

АДАПТАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SONIX+ ДЛЯ РАБОТЫ С DAQ-КОНТРОЛЛЕРАМИ DeLiDAQ-2 И ДИДЖИТАЙЗЕРОМ N6730 ФИРМЫ CAEN

*А. С. Кирилов, С. М. Мурашкевич*¹

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

До применения контроллеров DeLiDAQ-2 и диджитайзера N6730 на измерительных установках реактора ИБР-2 основной формой выходных данных DAQ были спектральные распределения интенсивностей в форме матриц, что, в частности, использовалось в программном комплексе Sonix+ для оперативной визуализации. В связи с тем, что в рассматриваемых контроллерах выходные данные доступны только в виде списка событий, построение спектральных распределений (гистограммирование) должно быть выполнено программно. Работа посвящена адаптации комплекса для использования указанных контроллеров, алгоритмам гистограммирования данных для них, а также обсуждению результатов испытаний, проведенных на установке GRAINS (10-й пучок ИБР-2) в октябре 2021 г.

Before the use of DeLiDAQ-2 controllers and Digitizer N6730 at the IBR-2 reactor instruments, the main form of DAQ output data was spectral distributions of intensities in matrix form, which, in particular, was used in the Sonix+ software package for online visualization. Due to the fact that output data from considered controllers are available only in the events list form, the construction of spectral distributions (histogramming) must be done by programs. The work is devoted to adaptation of the complex for use of the controllers specified, to algorithms of data histogramming for them, as well as to consideration of tests results carried out at the GRAINS instrument (beam 10 of the IBR-2) in October 2021.

PACS: 07.05.Hd

ВВЕДЕНИЕ

Для сбора данных с двухкоординатных позиционно-чувствительных детекторов (ПЧД) с линией задержки на экспериментальных установках реактора ИБР-2 разработаны и используются контроллеры DeLiDAQ-1 [1] и DeLiDAQ-2 [2].

Контроллер DeLiDAQ-1 исполнен в виде платы с PCI-разъемом и позволяет получать данные как в виде спектральных распределений интенсивностей (математически трехмерных массивов, далее — гистограмм), так и в виде списка событий

¹E-mail: svetlana@nf.jinr.ru

(так называемых файлов list mode). Построение гистограмм из списка событий (далее — гистограммирование) производится в контроллере аппаратно. Поскольку разъем PCI устарел и отсутствует в современных компьютерах, на смену ему был разработан новый контроллер DeLiDAQ-2 с интерфейсом USB-2 (USB-3). К сожалению, аппаратное гистограммирование в этом контроллере было реализовано с ошибками, которые не удалось устранить в процессе доводки, поэтому выходные данные доступны только в виде списка событий. В последние годы для сбора данных с ПЧД было решено использовать диджитайзер N6730 с прошивкой DPP-PSD фирмы CAEN [3].

В результате сравнительных исследований этих трех контроллеров, проведенных в ЛНФ ОИЯИ, определены достоинства и недостатки каждого [4]. Так, для DeLiDAQ-1 при высоких загрузках выявлено снижение счета в хвостовой части времяпролетного окна без снижения интегрального счета. DeLiDAQ-2 имеет сравнительно большую производительность при высоких загрузках, однако при низкой загрузке пространственное разрешение оказывается недостаточным. Система на базе диджитайзера, имея пропускную способность и эффективность счета ниже, чем у DeLiDAQ-1 и DeLiDAQ-2, в свою очередь, имеет наилучшее пространственное разрешение. В результате исследования DeLiDAQ-2 и диджитайзер были выбраны для дальнейшего использования на экспериментальных установках реактора.

На практике основной формой представления данных, измеренных на ИБР-2 в режиме time-of-flight (TOF), являются гистограммы в TOF-виде, т.е. в случае двумерных ПЧД — трехмерные массивы $T(x, y, t)$. При этом на некоторых экспериментальных установках (ФДВР, ФСД и ФСС) режим списка является основным, но для оперативного контроля процесса измерения также требуется построение гистограмм. При отсутствии аппаратного гистограммирования проблема должна решаться программно.

СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ НАКОПЛЕНИЕМ И ОПЕРАТИВНОЙ (ONLINE) ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ В SONIX+

Основным программным обеспечением на измерительных установках ИБР-2 является комплекс Sonix+ [5] с модульной иерархической и конфигурируемой структурой. На рис. 1 приведена часть структуры комплекса, относящаяся к накоплению и визуализации данных.

На нижнем уровне комплекса находятся так называемые драйверы — модули непосредственного управления контроллерами. Для каждого из контроллеров DAQ составлен свой драйвер. Запись данных в файл производится в формате событий в процессе набора по мере накопления. В контроллере DeLiDAQ-2 считываемые данные частично аппаратно отобраны и полностью упорядочены по времени, поэтому гистограммирование возможно выполнять на лету в драйвере контроллера. Для диджитайзера это возможно с некоторыми ограничениями, рассмотренными ниже.

На более высоком уровне иерархии находятся серверы экспозиции S_exro и визуализации $S_spectra$. Сервер S_exro управляет всеми DAQ-устройствами как единым целым. В режиме ручного управления сервер получает команды из специализированного виджета $Exro_widget$, в автоматическом режиме из модуля «Интерпретатор

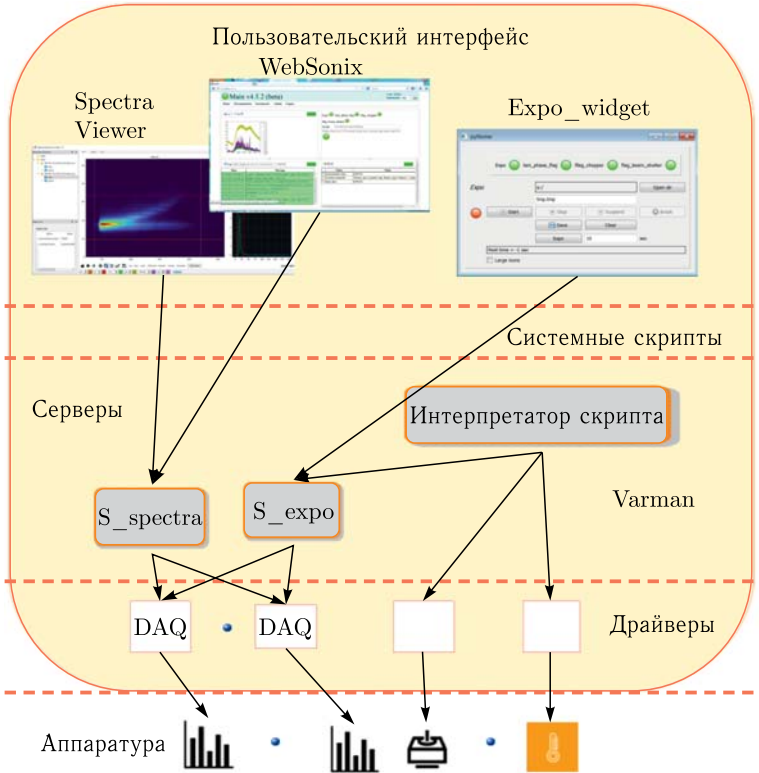


Рис. 1. Схема организации накопления и визуализации данных в Sonix+

скрипта», согласно программе (скрипта) на языке Python, описывающей последовательность измерения. В этом же скрипте в случае необходимости может выполняться и программное гистограммирование.

Сервер S_spectra обслуживает оперативное чтение данных от драйверов по запросам программы визуализации SpectraViewer [6] или сайта удаленного слежения за экспериментом WebSonix [7]. Совместная работа серверов синхронизирована.

Модули нижнего уровня, драйверы и серверы написаны на языке C++, графический пользовательский интерфейс (GUI) — на языке Python с помощью библиотеки PyQt5 [8].

Несмотря на то, что форматы и составы данных DeLiDAQ-2 и диджитайзера существенно различаются, алгоритмы собственно гистограммирования во многом похожи.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМАТА ДАННЫХ DeLiDAQ-2

Для DeLiDAQ-2 программа управления перед началом экспозиции задает контроллеру задержку временного окна относительно старта реактора, число временных каналов и ширину временного канала, на основе которых формируется временное

окно. В процессе экспозиции блок передает в компьютер отсортированные по времени данные, зарегистрированные в заданном временном окне. Это 32-разрядные слова, имеющие один из признаков: конец временного окна, приращение счетчика временных каналов (+1), старт детектора (анодный сигнал), координаты X_1 , X_2 , Y_1 или Y_2 .

