандартом [8], из выражения

$$\epsilon(\bar{C}_{ph}) = t_{0,95(n-1)} S(\bar{C}_{ph}), \quad (4)$$

где  $t_{0,95(n-1)}$  – коэффициент Стьюдента для уровня вероятности 0,95 и числа степеней свободы, равного  $n-1$ ;  $S(\bar{C}_{ph})$  – абсолютное среднеквадратическое отклонение (СКО) измерения  $\bar{C}_{ph}$ , в фот/МэВ, вычисляемое по формуле

$$S(\bar{C}_{ph}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{phi} - \bar{C}_{ph})^2}{n(n-1)}}. \quad (5)$$

Относительное значение СКО доверительных границ случайной погрешности измерения  $\tilde{\epsilon}(\bar{C}_{ph})$ , в процентах, будет составлять:

$$\tilde{\epsilon}(\bar{C}_{ph}) = \frac{S(\bar{C}_{ph})}{\bar{C}_{ph}} \cdot 100 \cdot t_{0,95(n-1)}. \quad (6)$$

Отношение величин  $\tilde{\epsilon}(\bar{C}_{ph})$  к  $\tilde{S}_r(C_{ph})$  находилось из соотношения формул (6) и (3):

$$\frac{\tilde{\epsilon}(\bar{C}_{ph})}{\tilde{S}_r(C_{ph})} = \frac{t_{0,95(n-1)}}{\sqrt{n}}. \quad (7)$$

Результаты измерения  $C_{phi}$  для всех серий, с указанием границ прецизионности  $\bar{C}_{ph} \pm S_r$  и границ случайной погрешности  $\bar{C}_{ph} \pm \epsilon$  для сцинтиллятора на основе NaI(Tl), приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что с увеличением числа измерений границы случайной погрешности сужаются, а доля измерений, имеющих отклонение от среднего значения не более показателя прецизионности, увеличивается.

Результаты измерения  $\bar{C}_{ph}$ , с оценкой  $S_r(C_{ph})$  и  $\epsilon(\bar{C}_{ph})$  для СВО и ПС, приведены на рис. 3.

