

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.1.07

УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ НА ПУЧКАХ
НУКЛОТРОНА “ТЕСТОВЫЙ КАНАЛ MPD”

© 2017 г. В. А. Бабкин*, С. Н. Базылев, М. Г. Буряков, С. В. Волгин, В. М. Головатюк,
А. В. Дмитриев, П. О. Дулов, Д. С. Егоров, С. П. Лобастов, В. А. Петров,
М. М. Румянцев, В. М. Слепнев, И. В. Слепнев, А. В. Терлецкий, И. А. Филиппов,
А. В. Шутов, А. В. Щипунов, В. И. Юревич

Объединенный институт ядерных исследований
Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, 6

*e-mail: babkin@jinr.ru

Поступила в редакцию 31.05.2016 г.

На канале выведенного пучка Нуклотрона ОИЯИ создана новая специализированная установка “Тестовый канал MPD” для выполнения методических исследований и для тестирования детекторов, создаваемых для эксперимента MPD на ускорительном комплексе NICA. Приведено подробное описание установки. В качестве примера работы установки представлены результаты тестирования быстрых детекторов для времяпролетной системы TOF MPD.

DOI: 10.7868/S0032816217030016

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ осуществляется реализация проектов, направленных на изучение свойств горячей и плотной барионной материи, образующейся при соударениях тяжелых ионов высоких энергий. Изучение свойств барионной материи планируется проводить с помощью многоцелевого детектора MPD (Multi Purpose Detector) [1], который будет работать на коллайдере тяжелых ионов NICA [2]. Установка MPD состоит из различных детектирующих подсистем, которые окружают место встречи пучков в коллайдере. В первую очередь предполагается запустить времяпроекционную камеру (TPC), времяпролетную систему (TOF), электромагнитный калориметр (ECal), передний адронный калориметр (FHCAL) и вершинный детектор на основе микростриповых кремниевых детекторов (ITS).

Эти подсистемы должны обладать уникальными параметрами для идентификации продуктов столкновения ядер в коллайдере и измерения их параметров. Все системы должны обладать высокой надежностью. Для изучения характеристик прототипов и полномасштабных детекторов была создана установка “Тестовый канал MPD” на выведенном пучке Нуклотрона.

Данная установка позволяет проводить исследования на пучках частиц от протонов с энергиями 1–12 ГэВ до ядер ксенона с энергиями 0.5–6 ГэВ/нуклон. Протоны и дейтроны в таком диа-

пазоне энергий можно рассматривать как минимально ионизирующие частицы. Интенсивность пучка дейтронов в районе установки варьируется в пределах 10^2 – 10^6 частиц/см². Длительность сброса может устанавливаться от 1 до 10 с.

1. УСТАНОВКА “ТЕСТОВЫЙ КАНАЛ MPD”

Установка “Тестовый канал MPD” располагается в экспериментальном корпусе 205 Нуклотрона на канале 4В медленного вывода (рис. 1). Выведенный из ускорителя пучок при помощи элементов магнитной оптики проводится по вакуумному ионопроводу и фокусируется в любом месте внутри экспериментальной зоны I. Все детекторы частиц и электроника считывания находятся в закрытом помещении. Это позволяет при помощи кондиционеров стабилизировать температуру и влажность окружающей среды.

Установка состоит из нескольких основных конструкций и систем:

- конструкция фиксации детекторов и оборудования на пучке;
- система триггера на базе сцинтилляционных счетчиков;
- трековая система из трех пропорциональных камер;
- система газоснабжения детекторов;
- система высоковольтного и низковольтного электроснабжения;