Алгоритм гистограммирования выглядит следующим образом. После нахождения конца временного окна программа ищет анодные сигналы и следующие за ними сигналы X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 , проверяя совпадение номера старта TDC ([25:18] биты), подсчитывается количество данных X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 после каждого анодного сигнала. При наличии всех четырех сигналов и соответствия с учетом допустимых отклонений данных параметрам линий задержки происходит вычисление позиции, временного канала и инкрементирование соответствующего элемента гистограммы. При отсутствии хотя бы одного из сигналов X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 событие игнорируется.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМАТА ДАННЫХ ДИДЖИТАЙЗЕРА N6730

Логически программное обеспечение диджитайзера в Sonix+ состоит из двух частей: собственно управление и чтение данных и программа гистограммирования. Для управления диджитайзером была использована библиотека CAEN Digitizers. Она позволяет получать данные от блока в двух форматах: в виде пакетов и/или в виде данных непосредственно от каждого используемого канала. При сборе данных с ПЧД-диджитайзером используется шесть каналов: для приема анодного сигнала, координат X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 и сигнала старта реактора.

Для сокращения времени преобразований и исключения распаковки буферов был выбран второй формат. Данные содержат номер канала, отметку времени срабатывания триггера, являющуюся 47-битным целым числом (time stamp + time stamp extension) с частотой временной дискретизации 2 нс. Устанавливая при инициализации блока режим fine time stamp, можно получать данные с частотой временной дискретизации 2 пс. Программа управления диджитайзером, получив данные от блока, формирует 64-разрядные слова, где [59:13] — (time stamp + time stamp extension), [12:3] — fine time stamp, [2:0] биты — номер канала, и записывает эти данные в файл.

В отличие от данных DeLiDAQ-2, этот список не упорядочен по времени и нуждается в сортировке. После тестирования наиболее быстрых алгоритмов из обзора [9] на реальных данных с диджитайзера был выбран алгоритм radixsort_lsd.

По сравнению с предыдущим алгоритм гистограммирования был несколько изменен. Для построения трехмерной гистограммы в этом случае задаются следующие параметры: число временных и позиционных каналов, временная задержка относительно старта реактора, ширина временных каналов, величины линий задержки по обеим позиционным координатам, а также допустимые отклонения от линий задержки. После нахождения старта реактора в заданном временном окне программа ищет анодные сигналы, подсчитывая количество данных X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 после каждого из них. Дальнейший отбор событий и построение гистограммы производятся аналогично DeLiDAQ-2.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ДИДЖИТАЙЗЕРА

В данных диджитайзера есть две особенности, которые стоит отметить. Во-первых, временная отметка содержит абсолютное время с начала экспозиции, что позволяет анализировать динамику процесса даже в случае приостановки измерений при нарушении условий эксперимента, например, по температурному режиму, ослаблению потока нейтронов и т. д. Такой возможности для DeLiDAQ-2 в общем случае нет.

Для того чтобы избежать сброса счетчика времени в момент приостановки экспозиции, в команду Stop драйвера диджитайзера был добавлен дополнительный параметр. Согласно ему на период приостановки экспозиция не выключается, но лишь временно прекращается запись данных в итоговый файл.

Второй момент связан с возможностью построения гистограмм непосредственно в процессе набора данных. Такая возможность реализована в драйвере DeLiDAQ-2, поскольку этот контроллер выдает данные, упорядоченные по времени. Для диджитайзера это несправедливо, и наиболее корректно сортировать данные после окончания измерения. Тем не менее для оперативной визуализации можно организовать гистограммирование online, сортируя данные по частям. При этом общая статистика будет несколько ослаблена, но характер графиков сохранится.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

В октябре 2021 г. на рефлектометре GRAINS были проведены измерения с параллельным накоплением данных на диджитайзере и DeLiDAQ-2. Эксперимент позволил оценить корректность и скорость построения гистограмм драйвером диджитайзера при одинаковых параметрах гистограммирования (см. таблицу).

