

УДК 53.082.78;669.018

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ<sup>1</sup>

В. В. Дмитренко<sup>2</sup>, П. В. Ньютн<sup>2</sup>, К. Ф. Власик<sup>2</sup>, В. М. Грачев<sup>2</sup>,  
С. С. Грабчиков<sup>3</sup>, С. С. Муравьев-Смирнов<sup>2</sup>, А. С. Новиков<sup>2</sup>,  
Д. В. Петренко<sup>2</sup>, С. Е. Улин<sup>2</sup>, З. М. Утешев<sup>2</sup>, И. В. Чернышева<sup>2</sup>,  
А. Е. Шустов<sup>2</sup>

*Защита научной аппаратуры, работающей на космических аппаратах, от воздействия постоянного магнитного поля как естественного, так и искусственного происхождения, является актуальной задачей. Многослойные пленочные электромагнитные экраны, получаемые методом электролитического осаждения, показали высокую эффективность экранирования в процессе лабораторных испытаний. Для проверки перспективности их использования в условиях реального космического полета был разработан и создан сцинтилляционный телескоп “Наномаг”. Испытания его в лабораторных условиях, продемонстрировавшие его работоспособность при напряженности магнитного поля до 4 мТл, приведены в данной работе.*

**Ключевые слова:** многослойные экраны, постоянные магнитные поля, телескоп сцинтилляционных счетчиков.

*Введение.* В космофизической аппаратуре широко используются элементы, на которые постоянное магнитное поле оказывает отрицательное воздействие, вплоть до полной потери их работоспособности. Одним из примеров такого элемента является фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Ситуация усугубляется ещё и тем, что во многих

<sup>1</sup> Печатается по представлению лаборатории ЛЭЧ и дирекции ФИАН.

<sup>2</sup> Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 115409 Россия, Москва, Каширское ш., 31; e-mail: VVDmitrenko@gmail.com.

<sup>3</sup> НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, 220072 Республика Беларусь, Минск, ул. П. Бровки, 19.

приборах, устанавливаемых на космические аппараты, используются источники сильного магнитного поля: постоянные или сверхпроводящие магниты. В связи с этим защита ФЭУ и других чувствительных к отрицательному воздействию постоянного магнитного поля элементов является весьма актуальной задачей.

Уже давно было показано, что коэффициент экранирования у многослойных экранов значительно выше, чем у монолитных экранов при том же количестве магнитомягкого материала. Однако изготовить многослойный экран из фольги для экранирования элемента сложной конфигурации не всегда возможно. Использование технологии электролитического осаждения существенно упрощает создание таких экранов и позволяет добиться высокой степени экранирования от постоянных магнитных полей и электромагнитного излучения [1, 2].

При этом появляется возможность экранировать элементы сложной формы или небольших размеров. При количестве слоев магнитомягкого материала 45 и толщине каждого слоя 10 мкм, разделенных медными слоями в 5 мкм каждый, коэффициент экранирования составляет более 100 [3].

Применение многослойных пленочных экранов (МПЭ), полученных методом электролитического осаждения, для защиты ФЭУ-85 от постоянных магнитных полей показало, что падение амплитуды выходного сигнала защищенного ФЭУ в поле напряженностью в 2 мТл не превышает 10%, а амплитудное разрешение практически не изменяется в полях до 4 мТл. В то же время незащищенный ФЭУ практически перестает работать при напряженности магнитного поля в 2 мТл [4].

Для окончательного вывода о целесообразности использования МПЭ в космической аппаратуре желательно проведение натуральных испытаний в реальном космическом полете. В данной работе дано описание и результаты лабораторных испытаний телескопа заряженных частиц, в котором для сравнения использованы ФЭУ-85, защищенные МПЭ и без магнитных экранов.

*Телескоп “Наномаг”.* Для оценки перспективности использования МПЭ в космической аппаратуре в рамках совместно выполняемой научно-технической программы Союзного государства “Разработка нанотехнологий создания материалов, устройств и систем космической техники и их адаптация к другим отраслям техники и массовому производству” (Шифр: “Нанотехнология-СТ”) был разработан и создан прототип сцинтилляционной детекторной системы “Наномаг”, предназначенной для работы в космосе с использованием комбинации ФЭУ с защитными экранами от магнитных полей и без них. С прибором были проведены испытания в лабораторных условиях.

