

P13-2016-37

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. Юевич

**УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ
НА ПУЧКАХ НУКЛОТРОНА «ТЕСТОВЫЙ КАНАЛ MPD»**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Бабкин В. А. и др.

P13-2016-37

Установка для испытания детекторов на пучках нуклотрона
«Тестовый канал MPD»

На канале выведенного пучка нуклотрона ОИЯИ создана новая специализированная установка «Тестовый канал MPD» для выполнения методических исследований и 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.

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2016

Babkin V. A. et al.

P13-2016-37

Setup for Testing of Detectors at the Nuclotron “MPD Test Beam”

A new specialized setup “MPD test beam” was created at the extracted beam of the Nuclotron to carry out methodical research and testing detectors for the MPD experiment at the NICA collider. The setup is described in detail. Results of the test of fast detectors for the MPD TOF system are presented as an example of the setup operation.

The investigation has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2016

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 (MultiPurpose Detector) [1], который будет работать на коллайдере тяжелых ионов NICA (Nuclotron based Ion Collider fAcility) [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 (EMCal), 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, а также 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 диапазоне энергий можно рассматривать как минимально ионизирующие частицы. Интенсивность пучка дейтронов в районе установки варьируется в пределах 10^2 – 10^6 частиц на квадратный сантиметр. Длительность сброса может устанавливаться от 1 до 10 с.

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 (обозначена цифрой 1 на рис. 1). 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:
- конструкции фиксации детекторов и оборудования на пучке;
 - системы триггера на базе сцинтилляционных счетчиков;

