

## ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

*Е. А. Задеба*<sup>1,\*</sup>, *Н. С. Барбашина*<sup>1</sup>, *А. А. Борисов*<sup>1,2</sup>,  
*Н. С. Волков*<sup>1</sup>, *А. С. Кожин*<sup>1,2</sup>, *Р. П. Кокоулин*<sup>1</sup>,  
*К. Г. Компаниец*<sup>1</sup>, *А. С. Овечкин*<sup>1</sup>, *В. В. Овчинников*<sup>1</sup>,  
*А. А. Петрухин*<sup>1</sup>, *Р. М. Фахрутдинов*<sup>1,2</sup>, *И. И. Яшин*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

<sup>2</sup> Институт физики высоких энергий Национального исследовательского центра  
«Курчатовский институт», Протвино, Россия

Многопроволочные дрейфовые камеры, разработанные для нейтринного эксперимента на ускорителе У-70 ИФВЭ, нашли новое применение в эксперименте по регистрации космических лучей сверхвысоких энергий в НИЯУ МИФИ. Высокий ресурс и хорошие пространственные и угловые характеристики камер делают их крайне привлекательными для применения в этой области. Дрейфовые камеры прошли тестирование в МИФИ, на их основе собрана координатно-трековая установка КТУДК, работающая совместно с черенковским водным детектором НЕВОД и детектором ДЕКОР. В статье приводятся результаты исследования характеристик дрейфовых камер в потоке космических лучей на стендах и установке КТУДК.

Multiwire drift chambers, designed for the neutrino experiment at the IHEP U-70 accelerator, found a new application in the experiment on registration of the ultrahigh energy cosmic rays at MEPHI. High durability and good spatial and angular characteristics of the chambers make them extremely attractive for the use in this area. The drift chambers have been tested at MEPHI; on their basis a coordinate-tracking installation CTUDC working together with the Cherenkov water detector NEVOD and the DÉCOR detector has been assembled. The paper presents the results of the study of drift chambers in the cosmic ray flux on the test benches and the CTUDC installation.

PACS: 29.40.Gx; 95.55.Vj; 95.85.Ry

### ВВЕДЕНИЕ

Дрейфовые камеры пришли в практику экспериментов на ускорителях заряженных частиц и в исследования космических лучей в конце 70-х гг.

---

\*E-mail: eazadeba@mephi.ru

прошлого века вслед за пропорциональными камерами. Основное их достоинство — возможность обеспечить точность измерения треков заряженных частиц существенно лучше, чем характерное расстояние между детектирующими элементами (сигнальными проволоками). Это свойство позволяет создавать крупномасштабные установки. Одной из таких установок в 1980-х гг. стал нейтринный детектор ИФВЭ–ОИЯИ [1] на ускорителе У-70 в ИФВЭ, для которого была разработана многопроволочная дрейфовая камера большой площади [2].

Отличительными особенностями камеры являются большая эффективная площадь ( $1,85 \text{ м}^2$ ) при относительно малом числе измерительных каналов и хорошие координатное (1 мм) и угловое ( $2^\circ$ ) разрешения. Габариты камеры составляют  $4000 \times 508 \times 112 \text{ мм}$ , рабочий объем заполнен газовой смесью 94 %  $\text{Ar} + 6\% \text{CO}_2$ . Массив полеформирующих проволок (рис. 1) создает внутри однородное электрическое поле напряженностью 450 В/см, направленное к центру камеры, где находятся катодные проволоки. Между катодными проволоками располагаются защитные и четыре сигнальных проволоки. Напряженность поля между сигнальными и катодными проволоками  $\sim 7 \text{ кВ/см}$  обеспечивает газовое усиление порядка  $10^5\text{--}10^6$ . Однородность электрического поля позволяет пользоваться линейным соотношением время дрейфа/координата, что упрощает работу с дрейфовой камерой. Поочередное смещение сигнальных проволок относительно центра дрейфовой камеры на 0,75 мм позволяет разрешать лево-правую неопределенность. Импульсы с сигнальных проволок обрабатываются усилителем-формирователем УД-6, выдающим на выходе сигналы длительностью 75–100 нс.

