

# Прикладні аспекти: радіаційні, калориметричні та колориметричні вимірювання

УДК 53.088.23:5391074.6:006.915.1SI

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

*Институт сцинтилляционных материалов (ИСМА) НАН Украины, Харьков, Украина*

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СВЕТОВОГО ВЫХОДА СТРИПОВ НА ОСНОВЕ ПЛАСТМАССОВЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

*Проведена оценка точности результатов измерений светового выхода сцинтилляционных стрипов. Использован экспериментальный подход, базирующийся на результатах внутрилабораторных измерений. Проведено сравнение оценок точности и неопределенности измерений. Установлено, что различные подходы дают сравнительно близкие значения оценки точности результатов измерений. Показана возможность использования полученных оценок точности результатов измерений светового выхода для контроля качества стрипов, используемых в международных проектах.*

**Ключевые слова:** сцинтиллятор, стрип, световой выход, контроль качества, оценка показателя точности, неопределенность измерений.

### Введение

Одним из условий европейской интеграции является гармонизация и введение в действие европейских стандартов, в том числе в области метрологии, калибровки средств измерений, аккредитации лабораторий и сертификации продукции.

Институт сцинтилляционных материалов национальной Академии наук Украины (ИСМА НАН Украины) активно участвует в различных международных проектах. В институте на протяжении длительного времени проводятся измерения основных характеристик сцинтилляторов и оценивается качество результатов измерений. Проведена гармонизация ряда международных стандартов, в частности, стандарта по данной тематике [1].

В проектах по физике высоких энергий MINOS (Main Injector Neutrino Oscillation Search) и OPERA (Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus) в качестве чувствительных элементов детекторов широко используются стрипы – длинномерные пластмассовые сцинтилляторы (ПС) в виде полос. Составные детекторы для таких проектов требуют изготовления огромного количества стрипов определенного качества. Это влечет за собой проблему их отбора путем измерения заданных характеристик и оценки точности результатов измерений.

В современной метрологии существуют два основных подхода к оценке точности результатов

измерений: модельный и экспериментальный (статистический).

Среди специалистов нет единого мнения, какой подход следует использовать.

При модельном подходе оценивается неопределенность измерений, как «параметр, характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине» [2].

Процедура оценивания описана в международном руководстве по оценке неопределенности измерений (GUM) [3] и «Руководстве» [4]. Однако модельный подход к оцениванию неопределенности измерений имеет ряд недостатков, что может привести к недоверчивым оценкам расширенной неопределенности [5].

Оценке неопределенности измерения светового выхода стрипов посвящена наша предыдущая публикация [6].

В случае экспериментального подхода целью измерений является получение количественных значений исследуемых свойств объекта [7]. При этом производится оценка измеряемых параметров в заданных условиях с установлением значений показателей точности, в соответствии с ДСТУ ГОСТ ISO 5725 [8].

**Целью статьи** является оценка точности результатов измерений светового выхода стрипов на основе ПС, полученная при экспериментальном подходе оценки точности результатов измерений.

## Изложение основного материала

### 1. Описание объекта измерения

В проекте OPERA применяются стрипы длиной не более чем 8 м. В общей сложности в детекторах эксперимента OPERA в качестве чувствительных элементов использованы 36864 стрипа общим весом около 70 т.

Характерной особенностью каждого элемента сборки – стрипа является то, что он используется совместно со световодом – сместителем спектра. Этим обусловлена особенность способа определения качества стрипов.

На рис. 1 показаны два составных стриповых детектора (Target Tracker) проекта OPERA [9].

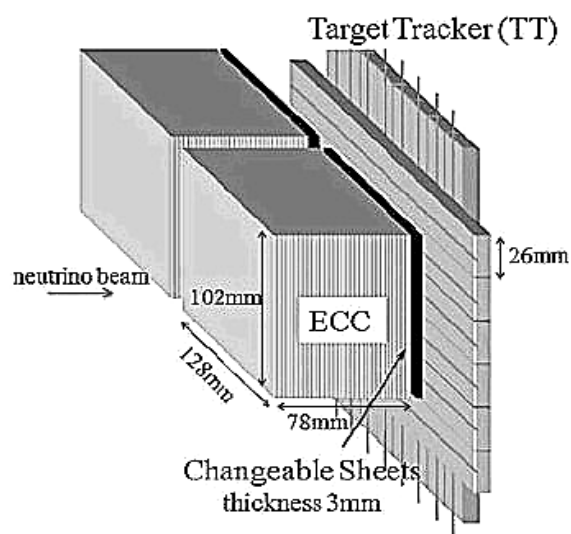


Рис. 1. Базовый элемент мишени детектора OPERA

Стрипы для проекта OPERA, а позже и для других проектов, изготавливались в НТК «Институт монокристаллов».

