

ЭКСТРУЗИОННЫЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СТРИПЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА OPERA

**Б.В. Гринев, С.В. Мельничук, В.Г. Сенчишин, А.Ф. Ададунов,
В.Н. Лебедев, Н.П. Хлапова**

Институт сцинтилляционных материалов НАНУ, г. Харьков, Украина

Представлены основные результаты математического моделирования светособирания в системе «стрип – волокно». Показано, что объемная длина затухания (BAL) существенно влияет на световой выход при значениях 20...150 см. На основе анализа существующих способов получения сцинтилляционных стрипов предложена концепция бесшнековой экструзии из специально приготовленного сцинтилляционного полимера. Приведены технологическая схема и описание основных стадий процесса получения. Изготовлено и протестировано более 3000 сцинтилляторов длиной 7 м с соэкструзионным светоотражающим покрытием. Представлены результаты измерения основных функциональных параметров пластмассовых сцинтилляторов (ПС). На лучших образцах стрипов достигнута высокая прозрачность (BAL = 150 см) и отражающая способность покрытия ($R = 95...96\%$). Световой выход новых сцинтилляционных стрипов достигает 9 фотоэлектронов, что на 40...50 % выше лучших мировых аналогов.

Для экспериментов ядерной физики и физики высоких энергий в качестве чувствительных элементов детекторов широко используются ПС. В последнее время при выборе конструкции детекторов широкое применение находят длинномерные ПС в виде полос (стрипов) длиной до 7 м. Например, в детекторах экспериментов MINOS, D0, OPERA в качестве чувствительных элементов используются стрипы прямоугольного сечения со светоотражающим покрытием [1, 2]. Преимущества использования ПС хорошо изучены и описаны [1]. Основным недостатком, ограничивающим применение в крупногабаритных детекторах, является высокая себестоимость получения сцинтилляционных стрипов. Исходя из этого, в середине 90-х годов большое внимание в исследованиях уделялось разработке способа получения дешевых сцинтилляционных стрипов с различной геометрией поперечного сечения. Результатом проведенных исследований стала технология экструзии, где в качестве исходного сырья используются коммерчески доступные полимерные гранулы. Применение такой технологии позволяет получать профили практически любого поперечного сечения теоретически неограниченной длины, она высокопродуктивна и технологична. Это позволило снизить стоимость до 10...12 \$/кг, из которых 5...6 \$/кг – затраты на сырье (по сравнению с 40...100 \$/кг полимеризационных ПС). Основным недостатком такой технологии является низкая объемная длина затухания (BAL) – 18...20 см полученных сцинтилляторов и соответственно световой выход – 5...5,5 фотоэлектронов. Однако считалось, что такой прозрачности достаточно при применении для светосбора спектросмещающего волокна, расположенного в канавке сцинтилляционного стрипа, и увеличение прозрачности не повлечет рост светового выхода [1-4].

Для того, чтобы оценить влияние прозрачности на световой выход сцинтилляционных стрипов была создана модель, описывающая светособирание с ис-

пользованием метода Монте-Карло. Также разработана компьютерная программа для проведения численных расчетов. Мы исследовали влияние BAL, коэффициента отражения R , конструктивных особенностей стрипа на световой выход. Расчеты производились для стрипов детектора OPERA, поперечного сечения 26,3×10,6 мм [1]. На рис. 1 приведены зависимости светосбора от величины объемной прозрачности при различных коэффициентах отражения.

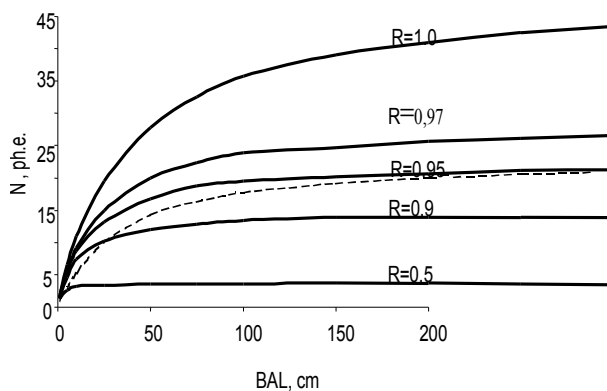


Рис. 1. Расчет методом Монте Карло зависимости световых выходов стрипа размером 10×26×500 мм от величины объемной прозрачности для различных значений коэффициента диффузного отражения R . Пунктирная кривая соответствует идеальной зеркально отражающей (френелевской) поверхности