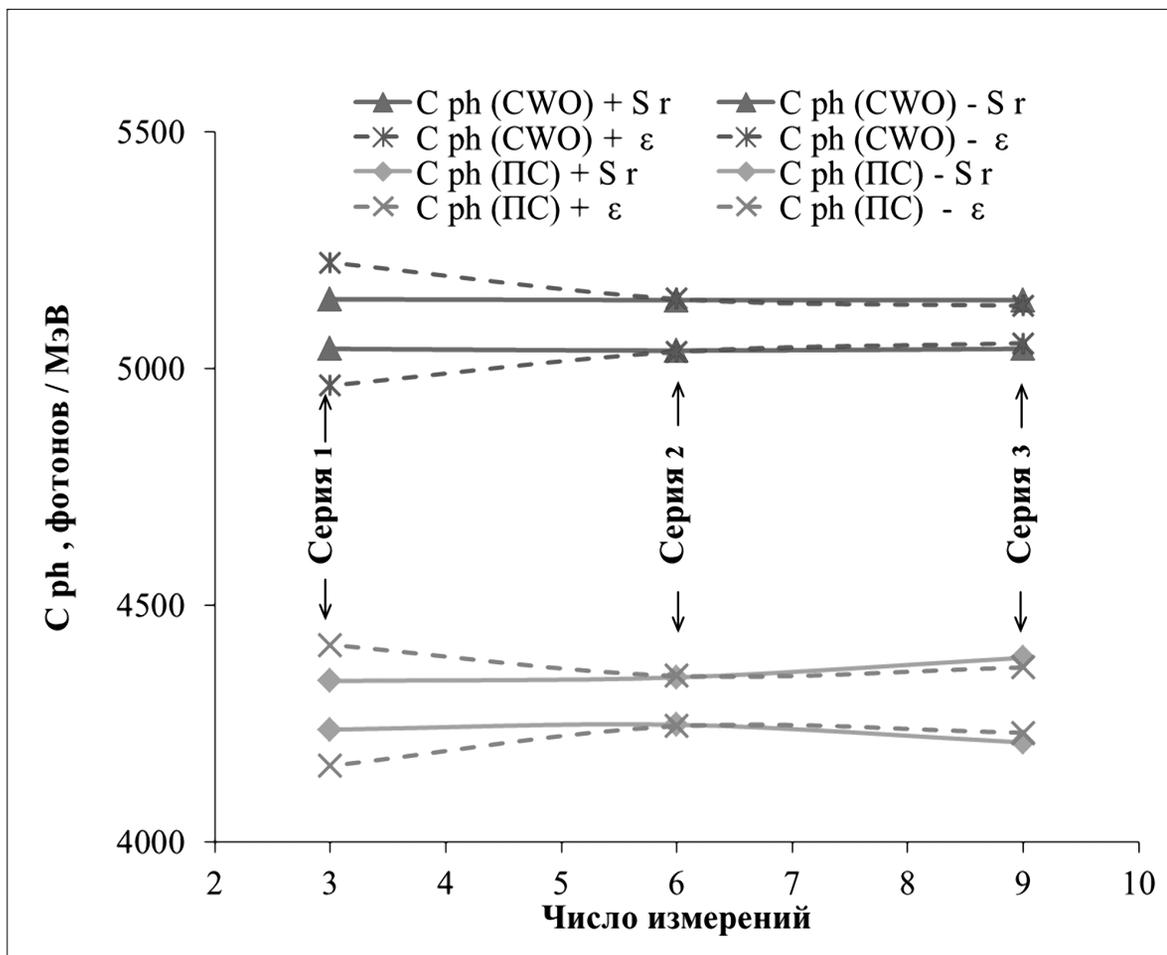


Рис. 3. Прецизионность и доверительные границы случайной составляющей погрешности измерения  $\bar{C}_{ph}$  CWO и ПС при различном числе измерений  $n$

Как следует из рис. 2 и рис. 3, при увеличении числа измерений от 3 до 9 значения показателей прецизионности незначительно изменяются (на 5–15 %), при этом относительные значения доверительных границ случайной погрешности измерения  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$  уменьшаются более чем в 2 раза.

Численные результаты оценки показателей прецизионности  $S_r(C_{ph})$  и доверительных границ

случайной погрешности  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$  измерения технического светового выхода всех исследуемых сцинтилляторов при различном числе измерений  $n$  приведены в таблице.

Для наглядности относительные значения, в процентах, величин  $\tilde{S}_r(C_{ph})$  и  $\tilde{\varepsilon}(\bar{C}_{ph})$  для всех исследуемых сцинтилляторов при различном числе измерений представлены на рис. 4 в виде диаграмм.

Показатели прецизионности и доверительные границы случайной погрешности измерений технического светового выхода различных сцинтилляторов

Сцинтиллятор	$C_{ph}$ , фот/МэВ	Показатель прецизионности, $S_r(C_{ph})$						Границы случайной погрешности, $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$					
		$n = 3$		$n = 6$		$n = 9$		$n = 3;$ $t = 4,30$		$n = 6;$ $t = 2,57$		$n = 9;$ $t = 2,31$	
		Абс., фот/МэВ	Отн., %	Абс., фот/МэВ	Отн., %	Абс., фот/МэВ	Отн., %	Абс., фот/МэВ	Отн., %	Абс., фот/МэВ	Отн., %	Абс., фот/МэВ	Отн., %
ВГО	2800	24,8	0,885	54,7	1,950	51,4	1,830	61,4	2,197	57,4	2,040	39,5	1,400
ПС	4300	51,5	1,200	50,1	1,167	89,5	2,080	127,8	2,980	52,6	1,224	68,8	1,600
СВО	5100	52,4	0,975	67,8	1,334	62,1	1,220	130,0	2,420	71,1	1,399	47,8	0,940
Стильбен	7300	49,3	0,677	44,4	0,608	75,8	1,040	122,4	1,680	46,6	0,638	58,3	0,800
Антрацен	11100	65,6	0,590	60,4	0,573	56,3	0,509	162,9	1,470	61,4	0,601	43,3	0,391
П-герф.	13700	95,78	0,700	91,6	0,672	86,4	0,632	237,8	1,737	96,2	0,705	66,4	0,485
NaI(Tl)	30000	105,2	0,350	99,4	0,342	86,2	0,288	261,3	0,872	104,3	0,348	66,2	0,221
CsI(Tl)	35500	128,3	0,361	115,2	0,324	111,6	0,314	318,4	0,898	120,9	0,340	85,8	0,241