Скоростные характеристики построения гистограмм драйвером диджитайзера

Источник данных	Время экспозиции, с	Размер файла, МВ	Время сортировки, с	Время гистограммирования, с	Суммарное время, с	$c/10^6$, событий
Образец	1800	12,2	0,061	0,082	0,143	0,45
Образец	1800	12,3	0,073	0,088	0,161	0,5
Прямой пучок	1800	573,4	5,211	3,619	8,830	0,59
Прямой пучок	3600	1146,4	10,823	7,629	18,452	0,61

На рис. 2–4 представлены графики прямого пучка, а на рис. 5–7 — графики отраженной от поверхности образца Si/SiO₂ интенсивности.

Дополнительно на рис. 8 приведены анодные графики прямого пучка, измеренные там же в октябре 2020 г. и дополненные данными с точечных детекторов (система MPD [10]).

Графики на рис. 2, 3, 5, 6 построены с помощью программы SpectraViewer, приведены карты плотности (X, Y), полученные при суммировании данных по оси t . Одно-

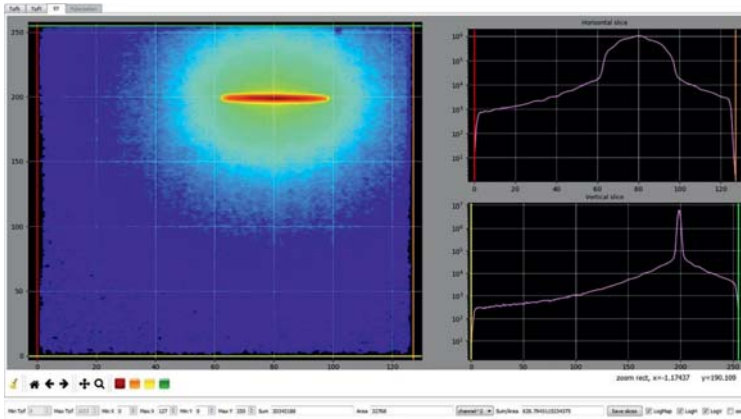


Рис. 2. Прямой пучок, диджитайзер

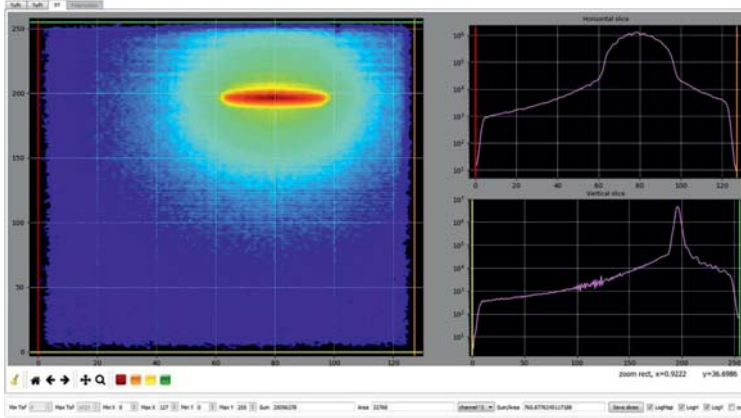


Рис. 3. Прямой пучок, DeLiDAQ-2

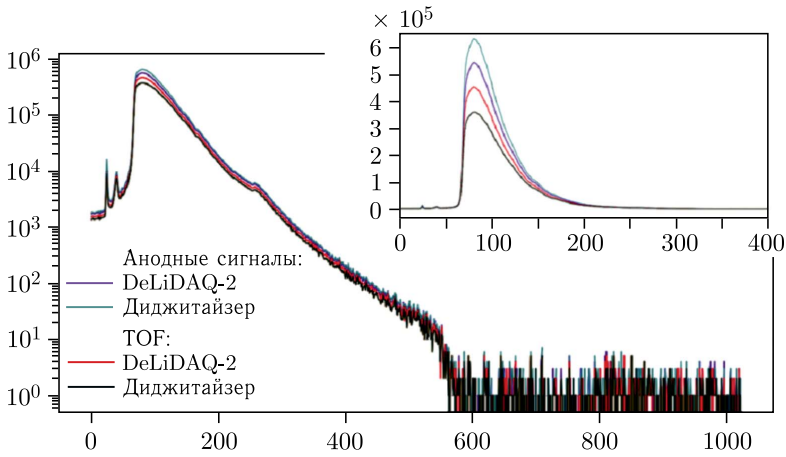


Рис. 4. Прямой пучок. DeLiDAQ-2 и диджитайзер. Графики анодных сигналов и TOF в логарифмическом и линейном (справа сверху) масштабах