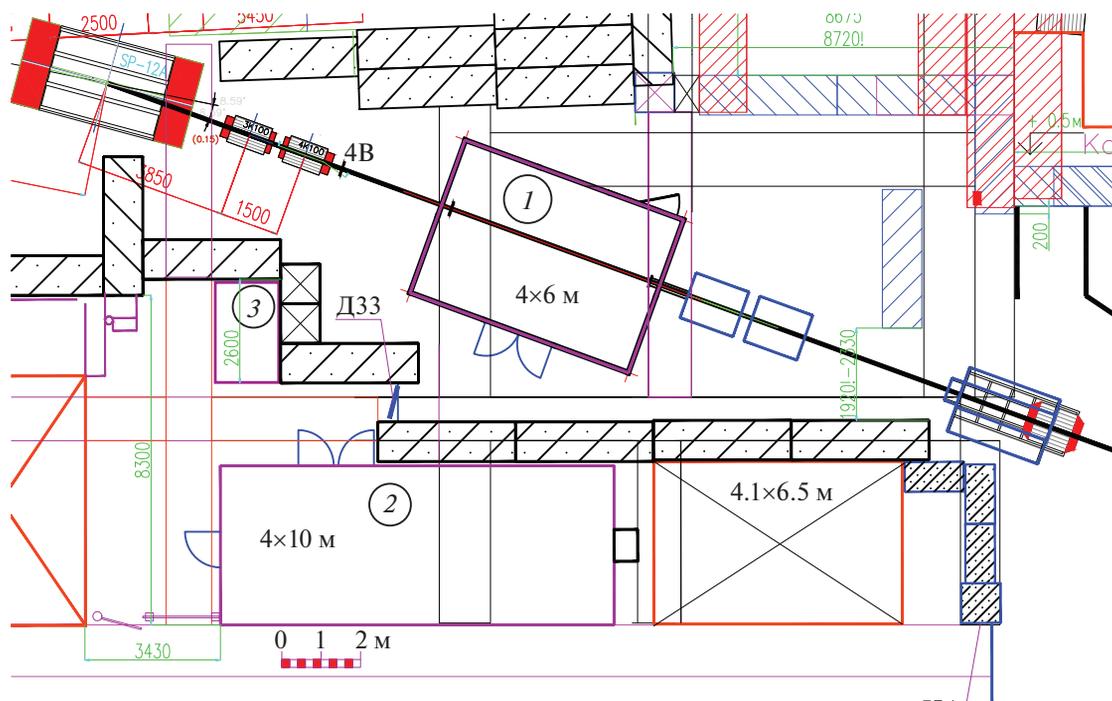


Рис. 1. Основные помещения установки “Тестовый канал МРД” на канале 4В Нуклотрона. 1 – пучковый домик; 2 – домик персонала; 3 – газораспределительная система.

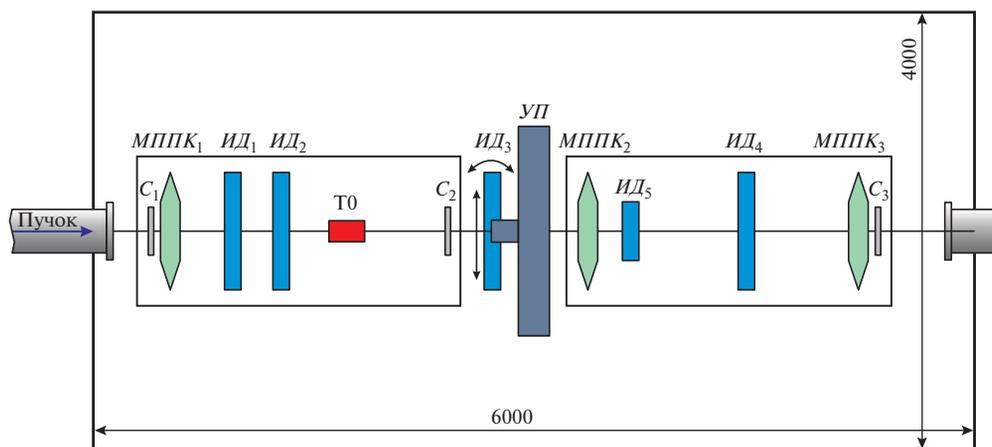


Рис. 2. Схема установки детекторов на пучке. C_1 – C_3 – сцинтилляционные счетчики, МППК₁–МППК₃ – многопроводные пропорциональные камеры, ИД₁–ИД₅ – исследуемые детекторы, УП – устройство позиционирования, Т0 – стартовый быстрый детектор.

– системы сбора данных на основе стандарта VME и Ethernet;

– система медленного контроля.

Схема расположения детекторов во время испытаний приведена на рис. 2.

1.1. Механическая конструкция

Механическая конструкция фиксации детекторов включает в себя две платформы и

устройство позиционирования с дистанционным управлением. Платформы выполнены из алюминиевого профиля и могут быть легко трансформированы. Вспомогательные и испытываемые детекторы (ИД₁–ИД₅) могут быть расположены в любом положении на данных столах и жестко зафиксированы.