Как видно из рисунка, максимальный световой выход в системе стрип – спектросмещающее волокно достигается при диффузном типе отражения поверхностей. Причем, если для малых значений $R = 0,5...0,85$ значения $BAL=30...50$ см достаточно для максимального светосбора, то для R более 0,9 BAL оказывает существенное влияние на величину светового выхода в диапазоне 50...150 см. Исходя

из полученных результатов был сделан вывод, что повышение светового выхода сцинтилляционных стрипов возможно вследствие увеличения прозрачности до 150 см и обеспечения высокого коэффициента отражения поверхности 0,9...1,0. Из этих двух условий второе не вызывает труда – известно множество отражателей с такими характеристиками (TYVEK, майлар и т.д.). Но способа получить сцинтилляционный стрип с прозрачностью более 50 см неизвестно [4, 5, 6, 7].

Приняв во внимание результаты расчетов и анализ существующих способов получения сцинтилляционных стрипов (блочная полимеризация с механической обработкой и экструзия из гранул MINOS, Pol.Hi.Tech. и Chemo Technique), была сформулирована концепция бесшнековой экструзии из специально приготовленного блочного полистирола, которая совмещает в себе технологичность и производительность экструзии с полимеризационным качеством полученного сцинтиллятора.

Особенностью предложенного способа является использование в качестве сырья расплава полистирола. Технология обладает отличиями от промышленной технологии: проведением всего процесса получения без доступа кислорода воздуха, отсутствием шнека в аппаратном оформлении, а значит – термоокисления и механодеструкции полимера при переработке. Принципиальная схема получения сцинтилляционных стрипов со светоотражающим покрытием и канавкой под световод показана на рис. 2.

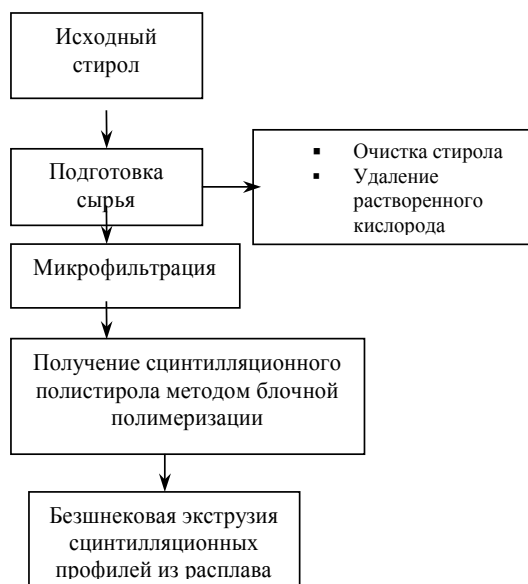


Рис. 2. Схема получения сцинтилляционных стрипов методом бесшнековой экструзии

На изготовленной пилотной установке было получено более 3000 сцинтилляционных стрипов для ТТ детектора OPERA длиной 7 м. Были экспериментально определены оптимальные технологические режимы на каждом этапе получения и проведена

оценка их влияния на функциональные характеристики сцинтиллятора.

На полученных образцах стрипов измерялись BAL, коэффициент отражения покрытия, световой выход, точность получения, которые сравнивались с показателями стрипов мировых лидеров MINOS, Pol.Hi.Tech. и Chemo Technique. Объемная длина ослабления (BAL) образцов измерялась по лазерной методике с помощью лазера на парах кадмия. Длина волны лазера 441 нм, что согласовывается с максимумом высвечивания вторичной добавки сцинтиллятора. Коэффициент отражения покрытия измерялся на приборе ФМШ-56. Для измерения светового выхода в канавку стрипа клеивалось спектросмещающее волокно Kuraray Y11. В конце световода располагался фотоэлектронный умножитель Hamamatsu R1307c в оптическом контакте со световодом. Использовался радионуклидный бета-источник Sr-90, который имел коллиматор с выходным отверстием 6 мм.

Результаты измерения BAL сцинтилляционных стрипов, полученных по новой технологии ИСМА, приведены на рис. 3. В табл. 1 показано сравнение с зарубежными аналогами.