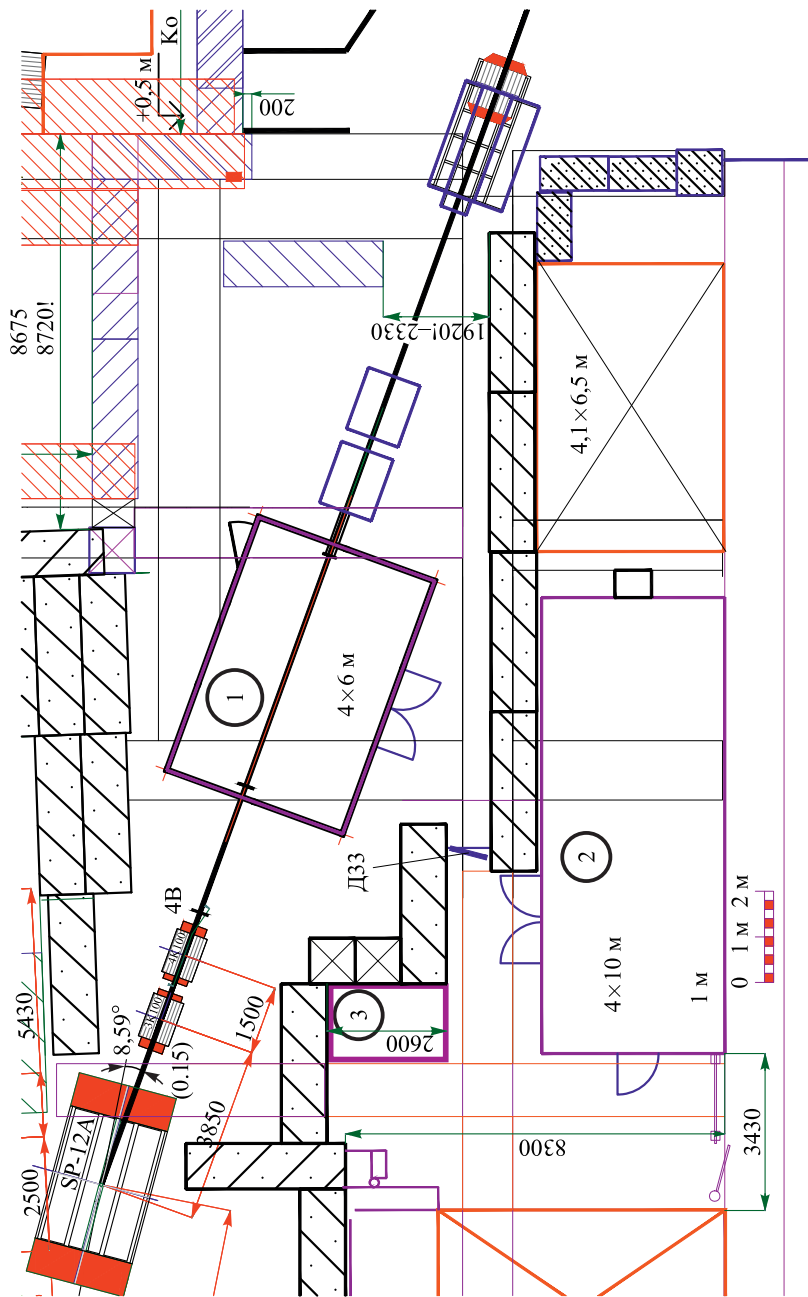


Рис. 1. Основные помещения установки «Тестовый канал МРД» на канале 4В нуклотрона: 1 — пучковый домик; 2 — домик персонала; 3 — газораспределительная система

- трековой системы из трех пропорциональных камер;
- системы газоснабжения детекторов;
- системы высоковольтного и низковольтного электроснабжения;
- системы сбора данных на основе стандарта VME и Ethernet;
- системы медленного контроля.

Схема расположения детекторов во время испытаний приведена на рис. 2. На рис. 3 представлен внешний вид установки во время сеанса в феврале 2015 г.

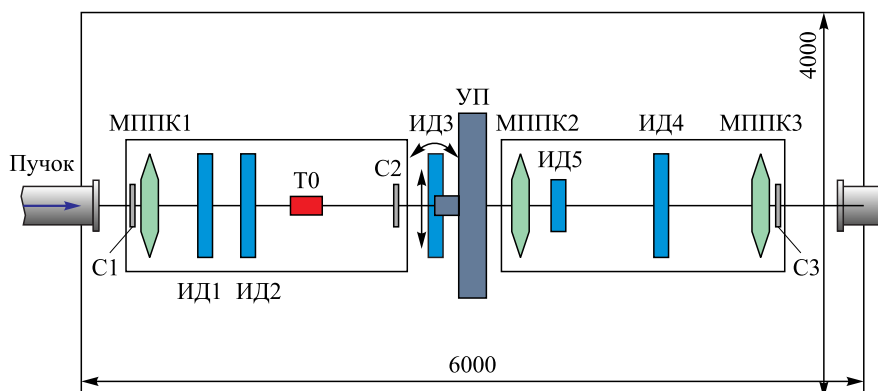


Рис. 2. Схема установки детекторов на пучке (С1–С3 — сцинтиляционные счетчики, МППК1–МППК3 — пропорциональные камеры, ИД1–ИД5 — исследуемые детекторы, Т0 — стартовый быстрый детектор, УП — устройство позиционирования)

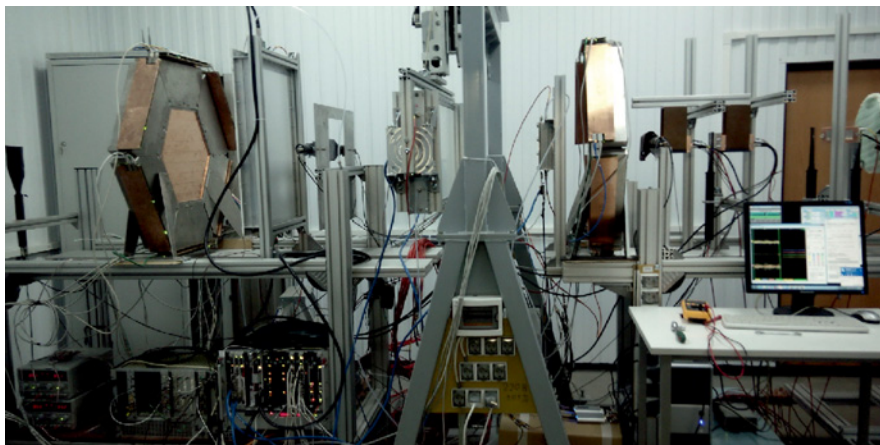


Рис. 3. Общий вид установки во время работы с пучком

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 точностью 20 мкм и вращать в горизонтальной плоскости.