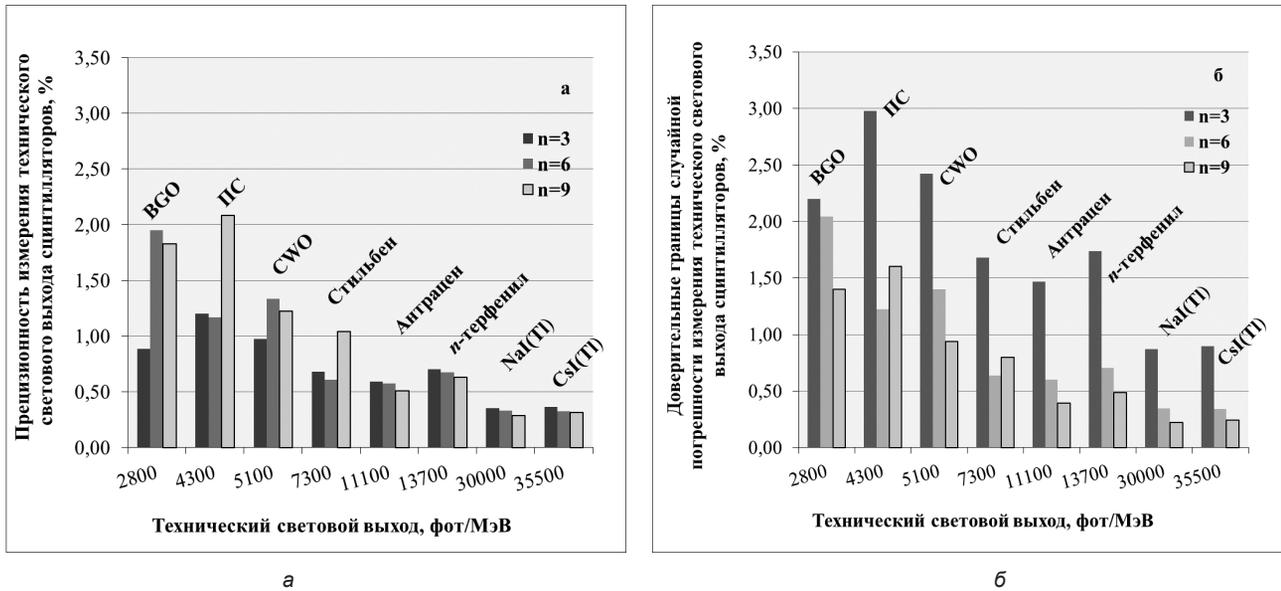


Рис. 4. Прецизионность (а) и доверительные границы случайной составляющей погрешности (б) измерения  $\bar{C}_{ph}$  всех исследуемых сцинтилляторов при различном числе измерений  $n$

Диаграммы, приведенные на рис. 4, демонстрируют изменение величин показателя прецизионности  $\tilde{S}_r(C_{ph})$  и границ погрешности  $\tilde{\varepsilon}(\bar{C}_{ph})$  для всех исследуемых сцинтилляторов при различном числе измерений  $n$ .

Соотношение величин  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$  и  $S_r(C_{ph})$  в зависимости от числа измерений  $n$ , соответственно, коэффициента Стьюдента приведено на рис. 5.

Как видно из рис. 5, численные значения отношения  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$  к  $S_r(C_{ph})$  для всех ис-