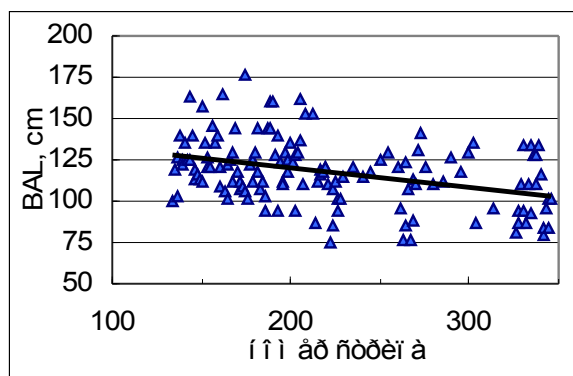


Рис. 3. Объемная длина затухания стрипов, полученных методом бесшнековой экструзии

Таблица 1
Сравнительные данные по прозрачности стрипов различных производителей

Изготовитель	Метод получения	BAL, см
MINOS	Экструзия из гранул через шнек	20...24
Pol.Hi.Tech	Экструзия из гранул через шнек	16...18
Chemo Technique	Экструзия из гранул через шнек	16...18
ИСМА	Блочная полимеризация	250...300
ИСМА	Метод бесшнековой	100...150

	экструзии	
--	-----------	--

Из этой таблицы видно, что образцы, полученные по новой технологии, имеют прозрачность на порядок большую, чем образцы, полученные по стандартной экструзионной технологии, и близкую к полимеризационным образцам.

Результаты измерения светового выхода сцинтилляционных стрипов, полученных по новой технологии ИСМА, приведены на рис. 4. В табл. 2 показано сравнение с зарубежными аналогами. За 100% принято значение светового выхода стрипа MINOS.

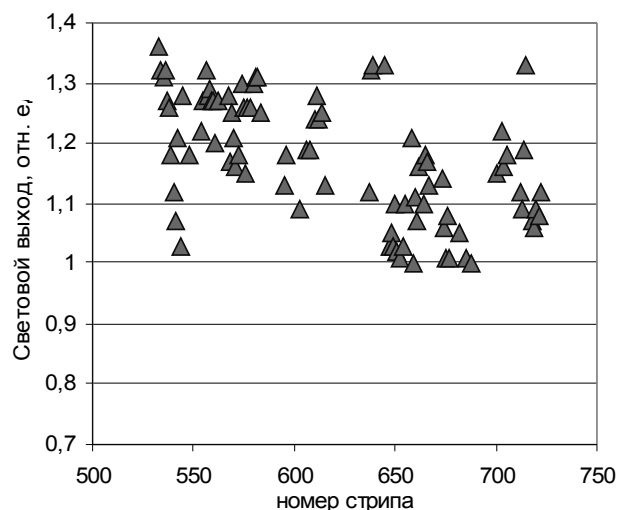


Рис. 4. Световой выход сцинтилляционных стрипов, полученных методом бесшнековой экструзии

Таблица 2
Сравнительные данные по световому выходу стрипов различных производителей

Изготовитель	Метод получения	Покрытие/коэффициент отражения	Световой выход, отн. MINOS
MINOS	Экструзия из гранул через шнек	Созэкструзионное TiO ₂ / 95...96%	1.00
Pol.Hi.Tech	Экструзия из гранул через шнек	Бумага TYVEK* / 97...98%	0.5...0.8
Chemo Technique	Экструзия из гранул через шнек	Созэкструзионное TiO ₂ / 95...96%	0.75...0.85
ИСМА	Блочная полимеризация	Бумага TYVEK* / 97...98%	1.2...1.3
ИСМА	Бесшнековая экструзия	Созэкструзионное TiO ₂ /	1,3...1,5

* Pol.Hi.Tech не производит стрипов с покрытием; в качестве отражателя использовалась бумага TYVEK.

Как видно из результатов, образцы, полученные по новой технологии, имеют световой выход на 30...50% выше, чем у известных мировых аналогов. Данное преимущество обеспечивается прежде всего высокой прозрачностью сцинтиллятора, так как коэффициент отражения покрытий примерно равен для всех созэкструзионных стрипов. Тем не менее полимеризационные образцы ИСМА при большей прозрачности и коэффициенте отражения покрытия уступают экструзионным ИСМА. Это объясняется тем, что в первом случае отражатель не находится в оптическом контакте со сцинтиллятором, что ухудшает его отражающие свойства.