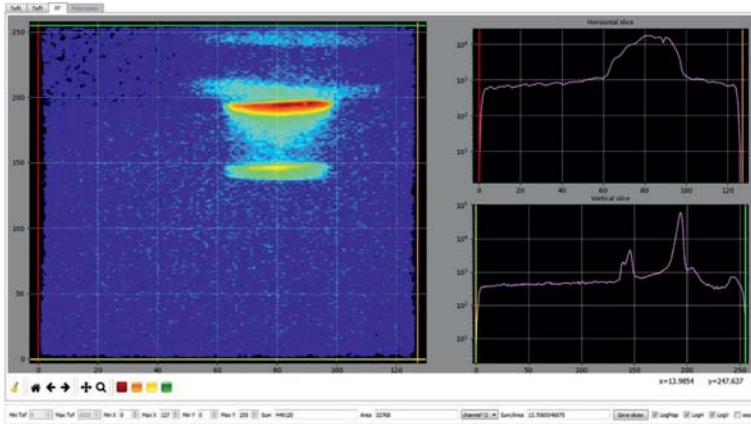


Рис. 5. Образец Si/SiO₂, диджитайзер

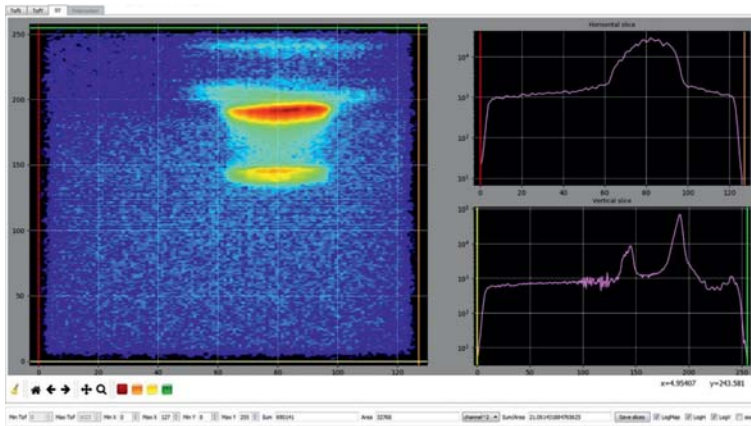


Рис. 6. Образец Si/SiO₂, DeLiDAQ-2

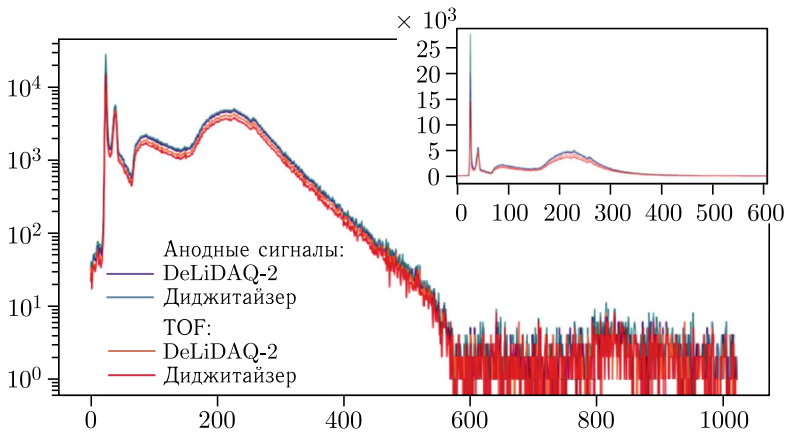


Рис. 7. Образец Si/SiO₂, DeLiDAQ-2 и диджитайзер. Графики анодных сигналов и TOF в логарифмическом и линейном (справа сверху) масштабах