Устройство позиционирования (УП) способно перемещать исследуемые детекторы перпендикулярно пучку по горизонтали и вертикали с

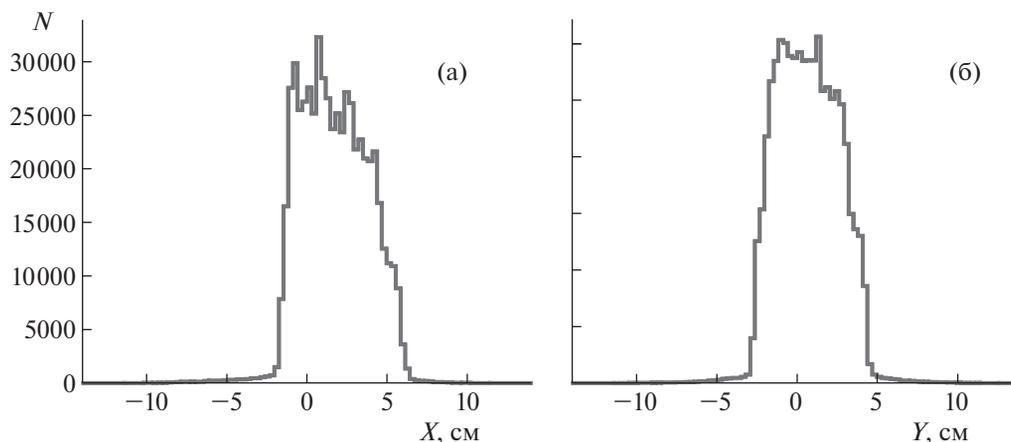


Рис. 3. Горизонтальный (а) и вертикальный (б) профили расфокусированного пучка, измеренные при помощи МППК (профиль соответствует форме триггерного счетчика).

точностью 20 мкм и вращать в горизонтальной плоскости.

1.2. Система триггера

Система триггера состоит из трех сцинтиляционных счетчиков (C_1 – C_3) размером 10×10 см и быстрого стартового детектора (Т0). Для генерации триггерного сигнала аналоговые импульсы со счетчиков подаются на формирователь и включаются на совпадение. Полученный сигнал преобразуется в необходимый стандарт и подается на системы сбора данных для запуска. Все модули триггерной системы располагаются в домике персонала 2 (рис. 1). Дополнительной задачей для триггерных детекторов является определение интенсивности пучка. Для этого сигналы со счетчиков подаются на 16-канальный счетчик-дискриминатор MSC16V [3], выполненный в стандарте VME64x. Каждый канал счетчика имеет буфер памяти 7 бит, который обновляется с частотой до 5 МГц. Это позволяет детализировать временную структуру пучков с интенсивностью до 10^8 частиц/с.

Стартовый детектор Т0 генерирует быструю временную отметку в момент пролета через него частицы для прецизионных измерений временных характеристик детекторов. Он представляет собой кварцевый черенковский детектор, свет с которого собирается быстрым микроканальным фотоэлектронным умножителем XP85012/A1-Q [4]. Временное разрешение Т0 лучше 40 пс.

1.3. Трековая система

Трековая система состоит из трех гексагональных многопроволочных пропорциональных камер (МППК₁–МППК₃, рис. 2), которые во время эксперимента располагаются вдоль всей установ-

ки. Такое расположение позволяет провести треки частиц через все исследуемые детекторы. Помимо трекинга пропорциональные камеры используются как профилометр для настройки пучка.

Пропорциональные камеры имеют форму шестиугольника. Для регистрации пролета частиц используется шесть плоскостей анодных проволочек: по две X , U , V с шагом 2.5 мм и сдвигом 1.25 мм между одноименными плоскостями. Расстояние между плоскостями сигнальных проволочек 10 мм. В плоскости содержится 96 проволочек, сигналы с которых считываются шестью 8-канальными усилителями-дискриминаторами ASD8 [5]. Питание усилителей и считывание осуществляется специально разработанным для данных камер 96-канальным считывающим модулем HRB6ASD [6]. Устройство регистрирует сигналы с усилителей, оцифровывает их и по сети Ethernet отправляет данные на сервер хранения данных. Пропорциональные камеры позволяют получать треки частиц и профиль пучка (рис. 3).