Система триггера состоит из трех сцинтилляционных счетчиков (С1–С3) 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 раздается на системы сбора данных для запуска. Все модули триггерной системы располагаются в домике персонала (помечен цифрой 2 на 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 ФЭУ XR85012/A1-Q [4]. Временное разрешение Т0 лучше 40 пс.

Трековая система состоит из трех гексагональных многопроволочных пропорциональных камер (МППК1–МППК3), которые во время эксперимента располагаются вдоль всей установки. 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 (слева на рис. 3). 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 восьмиканальными усилителями-дискриминаторами ASD8 [5]. Питание усилителей и считывание осуществляется специально разработанным для данных камер 96-канальным считывающим модулем HRB6ASD [6] (рис. 4). Устройство регистрирует сигналы с усилителей, оцифровывает их и по сети Ethernet отправляет данные на сервер хранения дан-

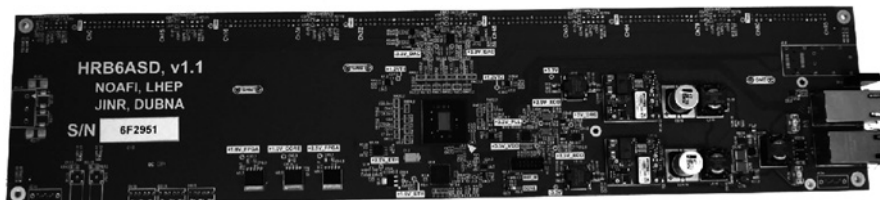


Рис. 4. HRB6ASD — 96-канальная плата считывания сигналов с плоскости МППК

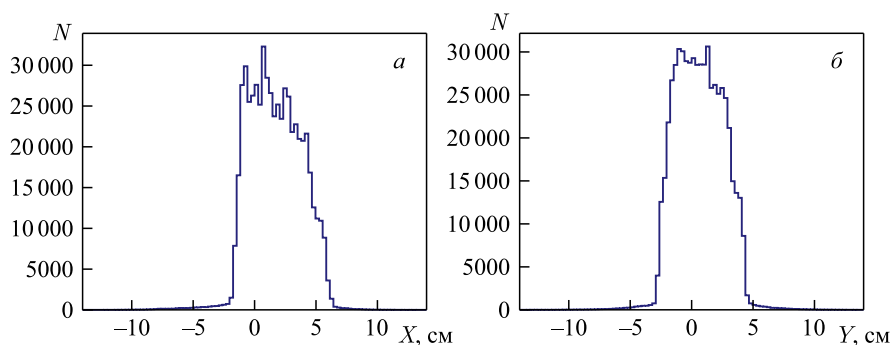


Рис. 5. Горизонтальный (а) и вертикальный (б) профили расфокусированного пучка, измеренные при помощи МППК (профиль соответствует форме триггерного счетчика)

ных. Пропорциональные камеры позволяют получать треки частиц и профиль пучка (рис. 5).

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. 6). Первый контур предназначен для смешивания инертных газов, которые используются в пропорциональных камерах. Во втором контуре готовится смесь на основе фреонов, необходимая для работы многозачорных резистивных плоских камер (МРПК).

Для создания рабочей смеси с высокой точностью пропорции компонентов используются электронные контроллеры массового расхода газа MKS 1479A, 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 $500 \text{ см}^3/\text{мин}$.