Прибор представляет собой телескоп из двух сцинтилляционных счетчиков. Общий сцинтиллятор каждого счётчика просматривается четырьмя ФЭУ-85, два из которых защищены магнитными экранами, другие два не защищены (рис. 1). При прохождении заряженной частицы через телескоп, сигналы с пары защищенных ФЭУ-85 каждого счетчика поступают на свои отдельные схемы совпадений. Выходные сигналы (срабатывание схемы совпадений) этих схем далее поступают на схему двойных совпадений, которая и выдает сигнал, свидетельствующий о регистрации заряженной частицы, прошедшей через телескоп в пределах его апертуры каналом, работающим на защищенных экранами ФЭУ. Аналогичным образом работает информационный канал, использующий ФЭУ без магнитных экранов. Темп счета с этих каналов позволяет оценить степень защищенности от воздействия постоянного магнитного поля информационного канала, использующего ФЭУ с МПЭ, по сравнению с каналом, в котором ФЭУ не имеют экранов.

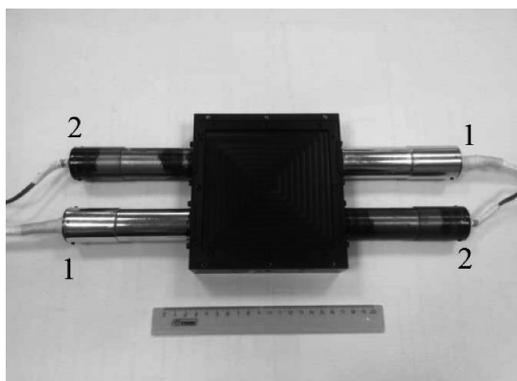


Рис. 1: Сцинтилляционный детектор системы “Наномаг”. 1 – ФЭУ-85 с МПЭ, 2 – ФЭУ-85 без экрана.

В качестве электромагнитных экранов ФЭУ-85 использовался экран МПЭ, содержащий 45 слоев Ni-Fe (20–22 ат. % Fe, остальное – никель) толщиной 10 мкм в каждом слое, чередующихся с медными слоями толщиной в 5 мкм каждый, который продемонстрировал наилучшую эффективность экранирования постоянного магнитного поля во время проведения предварительных испытаний [3].

В состав прототипа научной аппаратуры (НА) “Наномаг” входят:

- сцинтилляционная детекторная система (СДС);
- электронная система регистрации событий (ЭСРС);
- система электропитания (СЭП);
- система измерения магнитного поля (СИМП);

– блок команд (БК).

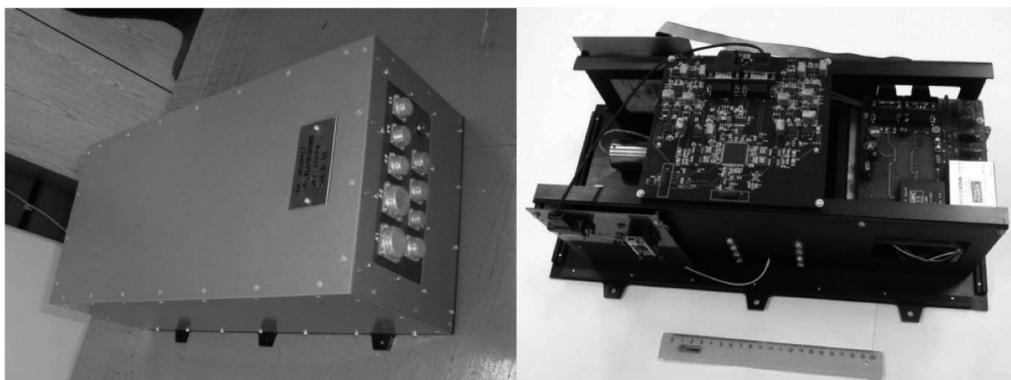


Рис. 2: Общий вид и блокочная компоновка макета сцинтилляционной детекторной системы со снятым кожухом.