1.4. Газовая система

Газовая система установки предназначена для создания необходимой газовой смеси и снабжения этой смесью газонаполненных детекторов. Система разделена на два независимых контура со своими газовыми пультами (рис. 4). Первый контур предназначен для смешивания инертных газов, которые используются в пропорциональных камерах. Во втором контуре готовится смесь на основе фреонов, необходимая для работы многогазорных резистивных плоскопараллельных камер (м.р.п.к.).

Для создания рабочей смеси с высокой точностью пропорции компонентов используются электронные контроллеры массового расхода га-

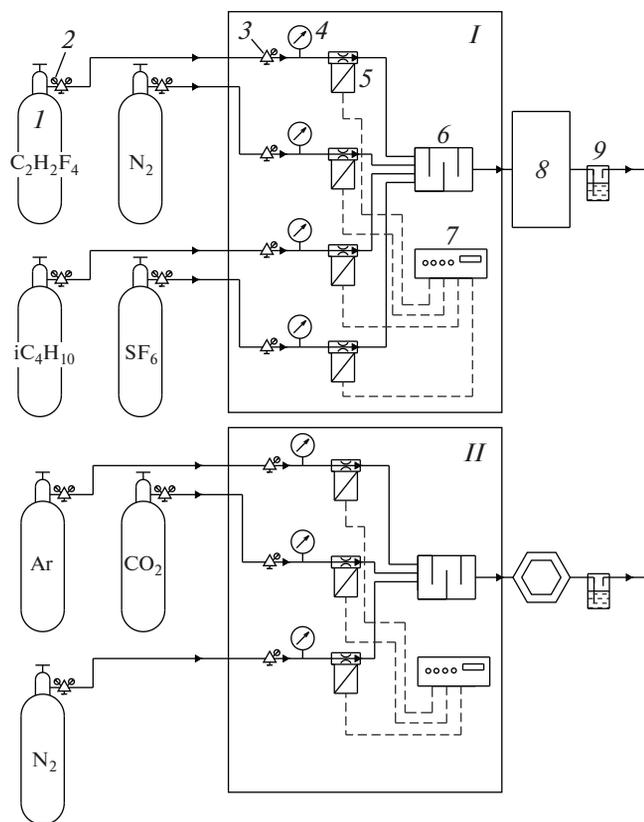


Рис. 4. Схема двух контуров газосмесительной системы. 1 – баллон с газом; 2 – баллонный редуктор; 3 – редуктор тонкой подстройки; 4 – контрольный манометр; 5 – массовый регулятор расхода газа; 6 – смеситель; 7 – блок питания и управления регуляторами расхода газа; 8 – исследуемый детектор; 9 – масляный клапан.

за MKS1479A, которые управляются через блок контроля MKS247. Блочная система позволяет легко заменять регуляторы расхода для изменения диапазонов потоков газовой смеси. В настоящее время максимальный поток газовой смеси, который может обеспечивать каждый контур, составляет около $500 \text{ см}^3/\text{мин}$.

1.5. Система сбора данных

Система сбора данных осуществляет оцифровку сигналов, приходящих с детекторов, синхронизацию и интеграцию всех данных, и наконец, сохраняет информацию в хранилище. В основном, все элементы системы сбора данных основаны на стандарте VME. Крейт VME64x с модулями, преобразующими аналоговые сигналы с детекторов в цифровую информацию, располагается непосредственно в зоне канала.

Для оцифровки временных сигналов используются времяцифровые преобразователи (в.ц.п.) трех типов на базе чипа НРТДС [7]:

– TDC72VHL [8] – 72-канальный в.ц.п., предназначенный специально для регистрации быстрых LVDS-сигналов с усилителями NINO (с входными разъемами VHDCI или CXP с импедансом 100 Ом);

– TDC32VL [9] – 32-канальный в.ц.п. для считывания дифференциальных сигналов с других детекторов (с входами IDC34 под плоский кабель с импедансом 110 Ом);

– TQDC-16 [10] – 16-канальный преобразователь сигналов, обеспечивающий временную и амплитудную информацию с 50-омным входом IDC34.

Все модули работают с дискретизацией времени 24.4 пс/отсчет . Учитывая дифференциальную и интегральную нелинейности в.ц.п., временное разрешение каждого канала в.ц.п. $\sim 20 \text{ пс}$.

On line-мониторинг интенсивности пучка в течение сброса осуществляется модулем MSC16V в отдельном крейте, что позволяет независимо от набора данных наблюдать за временной структурой пучка во время сброса на установку в любой момент времени и на любом счетчике. Фурье-спектр временной структуры пучка позволяет выделить частоты пульсации интенсивности частиц (рис. 5).