Для оценки их качества разработана специальная методика [10].

### 2. Параметры объекта измерения

Образцами для измерений служат отрезанные от изготовленных для проекта стрипов «свидетели» длиной 30 см. Сечение стрипа 26×10 мм, волокно – диаметром 1 мм. Рабочий образец стрипа аналогичных размеров также был изготовлен в институте и аттестован по световому выходу международной коллаборацией OPERA. Его световой выход  $C_{\text{phe0}}$  (в количестве фотоэлектронов, эмитируемых из фотокатода фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)) составляет 8 фотоэлектронов при поглощении энергии, равной 1 МэВ (фэ/МэВ) [11], и принимается в относительных измерениях за 100 %. Значение неопределенности измерения светового выхода рабочего образца стрипов приведено в этой же работе и составляет 5,0 %.

### 3. Оценка точности результатов измерений светового выхода стрипов

Терминология и требования к точности методов и результатов измерений регламентированы в комплексе из шести национальных стандартов Украины – ДСТУ ГОСТ ISO 5725 под общим заголовком «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений» [8].

Точность результатов измерений, получаемых на основании проведенного эксперимента, включает в себя две составляющие – правильность и прецизионность (рис. 2) [12].

Прецизионность измерений характеризует рассеяние и определяется статистикой измерений.



Рис. 2. Составляющие точности результатов измерений

Правильность измерений является сложной систематической составляющей точности измерений. В нашем случае, показатель правильности зависит от математического ожидания систематического смещения, приборной составляющей и смещения опорного значения определяемой величины.

В процессе измерения светового выхода большого количества (несколько тысяч) стрипов было установлено, что световой выход большинства стрипов составляет от 60 % до 80 % от светового выхода рабочего образца, или от 4,5 фэ/МэВ до 6,5 фэ/МэВ.

Для определения метрологических возможностей методики и качества измерений светового выхода стрипов были отобраны 3 «свидетеля», имеющие значения светового выхода 60 %, 70 % и 80 %.

Для определения светового выхода отобранных образцов – «свидетелей» проводились многократные измерения ( $n = 9$ ; 3 постановки по 3 измерения) величин токов от рабочего и испытуемого образцов. Для каждой серии измерений рассчитывались средние значения отношений величин токов и значения светового выхода. Процедура измерения и расчета светового выхода подробно описана в работе [6].

Далее, в соответствии с процедурой, изложенной в стандарте [8], проводилась оценка точности результатов измерений светового выхода стрипов. Рассчитывались численные абсолютные ( $\Delta$ , фЭ/МэВ), и относительные ( $\delta$ , %), значения показателя внутрилабораторной прецизионности, в условиях воспроизводимости,  $S_{Rл}(C_{phe})$ . В тех же единицах оценивались значения составляющих показателя правильности: математическое ожидание систематического смещения,  $\hat{D}(C_{phe})$  и приборная составляющая,  $\theta_{instr}(C_{phe})$ . В качестве опорного значения светового выхода  $C_{phe0}$  было взято среднее значение трех серий измерений, систематическое смещение опорного значения,  $\delta(C_{phe0})$ , составляло 5,0%. [11].

Для примера, на рис. 3 приведены относительные значения составляющих правильности измерений, рассчитанные для стрипа № 3.

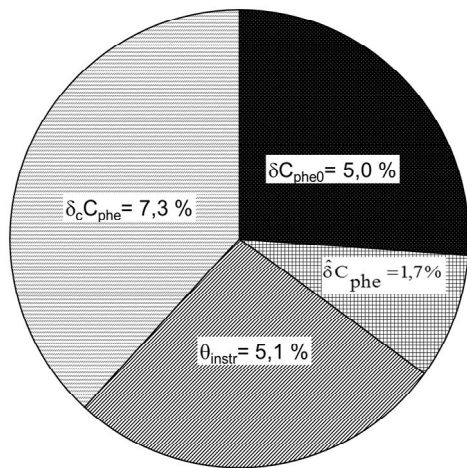


Рис. 3. Составляющие показателя правильности измерений светового выхода стрипа №3

В заключение, оценивались численные значения показателя правильности  $\Delta_c(C_{phe})$  и точности  $\pm \Delta(C_{phe})$  результатов измерений светового выхода стрипов.