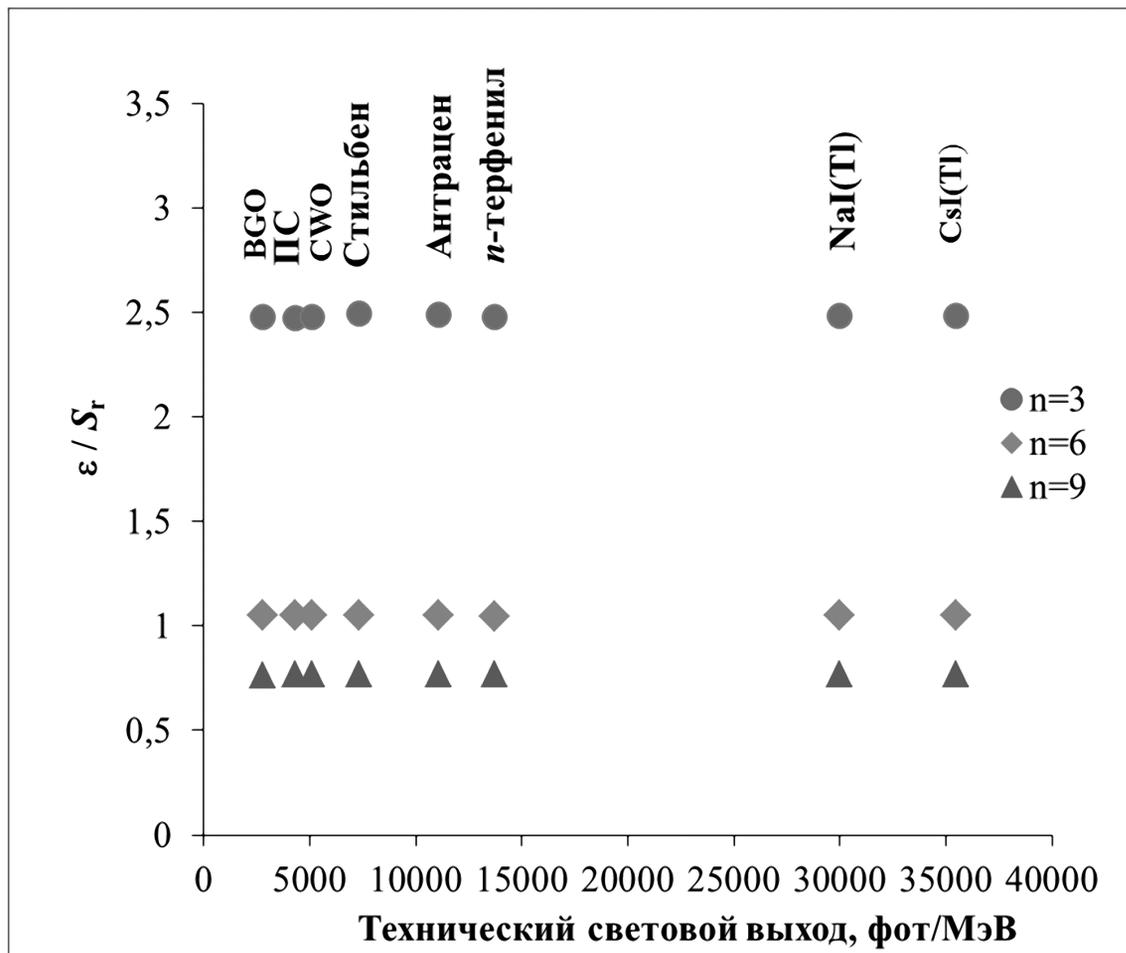


Рис. 5. Отношение доверительных границ случайной составляющей погрешности к прецизионности измерения  $\bar{C}_{ph}$  для всех исследуемых сцинтилляторов при различном числе измерений  $n$

слідуючих сцинтиляторів наступні:  $n = 3$ ,  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})/S_r(C_{ph}) \approx 2,5$ ;  $n = 6$ ,  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})/S_r(C_{ph}) \approx 1$ ;  $n = 9$ ,  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})/S_r(C_{ph}) \approx 0,77$ .

Значення показателів прецизійності  $S_r(C_{ph})$  – виборочні стандартні відхилення, характеризують повторюваність (прецизійність) вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів, являються оцінками істинних стандартних відхилень і, відповідно, містять похибку (неопределенність). В відповідності з пп. 6.3.2.1 – 6.3.2.3, табл. 1 і рис. В1 додатку В стандарту [1, частина 1], неопределенність оцінки  $S_r(C_{ph})$  залежить від числа вимірювань. Вибір кількості вимірювань повинен бути компромісом між наявністю ресурсів і необхідністю знизити неопределенність оцінки  $S_r(C_{ph})$  і, відповідно, довірчі межі випадкової похибки вимірювань  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$  до бажаного рівня.

### Висновки

Встановлено, що при збільшенні світлового виходу сцинтиляторів від 2800 фот/МэВ для ВГО до 35500 фот/МэВ для CsI(Tl), для будь-якого числа вимірювань, величина відносних значень показателів прецизійності вимірювань технічного світлового виходу, в процентах, зменшується приблизно від 2 до 0,3 %, тобто прецизійність вимірювань світлового виходу сцинтиляторів підвищується.

Показано, що при збільшенні числа вимірювань  $n$  від 3 до 9 абсолютні і відносні значення

показателів прецизійності для сцинтиляторів з високим і середнім світловим виходом (35500–11100 фот/МэВ) незначительно зменшуються (на 5–15 %). При низькому світловому виході (7300 – 2800 фот/МэВ) така ж залежність показателя прецизійності від числа вимірювань істотно змінюється для окремих серій за рахунок більшого внеску випадкової похибки в кожне вимірювання.