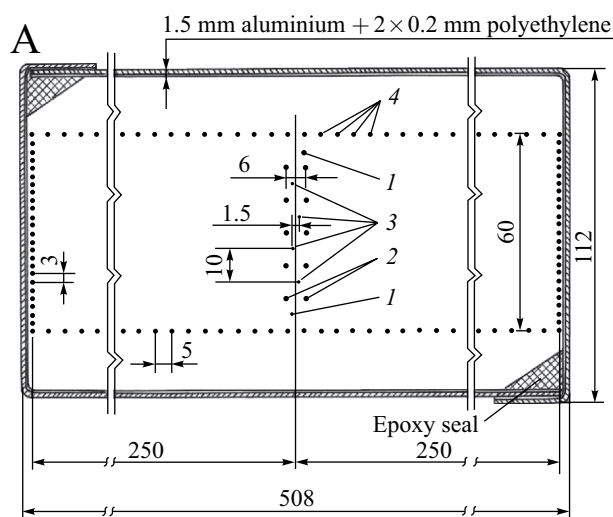


Рис. 1. Поперечное сечение многопроволочной дрейфовой камеры ИФВЭ

После завершения нейтринного эксперимента в ИФВЭ дрейфовые камеры, чей ресурс не был существенно выработан, будут использованы для создания в научно-образовательном центре НЕВОД крупномасштабной координатно-трековой установки ТРЕК [3], которая позволит существенно расширить возможности экспериментального комплекса по регистрации окологоризонтального потока мюонов от космических лучей сверхвысоких энергий с целью решения «мюонной загадки» — растущего с энергией избытка групп мюонов [4].

## 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР

Для контроля целостности и работоспособности в НОЦ НЕВОД был создан стенд [5], на котором ведется проверка всех основных характеристик камер после их транспортировки из ИФВЭ. Вся первая партия из 32 дрейфовых камер, доставленных в МИФИ, оказалась работоспособной (первичная проверка камер на целостность катодных нитей и герметичность после демонтажа из установки была проведена в ИФВЭ).

Дальнейшее исследование дрейфовых камер в потоке космических лучей проводилось на супермодуле (СМ) мюонного годоскопа УРАГАН. Методика тестирования (ее описание приводится в публикациях [6]) основана на совместной регистрации одиночных мюонов исследуемым детектором и мюонным годоскопом, обеспечивающим высокое пространственное разрешение регистрируемого трека мюона. В результате тестирования были исследованы эффективность, координатная и угловая точности дрейфовых камер, а также получены пространственные распределения этих характеристик по рабочей площади камеры.

На рис. 2 приведена зонная эффективность дрейфовой камеры. Поверхность камеры разбивается на ячейки размерами  $5 \times 20$  мм, для каждой ячейки рассчитывается отношение числа прошедших через нее частиц и число срабатываний при этом всех четырех сигнальных проволок ДК. Дрейфовые камеры показали превосходную зонную эффективность: на всей рабочей поверхности, за исключением края ДК, она составила не менее 99,5 %. В исследовании учитывались треки с зенитными углами до  $30^\circ$ , поэтому на расстоянии  $\sim 2$  см до края камеры эффективность начинает падать.

При обработке реконструированный по данным СМ УРАГАН трек проецируется на плоскость, в которой осуществляется реконструкция трека по данным дрейфовой камеры (плоскость, перпендикулярная сигнальным проволокам), затем результаты реконструкции сравниваются. На рис. 3 показано распределение событий по разнице в оценке углов треков, реконструированных по данным двух установок. С учетом точности УРАГАН  $\sim 1^\circ$  точность ДК оказалась близкой к  $2^\circ$ . Аналогичные распределения были получены для

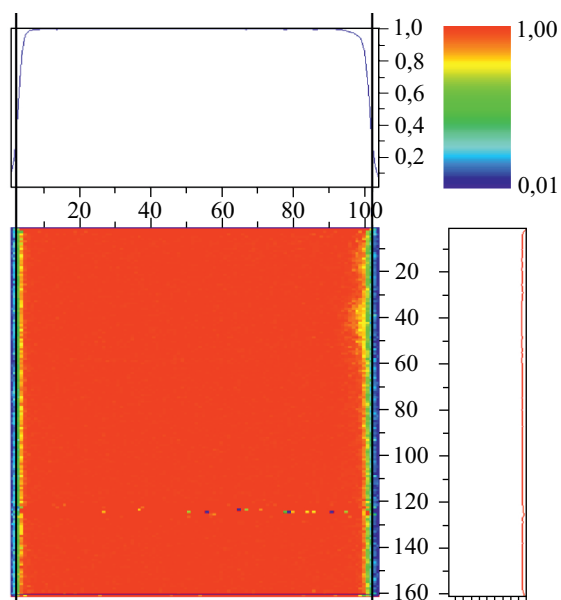


Рис. 2. Зонная эффективность дрейфовой камеры, измеренная с помощью детектора УРАГАН