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

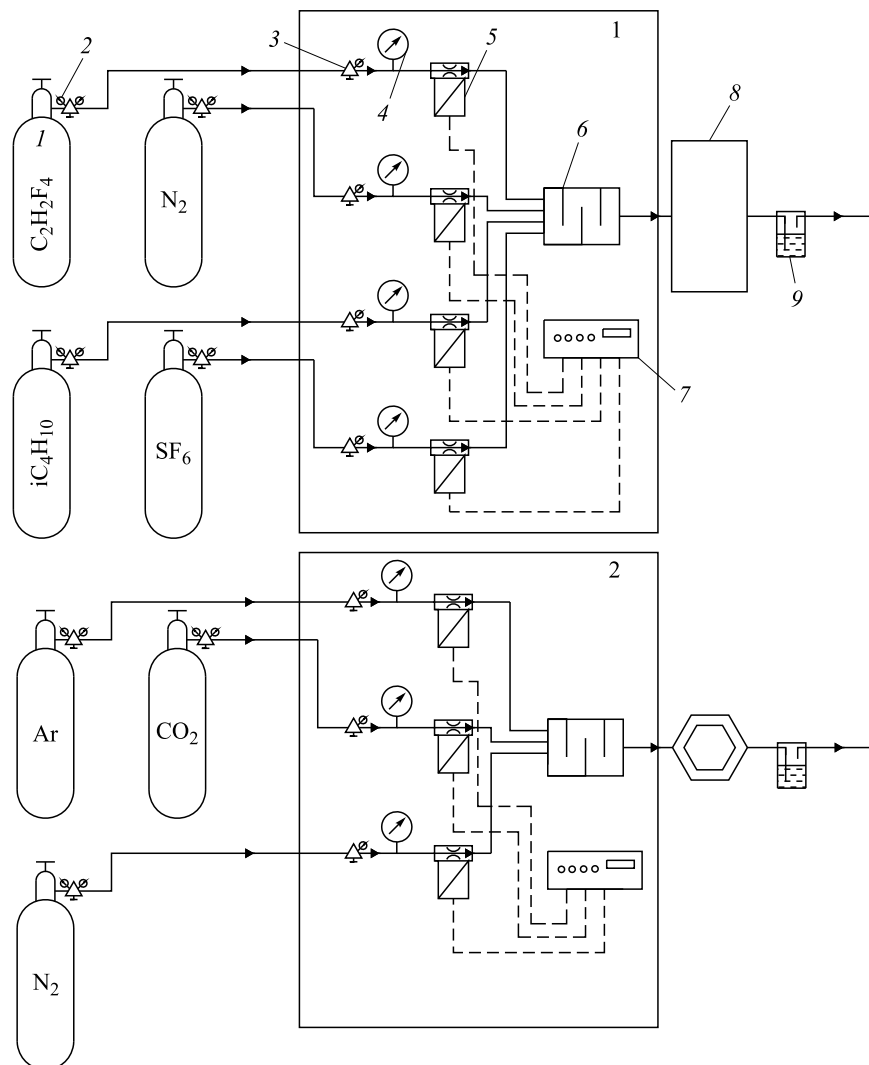


Рис. 6. Схема двух контуров газосмесительной системы: 1 — баллон с газом; 2 — баллонный редуктор; 3 — редуктор тонкой подстройки; 4 — контрольный манометр; 5 — массовый регулятор расхода газа; 6 — смеситель; 7 — блок питания и управления регуляторами расхода газа; 8 — исследуемый детектор; 9 — масляный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

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 время-цифровые преобразователи трех типов на базе чипа HPTDC [7]:

- TDC72VHL [8] — 72-канальный ВЦП, предназначенный специально для регистрации быстрых LVDS-сигналов с усилителей NINO (с входными разъемами VHDCI или CXP с импедансом 100 Ом);
- TDC32VL [9] — 32-канальный ВЦП для считывания дифференциальных сигналов с других детекторов (с входами IDC34 под плоский кабель с импедансом 110 Ом);
- TQDC-16 [10] — 16-канальный преобразователь, регистрирующий одновременно временную и амплитудную информацию с 50-омным входом IDC34.

Все модули работают с дискретизацией времени 24,4 пс/отсчет. С учетом дифференциальной и интегральной нелинейности ВЦП временное разрешение каждого канала ВЦП составляет ~ 20 пс.

Онлайн-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. 7).