1.6. Система медленного контроля

Система медленного контроля предназначена для централизованного мониторинга всех рабочих параметров установки в целях предотвращения нештатных ситуаций и сбоев в работе приборов. Также система участвует в дистанционном управлении всеми сервисными системами.

Система медленного контроля на установке “Тестовый канал МРД” базируется на инструментарию TANGO [11], который представляет собой программное обеспечение для построения систем управления. В одном программном пакете объединен доступ ко всем аппаратным средствам. Данный пакет предоставляет все возможности создания удобного пользовательского графического интерфейса. Все соединения с устройствами осуществляются через сеть Ethernet. Для устройств без доступа к сети, таких, например, как датчики температуры с интерфейсом RS-485, применяются преобразователи MOXA NPort. Все данные архивируются в базу данных для дальнейшего анализа и обработки.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ДЕТЕКТОРОВ НА УСТАНОВКЕ

Идентификация заряженных частиц, рождающихся в результате столкновения тяжелых ионов в коллайдере NICA, осуществляется времяпро-

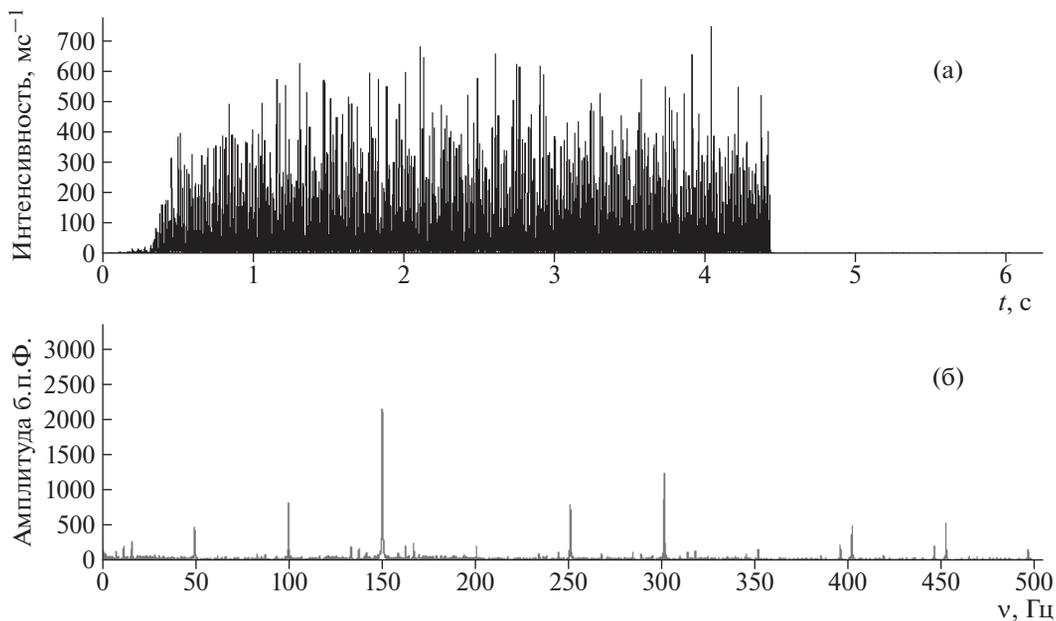


Рис. 5. Зависимость интенсивности растяжки пучка частиц от времени (а) и амплитуда быстрого преобразования Фурье (б) для данного распределения интенсивности, полученная при помощи счетчика MSC16V.

летным методом. В качестве основного элемента времяпролетной системы TOF многоцелевого детектора MPD используется трехстековая конструкция м.р.п.к. [12]. Детектор (рис. 6) содержит 15 газовых промежутков шириной 200 мкм (3 стека по 5 зазоров), которые разделены резистивными электродами из стекла толщиной 280 мкм. Такое сочетание ширины газовых зазоров и резистивных электродов выбрано в целях улучшения временного разрешения, загрузочных характеристик и эффективности детектора. Активная об-

ласть детектора 600 × 300 мм определяется размерами стекла. В обсуждаемой конструкции дифференциальные сигналы считываются только с внутренних электродов. Внешние платы не имеют металлизации. Считывающие электроды в виде длинных медных полос (стрипов) изготовлены на печатной плате. Всего на плате 24 стрипа размерами 600 × 10 мм, расположенных с шагом 12.5 мм. Сигналы с обоих концов стрипа подаются двойной витой парой с волновым сопротивлением ~55 Ом на вход усилителя на базе чипа