Телескоп “Наномаг” предназначен для регистрации заряженных частиц космического излучения в околоземном космическом пространстве, включая отроги радиационного пояса Земли, с целью изучения корреляций между всплесками заряженных частиц, высыпаящихся из радиационного пояса Земли и землетрясениями.

Конструктивно прототип сцинтилляционной детекторной системы выполнен в виде моноблока, представленного на рис. 2. Габаритные размеры детекторной системы определяются компоновкой его блоков и элементов и составляют величину  $470 \times 258 \times 164$  мм<sup>3</sup>. Апертура телескопа “Наномаг” составляет 120 градусов. Масса НА 8.5 кг.

Во время наземных испытаний контролировались показания темпа счета и импульсных спектров для 2-х информационных каналов телескопа НА “Наномаг”, использующих сигналы с защищенных и не защищенных магнитными экранами ФЭУ, а также величина индукции магнитного поля, которые выводились на экран монитора с помощью программы “Nanomag.exe”, входящей в состав контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) (рис. 3). Магнитное поле создавалось с помощью двух постоянных магнитов. Изменение напряженности магнитного поля достигалось за счет изменения расстояния между магнитами. Максимально достижимая напряженность магнитного поля в районе ФЭУ составляла 4.5 мТл.

На рис. 4 приведены амплитудные распределения с ФЭУ, защищенных МПЭ, и без магнитной защиты. Уменьшение амплитуды выходного сигнала ФЭУ, защищенного экраном, составляет около 8% при напряженности магнитного поля 1.28 мТл. В

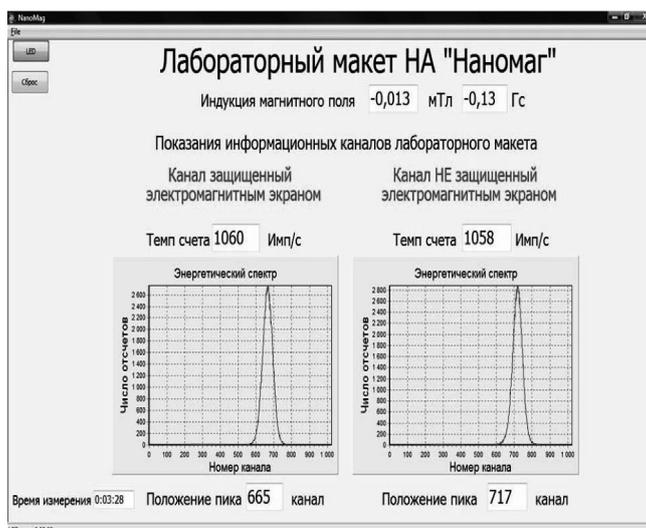


Рис. 3: Рабочее окно программы "Наномэг".