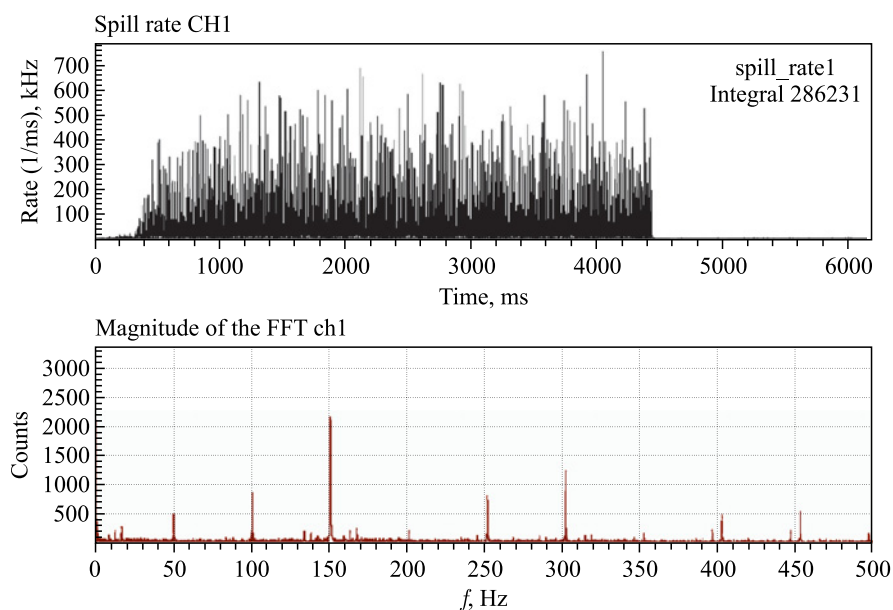


Рис. 7. Растяжка пучка частиц, полученная при помощи счетчика MSC16V

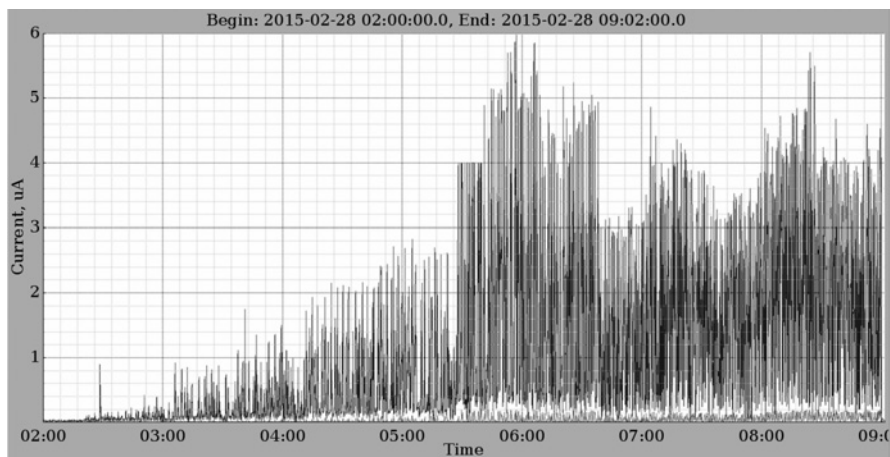


Рис. 8. Временное распределение тока, проходящего через детектор

Система медленного контроля предназначена для централизованного мониторингирования 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 MPD» базируется на инструментарии 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 для создания удобного пользовательского графического интерфейса (рис. 8). Все соединения с устройствами осуществляются через сеть Ethernet. Для устройств без доступа к сети, таких как датчики температуры с интерфейсом RS-485, применяются преобразователи MOXA NPort. Все данные архивируются в базу данных для дальнейшего анализа и обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ДЕТЕКТОРОВ НА УСТАНОВКЕ

Идентификация заряженных частиц, рождающихся в результате столкновения тяжелых ионов в коллайдере NICA, производится времяпролетным методом. В качестве основного элемента времяпролетной системы TOF многоцелевого детектора MPD используется трехстековая конструкция многоззорной резистивной плоской камеры [12]. Детектор (рис. 9) содержит 15 газовых промежутков шириной 200 мкм (3 стека по 5 зазоров), которые разделены резистивными электродами из стекла толщиной 280 мкм. Такое сочетание