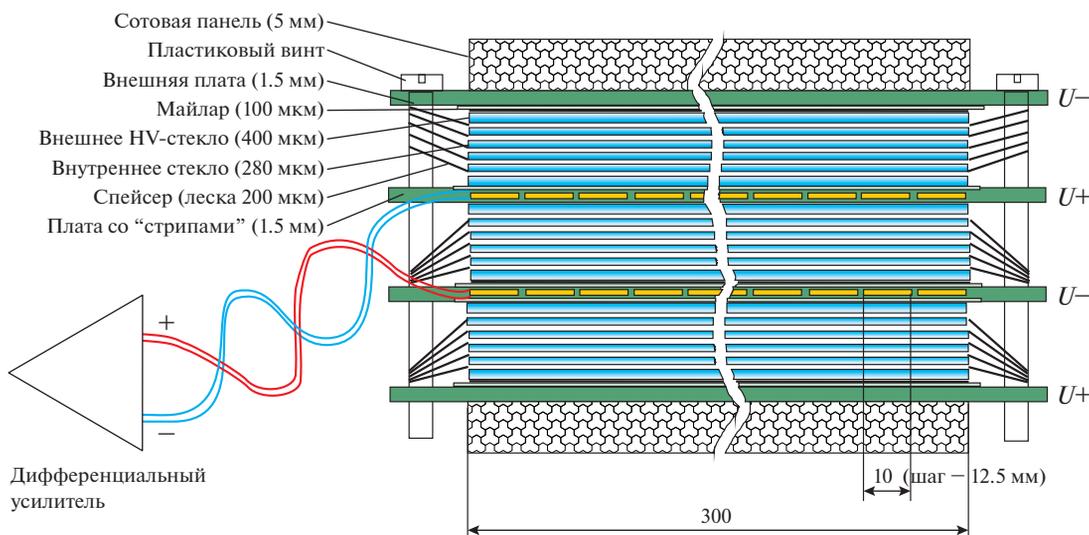


Рис. 6. Устройство м.р.п.к. для времяпролетной системы MPD.

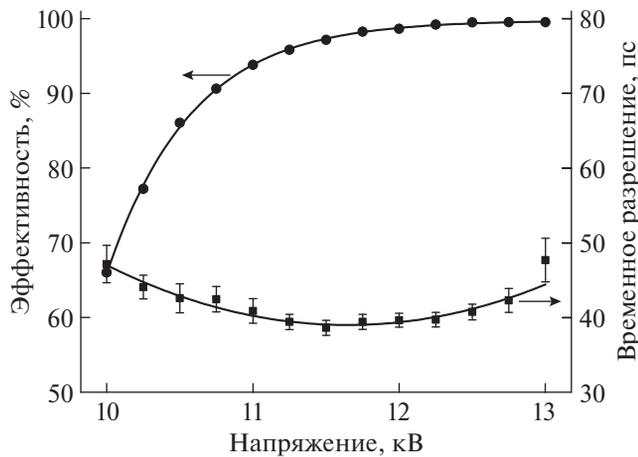


Рис. 7. Эффективность и временное разрешение в зависимости от высокого напряжения.

NINO [13]. В такой конструкции м.р.п.к. вся дифференциальная линия считывания согласованная и симметричная, что значительно уменьшает влияние на выходной сигнал отражений и дисперсии.

Данный прототип детектора времяпролетной системы был исследован на “Тестовом канале MPD”. Зависимость временного разрешения и эффективности регистрации частиц от приложенного напряжения представлены на рис. 7. Временное разрешение м.р.п.к. лучше 40 пс достигается при эффективности регистрации минимально ионизирующих частиц 98%.