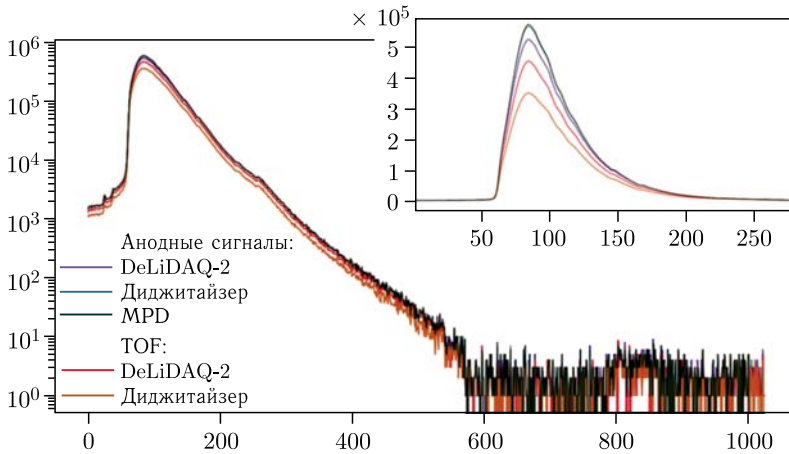


Рис. 8. Прямой пучок. DeLiDAQ-2 и диджитайзер. TOF и анодные сигналы с добавлением MPD

мерные графики представляют результат суммирования данных по осям t и Y (вверху справа), и аналогично — результат суммирования по осям t и X (вверху слева).

В данной работе не комментируются различия в амплитудах приведенных графиков, поскольку детальный анализ этих различий сделан ранее в работе [4]. Вместе с тем совпадение по форме графиков, полученных с помощью трех различных систем, на наш взгляд, свидетельствует о корректности выбранного алгоритма построения гистограммы для диджитайзера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнительных измерений, выполненных на рефлектометре GRAINS в октябре 2021 г., показали, что цель данной работы достигнута. В рамках принятой структуры управления накоплением и визуализацией данных комплекса Sonix+ создан модуль управления диджитайзером N6730. Также для контроллеров этого типа разработан и реализован алгоритм программного гистограммирования данных, накопленных в формате событий. Скоростные характеристики этой программы позволяют использовать ее, в том числе, и для оперативной (online) визуализации данных в ходе эксперимента.

Авторы благодарят коллег по отделу НЭОКС ЛНФ за поддержку работы. Особенно хочется отметить А. А. Богдзеля и И. В. Гапона за помощь в организации проверочных измерений, экспертную оценку и конструктивную критику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Levchanovsky F. V., Litvinenko E. I., Nikiforov A. S., Gebauer B., Schulz C., Wilpert T.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 572. P. 1004; <https://doi.org/10.1016/j.nima.2006.12.013>.
2. *Levchanovskiy F. V., Murashkevich S. M.* // DeLiDAQ-2D — a New Data Acquisition System for Position-Sensitive Neutron Detectors with Delay-Line Readout // Phys. Part. Nucl. Lett. 2016. V. 13, No. 5. P. 591–594.

3. <https://www.caen.it/products/n6730/>
4. *Литвиненко Е. И. и др.* Сравнительный анализ характеристик систем сбора данных с позиционно-чувствительных детекторов нейтронов // ПТЭ. 2020. № 3. С. 56–64.
5. <https://sonix.jinr.ru/wiki/doku.php?id=ru:index>
6. https://sonix.jinr.ru/wiki/doku.php?id=ru:ru_spectra_viewer
7. <https://sonix.jinr.ru/wiki/doku.php?id=ru:websonix:about>
8. <https://sourceforge.net/projects/pyqt/files/PyQt5/>
9. <https://habr.com/ru/post/335920/>
10. *Levchanovskiy F. V., Murashkevich S. M.* The Data Acquisition System for Neutron Spectrometry — a New Approach and Implementation // Proc. of the XXIV Intern. Symp. on Nuclear Electronics and Computing “NEC’2013”, Varna, Bulgaria, Sept. 9–16, 2013. Dubna: JINR, 2013. P. 176–179.

Получено 16 сентября 2022 г.