Вивчено вплив числа вимірювань  $n$  на величину відношення меж випадкової похибки до показателів прецизійності вимірювань технічного світлового виходу. Встановлено, що це відношення зменшується від 2,5 до 0,8 при збільшенні числа вимірювань  $n$  від 3 до 9.

На основі отриманих у роботі результатів і з урахуванням вищесказанного можна дати рекомендації по кількості вимірювань, необхідних для оцінки прецизійності вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів:

- при рядових вимірюваннях без заданих рівнів неопределенності оцінок  $S_r(C_{ph})$  і  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$  можливо проведення  $n = 3$  повторних вимірювань;
- при вимірюваннях, пов'язаних з атестацією стандартних зразків і еталонів, при заданих рівнях неопределенності оцінок  $S_r(C_{ph})$  і з метою мінімізації  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$  необхідно виробляти від 6 до 9 повторних вимірювань;
- подальше збільшення кількості вимірювань нецелесообразно, так як призводить лише до невеликого зменшення неопределенності оцінок  $S_r(C_{ph})$  і  $\varepsilon(\bar{C}_{ph})$ , викликаючи втрату часових і інших ресурсів.

## Аналіз впливу статистики експерименту на оцінку точності вимірювання 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 НАНУ, пр-т Науки, 60, 61001, Харків, Україна  
tarasov@isc.kharkov.com

### Анотація

Роботу присвячено аналізу впливу статистики експериментальних даних на оцінку показників випадкових складових (прецизійності та довірчих кордонів випадкової похибки) точності вимірювань технічного світлового виходу різних сцинтиляторів. Оцінки точності проводилися для встановлення необхідного числа вимірювань при проведенні метрологічних робіт різного рівня.

Визначався технічний світловий вихід, у фотонах/МэВ (фот/МэВ), циліндричних сцинтиляторів на основі монокристалів NaI(Tl), CsI(Tl), CWO, ВГО,  $n$ -терфенілу, антрацену, стильбену і ПС.

Показники точності вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів оцінювалися на підставі серій результатів вимірювань у певних умовах. Проводилися три серії вимірювань в умовах внутрішньолабораторної відтворюваності, при цьому кожна серія вимірювань проводилася в умовах повторюваності. Оцінкою мінливості

випадкової складової похибки одиничного вимірювання світлового виходу був показник прецизійності вимірювання – стандартне відхилення результату одиничного вимірювання, виконаного в умовах повторюваності.

Обчислювалися абсолютні та відносні значення показників прецизійності й довірчих меж випадкової похибки для кожної серії вимірювань. Вивчалися залежності показників точності від числа вимірювань у серії від 3 до 9.

Показано, що при збільшенні світлового виходу скінтіляторів від 2800 фот/МеВ для BGO до 35500 фот/МеВ для CsI(Tl), для будь-якого числа вимірювань, показник прецизійності вимірювань зменшується приблизно від 2 до 0,3 %, тобто прецизійність вимірювань підвищується.

Встановлено, що відношення величини межі випадкової похибки до показника прецизійності вимірювань зменшується від 2,5 до 0,8 при зростанні кількості вимірювань від 3 до 9.

На підставі отриманих результатів надано рекомендації щодо кількості вимірювань, необхідних для проведення метрологічних робіт різного рівня.

**Ключові слова:** скінтілятор, технічний світловий вихід, прецизійність, повторюваність, внутрішньолабораторна відтворюваність, межі випадкової похибки.

## Analysis of the effect of experiment statistics on the evaluation of the measuring accuracy of the light output of scintillators

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, Nauky Ave., 60, 61001, Kharkiv, Ukraine  
tarasov@isc.kharkov.com*

### Abstract

The work is devoted to the analysis of the experimental data statistics influence on the evaluation of indexes of the random components (precision and random error confidence limits) of the measurement accuracy of technical light output for different scintillators. Accuracy evaluations were carried out to establish the required number of measurements when performing metrological work at various levels.

The technical light output, in photons/MeV (ph/MeV), of cylindrical scintillators based on NaI(Tl), CsI(Tl), CWO, BGO, *p*-terphenyl, anthracene, stilbene single crystals and PS, was determined.