Испытываемый прототип м.р.п.к. был закреплен на устройстве позиционирования, при помощи которого он перемещался и вращался относи-

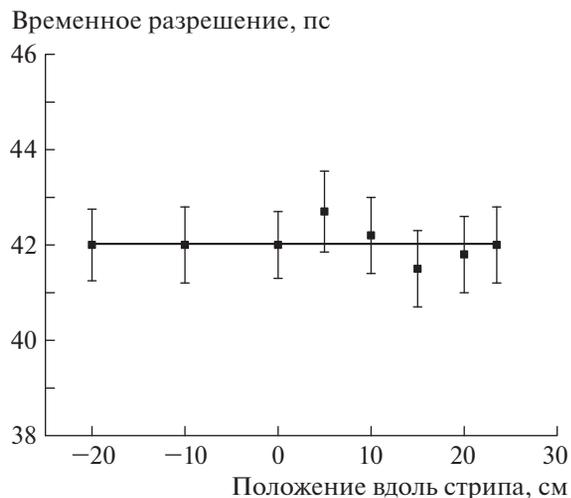


Рис. 8. Зависимость временного разрешения м.р.п.к. от положения пролета частицы вдоль стрипа.

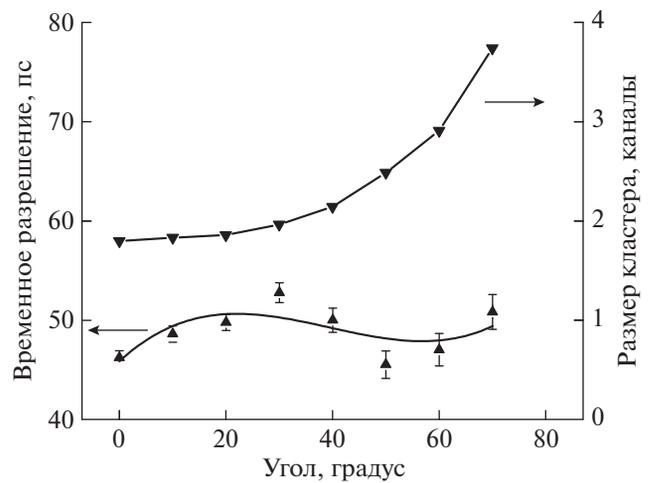


Рис. 9. Зависимость временного разрешения и размера кластера от угла влета частицы.

тельно пучка в различных направлениях. Зависимость временного разрешения от положения пучка вдоль стрипа представлена на рис. 8, а временное разрешение и множественность сработавших каналов для частиц, пересекающих плоскость детектора под различными углами поперек стрипов, — на рис. 9. Видно, что с увеличением угла влета возрастает число сработавших каналов, но изменение временного разрешения детектора при этом незначительно.

На рис. 10 представлены результаты измерения нагрузочной способности трехстековой м.р.п.к. при увеличении интенсивности пучка дейтронов, проходящих через детекторы. При потоке частиц до 2 кГц/см^2 эффективность регистрации частиц выше 90% и временное разрешение лучше 60 пс.

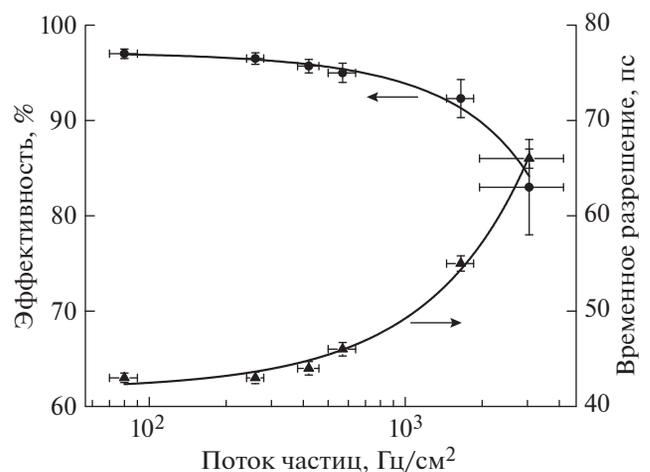


Рис. 10. Эффективность и временное разрешение м.р.п.к. в зависимости от потока частиц.

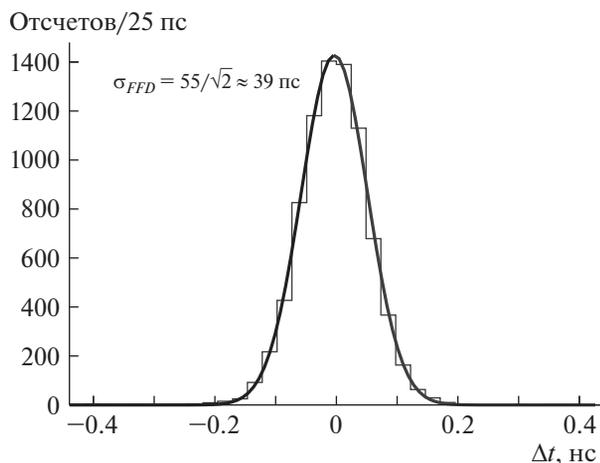


Рис. 11. Время пролета между модулями FFD, измеренное TDC32VL.