Сцинтилляционные стрипы ИСМА, полученные по новому методу, были протестированы в IN2P3-CNRS/Université Louis Pasteur (Strasbourg, France).

ВЫВОДЫ

1. Численными методами моделирования проведена оценка влияния прозрачности сцинтиллятора и коэффициента отражения покрытия на световой выход сцинтилляционных стрипов с волоконным светосбором. Показано, что для высоких коэффициентов отражения покрытия более 90% прозрачность оказывает значительное влияние на световой выход в диапазоне BAL 20...150 см.
2. Был разработан и внедрен новый метод получения сцинтилляционных профилей. Исследованы сцинтилляционные характеристики и показано, что разработан метод получения длинномерных сцинтилляторов с BAL до 150 см, и коэффициентом отражения покрытия 95...96%.
3. Из результатов исследования функциональных параметров полученных образцов можно сделать вывод, что разработан материал и метод его получения, получены стрипы для детектора OPERA со световым выходом на 40...50% выше, чем у мировых аналогов.
4. Разработанный способ получения сцинтилляционных стрипов сохраняет производительность и технологичность промышленной экструзионной технологии, что обеспечивает низкую себестоимость ПС ~10 \$/кг. При этом качество нового экструзионного сцинтиллятора близко к ПС, полученного методом блочной полимеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. The MINOS Detectors, Technical Design Report, NuMI-L-337 (1998).
2. OPERA proposal, «An appearance experiment to search for $\nu\mu \leftrightarrow \nu\tau$ oscillations in the CNGS beam». CERN/SPSC 2000-028, SPSC/P318, LNGS P25/2000, 2000, July 10.
3. J.B. Birks. The theory and Practice of Scintillation Counting. Pergamon Press, New York, NY, 1964.
4. В.Г. Сенчишин, А.Ф. Ададунов, С.В. Мельничук. Исследование светособирания в сцинтилляционных

стрипах со спектросмещающим световодом // *Функциональные материалы*. 2004, т. 11, № 2 апрель-июнь, с. 305–311.

ЕКСТРУЗІЙНІ СЦИНТИЛЯЦІЙНІ СТРИПИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТА OPERA

В.В. Гриньов, С.В. Мельничук, В.Г. Сенчишин, А.Ф. Ададуров, В.Н. Лебедев, Н.П. Хлапова

Наведено основні результати математичного моделювання світлозбирання в системі "стрип – волокно". Показано, що об'ємна довжина затухання (BAL) суттєво впливає на світловий вихід при значеннях 20...150 см. На базі аналізу існуючих методів отримання сцинтиляційних стрипів запропонована концепція бесшнекової екструзії із спеціально приготовленого сцинтиляційного полімеру. Наведено технологічну схему та описання основних стадій процесу отримання. Отримано та протестовано понад 3000 сцинтиляторів довжиною 7 м з коекструзійним світловідбиваючим покриттям. Представлені результати вимірювання головних функціональних параметрів ПС (прозорість та світловий вихід). На кращих зразках стрипів досягнута висока оптична прозорість (BAL = 150 см) та відбиваюча здатність покриття (R = 95...96 %). Світловий вихід нових сцинтиляційних стрипів досягає 9 фотоелектронів, що на 40...50 % вище кращих світових аналогів.

NEW EXTRUDED PLASTIC SCINTILLATOR

B.V. Grynyov, S.V. Melnychuk, V.G. Senchyshyn, A.F. Adadurov, V.N. Lebedev, N.P. Khlapova

In the article first we introduce main results of computer light collection simulation in "strip – WLS fiber" system. It was shown that Bulk Attenuation Length (BAL) significantly influence light yield in the range of 20...150 cm. Having studied existing methods of scintillating strip production – extrusion method and bulk polymerization – the concept of new technology was formulated. The new method flowchart and description of basic stages of production are introduced. Using pilot set more than 3000 scintillating strips with co-extruded cover were obtained and tested. The measuring of strip functional characteristics (BAL and light yield) are presented. For best strip samples there were achieved high transparency (BAL = 150 cm) and cover reflectivity (R = 95...96 %). Light yield of the new scintillating strips is up to 9 photoelectrons, that is 40...50 % more than for best world analogues.