Полученные результаты представлены в табл. 1.

Составляющие показателя точности для всех исследуемых стрипов представлены на рис. 4.

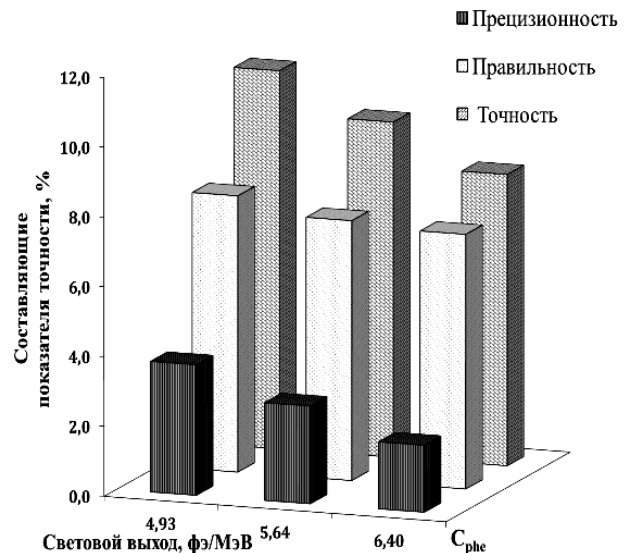


Рис. 4. Составляющие показателя точности для всех исследуемых стрипов

Для сравнения, в этой же таблице представлены значения расширенной неопределенности  $U_p(C_{phe})$  результатов измерения светового выхода стрипов, полученные в работе [6].

Показатели точности и неопределенности для всех исследуемых стрипов представлены на рис. 5.

Таблица 1

Показатели точности и неопределенности результатов измерений светового выхода стрипов на основе ПС

Стрип №	$C_{phe}$ , фЭ/МэВ	Прецизионность, $S_{Rл}(C_{phe})$		Правильность, $\Delta_c(C_{phe})$		Точность, $\pm \Delta(C_{phe})$		Неопределенность, $U_p(C_{phe})$	
		Абс., фЭ/МэВ	Отн., %	Абс., фЭ/МэВ	Отн., %	Абс., фЭ/МэВ	Отн., %	Абс., фЭ/МэВ	Отн., %
1	4,93	0,18	3,74	0,39	7,91	0,54	10,83	0,47	9,53
2	5,64	0,16	2,80	0,44	7,74	0,54	9,60	0,49	8,75
3	6,40	0,12	1,92	0,47	7,29	0,53	8,34	0,52	8,15

### Выводы

Проведена оценка количественных значений показателей точности (прецизионности и правильности) результатов измерений светового выхода стрипов, в соответствии со стандартами [8]. Установлено, что основной вклад в показатель правильности и, соответственно, точности результатов измерений светового выхода стрипов вносят приборная составляющая и систематическое смещение опорного значения рабочего образца. Вклад показателя прецизионности в результирующее значение показателя точности существенно меньше и может регулироваться количеством измерений.

ности и, соответственно, точности результатов измерений светового выхода стрипов вносят приборная составляющая и систематическое смещение опорного значения рабочего образца. Вклад показателя прецизионности в результирующее значение показателя точности существенно меньше и может регулироваться количеством измерений.

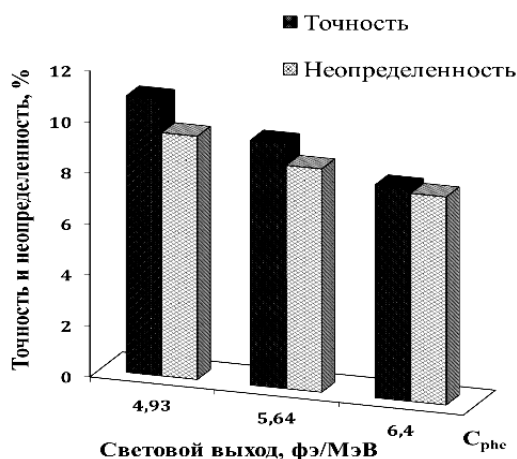


Рис. 5. Точность и неопределенность результатов измерений светового выхода

Сравнение оценок точности результатов измерений на основе экспериментального и модельного подходов показало, что эти подходы дают сравнительно близкие значения оценки точности результатов измерений.