Помимо м.р.п.к. на установке тестировалось несколько прототипов модуля детектора FFD (Fast Forward Detector) [14], который является быстрым стартовым детектором установки MPD. FFD регистрирует черенковское излучение, которое возникает при пролете высокоэнергетических заряженных частиц через кварцевый радиатор и попадает на фотокатод фотоумножителя XR85012/A1-Q на основе шевронной сборки из двух микроканальных пластин. Исходя из требований к времяпролетной системе MPD, стартовый детектор должен иметь временное разрешение не хуже 50 пс. В тестовых измерениях на пучке дейтронов с прототипами FFD-модулей было получено среднее временное разрешение ~ 39 пс (рис. 11) с использованием в.ц.п. TDC32VL.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальная установка “Тестовый канал MPD”, созданная на канале медленного вывода пучков Нуклотрона, предоставляет широкие возможности для изучения характеристик разрабатываемых детекторов, включая прецизионные измерения с пикосекундным временным разрешением и другие методические исследования новых разработок для будущих экспериментов.

Авторы выражают благодарность за техническую поддержку и полезные обсуждения Ю.Т. Ки-

рюшину, П.А. Рукояткину и Н.М. Пискунову. Данная работа поддержана грантом молодых ученых и специалистов ОИЯИ на 2016 год № 16-102-02.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The MultiPurpose Detector – MPD. Conceptual design report. Ver.1.4. Dubna: JINR, 2012. http://nica.jinr.ru/files/CDR_MPD/MPD_CDR_en.pdf
2. Design and Construction of Nuclotron-based Ion Collider fAcility (NICA). Conceptual design report. Dubna: JINR, 2008. http://nica.jinr.ru/files/NICA_CDR.pdf
3. <http://afi.jinr.ru/MS16V>
4. Yurevich V.I., Batenkov O.I., Agakichiev G.N., Averichev G.S., Babkin V.A., Basilev S.N., Bogoslovsky D.N., Efimov L.G., Lobastov S.P., Filippov I.A., Povtoreyko A.A., Rogov V.Yu., Rumyantsev M.M., Slepnev I.V., Slepnev V.M. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. V. 12. № 6. P. 414. doi 10.1134/S1547477115060102
5. Newcomer F.M., Tedja S., Van Berg R., Van der Spiegel J., Williams H.H. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1993. V. NS-40 (4). P. 630. doi 10.1109/23.256630
6. <http://afi.jinr.ru/HRB6ASD>
7. Mota M., Christiansen J. // IEEE J. Solid-State Circuits. 1999. V. 34. № 10. P. 1360. doi 10.1109/4.792603
8. <http://afi.jinr.ru/TDC32VL>
9. <http://afi.jinr.ru/TDC72VHL>
10. <http://afi.jinr.ru/TQDC-16>
11. Chaize J.-M., Götz A., Klotz W.-D., Meyer J., Perez M., Taurel E. // Accelerator and large experimental physics control systems: Proceedings. Trieste, Italy. 1999. P. 475.
12. Babkin V., Bazylev S., Buryakov M., Golovatyuk V., Lobastov S., Petrov V., Rumyantsev M., Schipunov A., Shutov A., Slepnyov I., Slepnyov V. // Nucl. Instrum. and Methods. 2016. V. A824. P. 490. doi 10.1016/j.nima.2015.11.060
13. Anghinolfi F., Jarron P., Martemiyarov A.N., Usenko E., Wenninger H., Williams M.C.S., Zichichi A. // Nucl. Instrum. and Methods. 2004. V. A533. P. 183. doi 10.1016/j.nima.2004.07.024
14. Yurevich V.I., Batenkov O.I., Agakichiev G.N., Averichev G.S., Babkin V.A., Basilev S.N., Bogoslovsky D.N., Efimov L.G., Lobastov S.P., Philippov I.A., Povtoreyko A.A., Rogov V.Yu., Rumyantsev M.M., Slepnev I.V., Slepnev V.M. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2015. V. 12. № 6. P. 1204. doi 10.1134/S1547477115060102