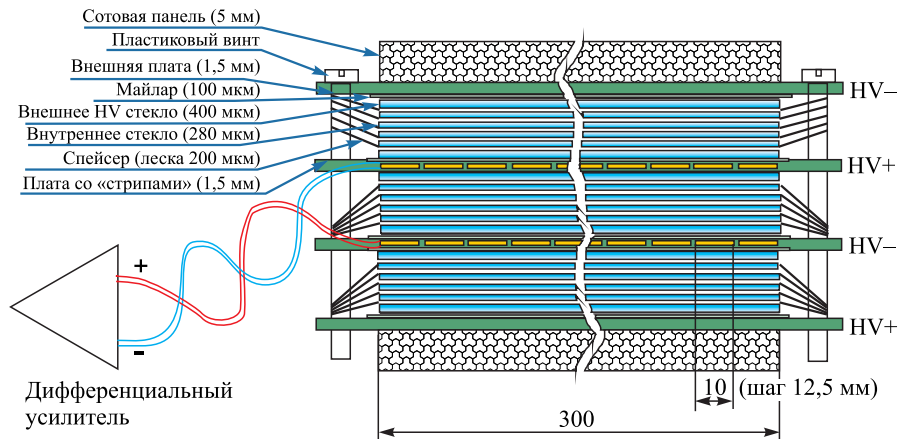


Рис. 9. Устройство МРПК для времяпролетной системы МРД

ширин газовых зазоров и резистивных электродов выбрано в целях улучшения временного разрешения, загрузочных характеристик и эффективности детектора. Активная область 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, расположенные 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 NINO [13]. В такой конструкции МРПК 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 МРД». Зависимость временного разрешения и эффективности регистрации частиц от приложенного напряжения представлена на рис. 10. Временное разрешение МРПК лучше 40 пс достигается при эффективности регистрации минимально ионизирующих частиц 98 %.

Испытываемый прототип МРПК был закреплен на устройстве позиционирования, при помощи которого перемещался и вращался относительно пучка в различных направлениях. Зависимость временного разрешения от положения пучка вдоль стрипа показана на рис. 11. Временное разрешение и множественность сработавших каналов для частиц, пересекающих плоскость детектора под различными углами поперек стрипов, представлено на рис. 12. Видно, что с увеличением угла влета возрастает число сработавших каналов, но изменение временного разрешения детектора при этом незначительно.

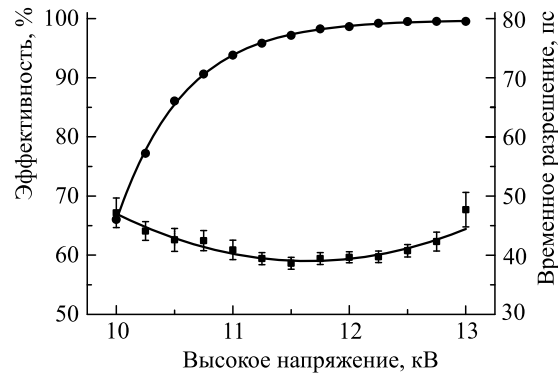


Рис. 10. Эффективность (●) и временное разрешение (■) в зависимости от высокого напряжения

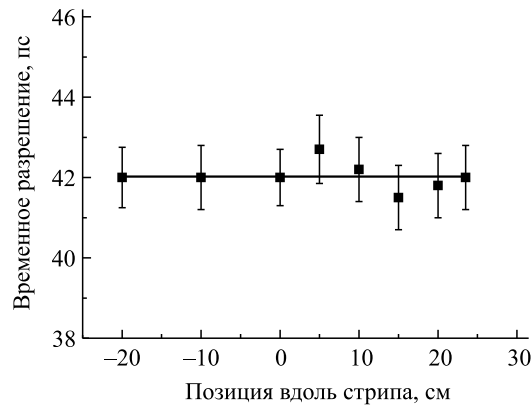


Рис. 11. Временное разрешение вдоль стрипа

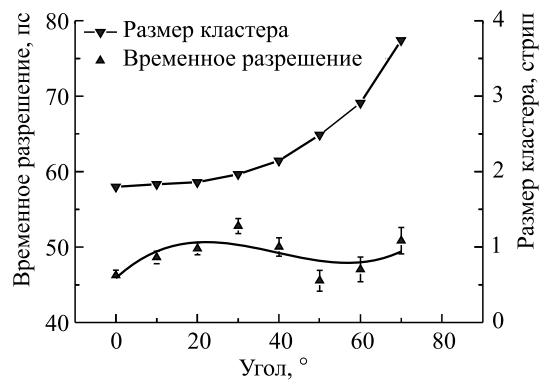


Рис. 12. Зависимость временного разрешения и размера кластера от угла влета частицы

На рис. 13 представлены результаты измерения нагрузочной способности трехстековой МРПК. При потоке частиц до 2 кГц/см^2 эффективность регистрации частиц выше 90 % и временное разрешение лучше 60 пс.