The accuracy of the scintillators technical light output measurements was estimated on the basis of a series of measurement results in certain conditions. Three series of measurements were performed under conditions of intra-laboratory reproducibility. Each of measurement series was carried out under repeatability conditions. The evaluation of the variability of the random component of a single measurement error was the value of the measurement precision – the standard deviation of a single measurement result performed under repeatability conditions. The absolute and relative values of the precision indexes and confidence limits of the random error for each series of measurements were calculated. The dependence of accuracy on the number of measurements in the series from 3 to 9 was studied.

It has been shown that with an increase in the light output of scintillators from 2800 ph/MeV for BGO to 35500 ph/MeV for CsI(Tl) for any number of measurements, the precision of the scintillators light output measurements decreases from about 2 % to 0.3 %, that is, the precision of the measurement is enhanced.

It has been established that the ratio of the magnitude of the random error limit to the measurement precision index decreases from 2.5 to 0.8 as the number of measurements increases from 3 to 9.

Based on the results obtained in the work, recommendations were given on the number of measurements required for metrological work at various levels.

**Keywords:** scintillator, technical light output, precision, repeatability, intralaboratory reproducibility, random error limits.

## Список литературы

1. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725–1:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення [Чинний від 2006–07–01]. Київ: Держстандарт України, 2006. 31 с.
2. ISO 5725–1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions [1994–12]. Geneva, 2018. 17 p.
3. Володарский Е.Т., Кошечая Л.А. Обоснование целесообразности применения экспериментального подхода к оценке неопределенности количественных результатов испытаний. *Український метрологічний журнал*. 2009. № 3. С. 8–12.
4. Состояние и перспективы развития функциональных материалов для науки и техники. Аспекты сцинтилляционной техники: Гектин А.В. (ред.). Харьков: ИСМА, 2017. 264 с.
5. ДСТУ ІЕС 62372:2009. Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу та власної роздільної здатності (ІЕС 62372:2006, ІДТ) [Чинний від 2012–01–01]. Київ, 2009. С. 31–39.
6. IEC 62372:2006. Nuclear instrumentation – Housed scintillators – Measurement methods of light output and intrinsic resolution [2006–02–23]. Geneva, 2006. 35 p.
7. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725–2:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 2. Основний метод визначення повторюваності і відтворюваності стандартного методу вимірювання (ГОСТ ИСО 5725–2–2003 ІДТ) [Чинний від 2006–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 57 с.
8. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Действует с 2008–10–01]. Киев, 2008. 7 с.

## References

1. State standard of Ukraine ISO 5725–1:2005. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions. Kyiv, 2006. 31 p. (in Ukrainian).
2. ISO 5725–1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions [1994–12]. Geneva, 2018. 17 p.
3. Volodarskiy E.T., Koshevaya L.A. Obosnovanie tselesoobraznosti primeneniya eksperimentalnogo podhoda k otsenke neopredelennosti kolichestvennykh rezultatov ispytaniy [Justification of the expediency of applying an experimental approach to assessing the uncertainty of quantitative test results]. *Ukrainian Metrological Journal*, 2009, no. 3, pp. 8–12 (in Russian).
4. Gektin A.V. (Ed.). *Sostoyanie i perspektivy razvitiya funktsionalnykh materialov dlya nauki i tehniki. Aspekty stsintillyatsionnoy tehniki* [The state and prospects of development of functional materials for science and technology. Aspects of scintillation technology]. Kharkiv, ISMA, 2017. 264 p. (in Russian).
5. State standard of Ukraine IEC 62372:2009. Nuclear instrumentation. Packaged scintillators. Methods of controlling the technical light output and its own resolution (IEC 62372:2006, IDT). Kyiv, 2009, pp. 31–39 (in Ukrainian).
6. IEC 62372:2006. Nuclear instrumentation – Housed scintillators – Measurement methods of light output and intrinsic resolution [2006–02–23]. Geneva, 2006. 35 p.
7. State standard of Ukraine ISO 5725–2:2005. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 2. The main method of determining the repeatability of the reproducibility of the standard measurement method (State standard of Ukraine ISO 5725–2–2003 IDT). Kyiv, 2006. 57 p. (in Ukrainian).
8. State standard of Ukraine 8.207:2008. Direct measurements with multiple observations. Methods of processing the results of observations. The main provisions. Kyiv, 2008. 7 p. (in Russian).