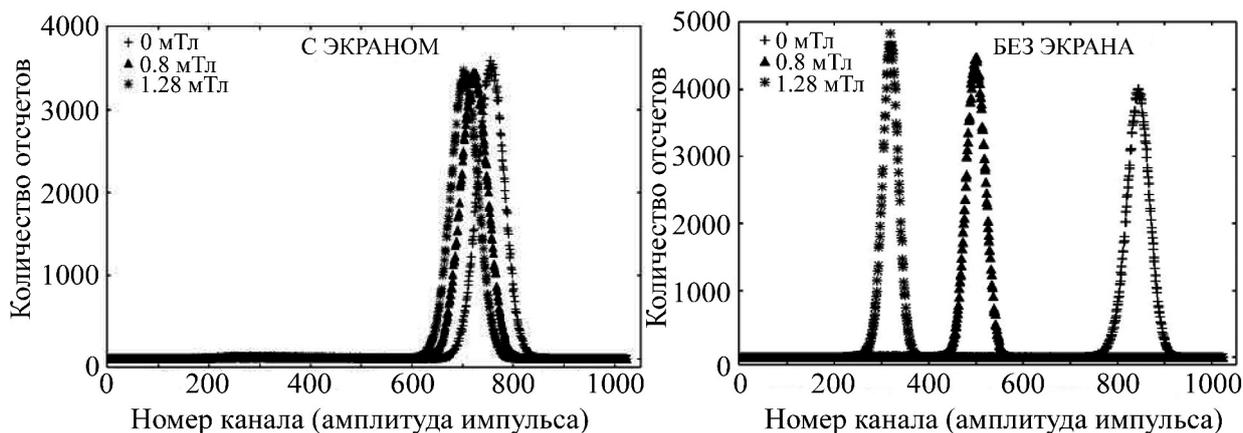


Рис. 4: Амплитудные распределения с ФЭУ, защищенных МПЭ и без магнитной защиты.

то же время изменение выходного сигнала с незаэкранированного ФЭУ при той же напряженности составило более 60%.

Влияние постоянного магнитного поля на амплитуду выходного сигнала отдельного ФЭУ с экраном и без него приведено на рис. 5. Из этих данных видно, что при приведенном на рисунке пороге срабатывания схемы совпадений на сигнал, поступающий на неё с ФЭУ, она не срабатывает при напряженностях выше 1.5 мТл. В результате этого информационный канал, защищенный МПЭ, сохраняет работоспособность в магнитных полях с индукцией до  $\pm 4$  мТл ( $\pm 40$  Гс) практически без ухудшения своих характери-

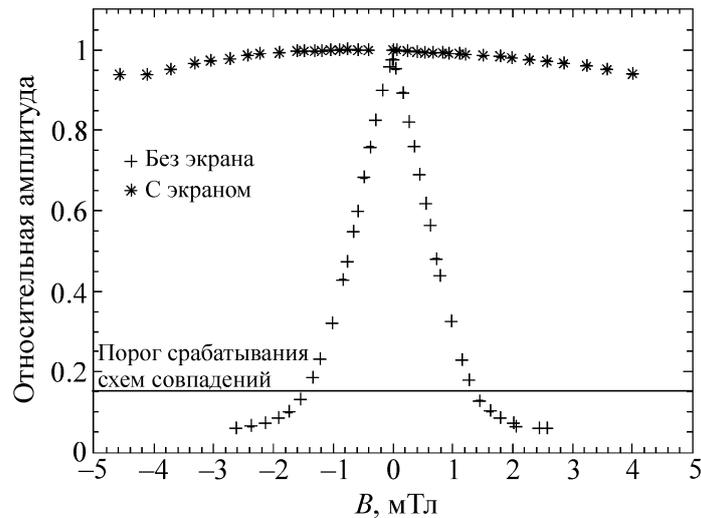


Рис. 5: Зависимость относительной амплитуды импульса ФЭУ от индукции магнитного поля для защищенного (вверху) и не защищенного (внизу) информационных каналов НА “Наномаг”.

стик, в то время как информационный канал, не защищенный магнитными экранами, перестает работать в магнитных полях с индукцией выше  $\pm 1.5$  мТл ( $\pm 15$  Гс).

*Выводы.* Результаты проведенных испытаний показали, что использование многослойных пленочных экранов является перспективным в аппаратуре, предназначенной для работы в условиях присутствия постоянного магнитного поля.

*Благодарности.* Выражаем благодарность профессору А. М. Гальперу за постоянный интерес к работе и полезные замечания.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] С. С. Грабчиков, Л. В. Сосновская, Т. Е. Шарара, Многослойный электромагнитный экран. Патент РБ № 11843 от 2009.01.28.
- [2] В. В. Дмитренко, А. Г. Батищев, С. С. Грабчиков и др., Многослойный экран для защиты фотоэлектронных умножителей и способ его нанесения. Патент на изобретение, РФ, № 2474890 от 10.02.2013 г.
- [3] В. В. Дмитренко, В. П. Ньюнт, К. Ф. Власик и др., Краткие сообщения по физике ФИАН **42**(2), 20 (2015).
- [4] V. V. Dmitrenko, Dabid Besson, Phywo Wai Nyunt, et al., Rev. Sci. Instrum. **86**, 013903 (2015), doi: 10.1063/1.4904873.

Поступила в редакцию 6 апреля 2015 г.