Помимо многозачерных РПК 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 ФЭУ XR85012/A1-Q на основе шевронной сборки из двух микроканальных пластин. Исходя из требования к TOF-системе MPD, стартовый детектор должен

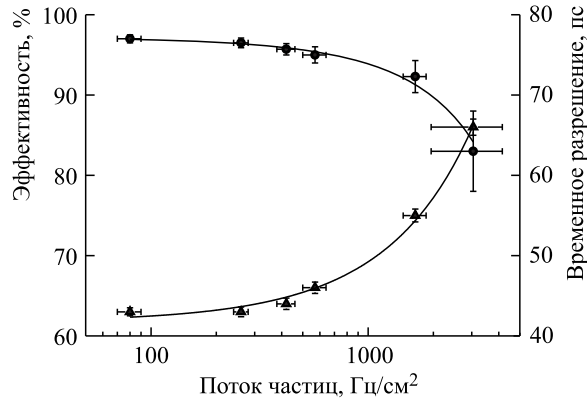


Рис. 13. Эффективность (●) и временное разрешение (▲) МРПК в зависимости от потока частиц

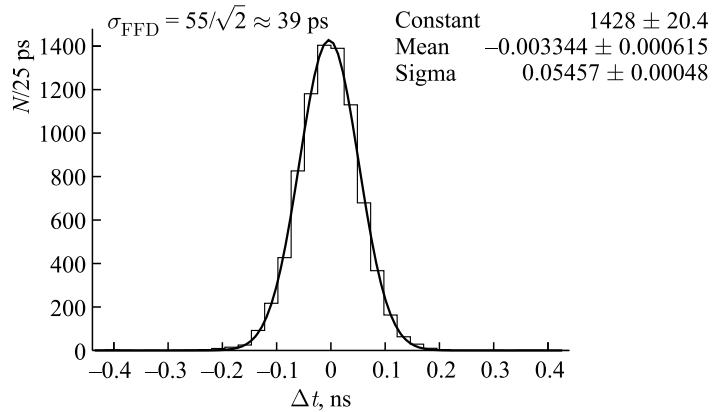


Рис. 14. Время пролета между модулями FFD, измеренное TDC32VL

иметь временное разрешение не хуже 50 пс. В тестовых измерениях на пучке дейтронов с прототипами FFD-модулей было получено среднее временное разрешение $\sigma_t \sim 39$ пс (рис. 14) с использованием время-цифрового преобразователя 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. Кирюшину, П. А. Рукояткину и Н. М. Пискунову. Данная работа поддержана грантом для молодых ученых и специалистов ОИЯИ на 2016 г. № 16-102-02.

ЛИТЕРАТУРА

1. The MultiPurpose Detector — MPD. Conceptual design report. Ver.1.4. JINR, Dubna. 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. JINR, Dubna. 2008; http://nica.jinr.ru/files/NICA_CDR.pdf
3. <http://afi.jinr.ru/MS16V>
4. Yurevich V. I. *et al.* // Part. Nucl., Lett. 2013. V. 10, No. 3. P. 414; doi 10.1134/S1547477115060102.
5. Newcomer F. M. *et al.* // IEEE Transactions on Nuclear Science. 1993. V. 40, Iss. 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, No. 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. *et al.* // Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems: Proceedings / Eds.: D. Bulfone, A. Daneels. Trieste, Italy, 1999. P. 475.
12. Babkin V. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2016. V. 824. P. 490; doi 10.1016/j.nima.2015.11.060.
13. Anghinolfi F. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 533. P. 183; doi 10.1016/j.nima.2004.07.024.
14. Yurevich V. I. *et al.* // Part. Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 6. P. 1204; doi 10.1134/S1547477115060102.

Получено 24 мая 2016 г.

Редактор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 10.06.2016.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,94. Уч.-изд. л. 1,06. Тираж 235 экз. Заказ № 58843.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/