Это делает возможным их гармоничное использование, без взаимного противоречия и исключения одного из них.

### Список литературы

1. ДСТУ ІЕС 62372:2009 Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу та власної роздільної здатності (ІЕС 62372:2006, IDT).
2. Международный словарь основных и общих терминов в метрологии – International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM): Second edition, 1993, – International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. – 40 p.
3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM): First edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.
4. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43-2001, IDT).

5. Захаров И.П. Ревизия GUM: проблемы и пути решения / И.П. Захаров, О.А. Боцюра // Метрологія та вимірювальна техніка: Наукові праці ІХ Міжнародної науково-технічної конференції, 15-17 жовтня 2014 р. Харків. – С. 27-30.

6. Определение относительного светового выхода стрипов на основе пластмассовых сцинтилляторов / Б.В. Гринева, О.В. Зеленская, В.Р. Любинский, Л.И. Мицай, Н.И. Молчанова, В.А. Тарасов // Метрологія та вимірювальна техніка: Наукові праці ІХ Міжнародної науково-технічної конференції, 15-17 жовтня 2014 р. Харків. – С. 249-253.

7. Володарский Е.Т. Обоснование целесообразности применения экспериментального подхода к оценке неопределенности количественных результатов лабораторных испытаний / Е.Т. Володарский, Л.А. Кошечкина // Український метрологічний журнал. – 2009. – № 3. – С. 8-12.

8. ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1-2-3-4-5-6:2005 Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання.

9. М. Громов Эксперимент OPERA. - Ядерная физика в интернете / М. Громов [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/students/OPERA/index.html>.

10. Технологическая инструкция ТИ № 03.00.01-2002 «Измерение токовым методом светового выхода полистирольных стрипов».

11. Extruded scintillator for the Calorimetry applications (Экструдированный сцинтиллятор для использования в калориметре) / А. Dyshkant, V. Rykalin, A. Pladmau, D. Beznosko // Fermilab-Conf-06-281. – P. 1-8.

12. Контроль и обеспечение качества результатов измерений испытательной лаборатории на примере измерения светового выхода сцинтилляторов / Б.В. Гринева, Н.Р. Гурджян, О.В. Зеленская, В.Р. Любинский, Н.И. Молчанова, В.А. Тарасов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – Вип. 3 (119). – С. 90-95.

Поступила в редколлегию 12.14.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ОЦІНКА ТОЧНОСТІ РЕЗУЛЬТІВ ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОВОГО ВИХОДУ СТРИПІВ НА ОСНОВІ ПЛАСТМАСОВИХ СЦИНТИЛЯТОРІВ

Б.В. Грінєв, Н.Р. Гурджян, О.В. Зелєнська, В.Р. Любінський, Л.І. Міцай, Н.І. Молчанова, В.О. Тарасов

Проведено оцінку точності результатів вимірювання світлового виходу сцинтиляційних стрипів. Використано експериментальний підхід, що базується на результатах внутрішньолабораторних досліджень. Порівняно оцінки точності та невизначеності результатів вимірювання. Отримані оцінки точності вимірювання світлового виходу можуть бути застосовані для контролю якості стрипів, які використовуються у міжнародних проектах.

**Ключові слова:** сцинтилятор, стріп, світловий вихід, контроль якості, оцінка показника точності, невизначеність вимірювання.

### THE ESTIMATION OF MEASUREMENTS ACCURACY FOR PLASTIC SCINTILLATION STRIPS LIGHT OUTPUT

B.V. Grinev, N.R. Gurdzhjan, O.V. Zelenskaya, V.R. Ljubinsky, L.I. Mitsaj, N.I. Molchanova, V.A. Tarasov

The estimation of light output test accuracy for scintillation strips was carried out. Experimental approach, based on intralaboratory test results, was used. The comparison between estimations of accuracy factor and uncertainty of measurements was made. It was set, that different approaches lead to comparatively near values of test accuracy results. The estimations of light output measurements accuracy can be used for strips quality inspection.

**Keywords:** scintillator, strip, light output, quality control, evaluation indicator of accuracy, measurement uncertainty.