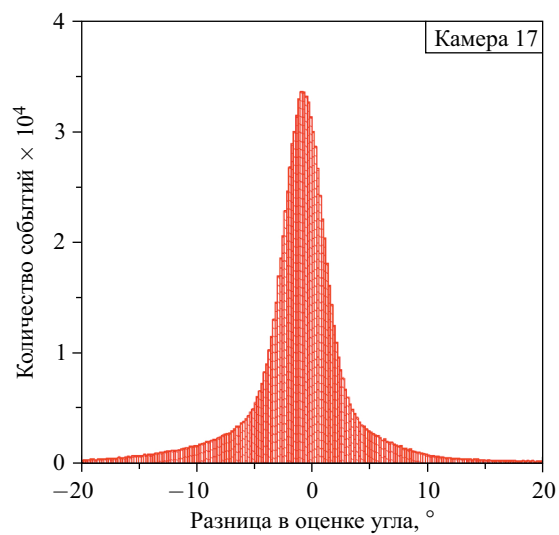


Рис. 3. Распределение событий по разнице в значении угла трека, реконструированного по данным УРАГАН и дрейфовой камеры

координатного разрешения. В ходе тестирования дрейфовые камеры показали хорошие характеристики, удовлетворяющие требованиям эксперимента.

## 2. КООРДИНАТНО-ТРЕКОВАЯ УСТАНОВКА НА ДРЕЙФОВЫХ КАМЕРАХ

Для отработки основных режимов работы дрейфовых камер и установок экспериментального комплекса НЕВОД [7], а также исследования возможностей дрейфовых камер по регистрации многочастичных событий, была создана координатно-трековая установка на дрейфовых камерах [8] (КТУДК). Установка представляет собой две координатные плоскости по 8 дрейфовых камер, установленные по разные стороны от черенковского водного детектора НЕВОД (рис. 4). Регистрирующая система КТУДК основана на времяцифровом преобразователе CAEN V1190A, получающем временную метку от триггерной системы НЕВОД.

Регистрирующие системы КТУДК и НЕВОД-ДЕКОР связаны локальной сетью, и регистрируемые события имеют идентичную нумерацию, что позволяет осуществлять их сшивку для совместной работы. На рис. 4 представлен пример регистрации одиночного мюона установками КТУДК, ЧВД и ДЕКОР. По данным КТУДК и ДЕКОР была проведена их кросс-калибровка, показавшая хорошее соответствие углов реконструированных треков в этих установках. На рис. 5 показано распределение событий по разнице в оценке угла между ДК и ДЕКОР, полученной методом, аналогичным тому, что применялся на СМ УРАГАН. Разница в угле оказалась не хуже результатов, полученных на стенде, что с учетом рассеяния мюона в воде и стенах бассейна говорит о высоком угловом разрешении установки.

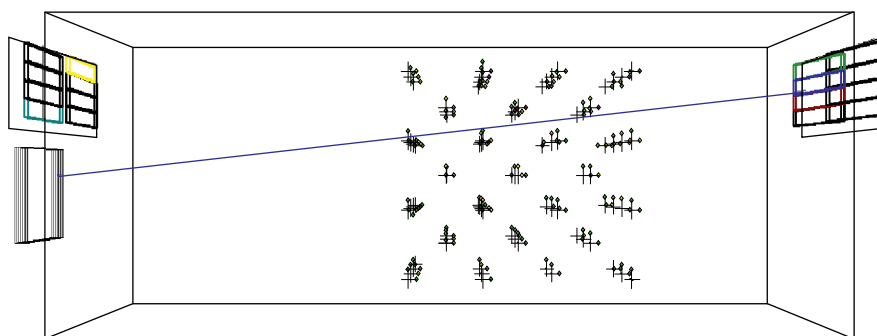


Рис. 4. Совместная регистрация одиночного мюона в КТУДК, ЧВД и ДЕКОР

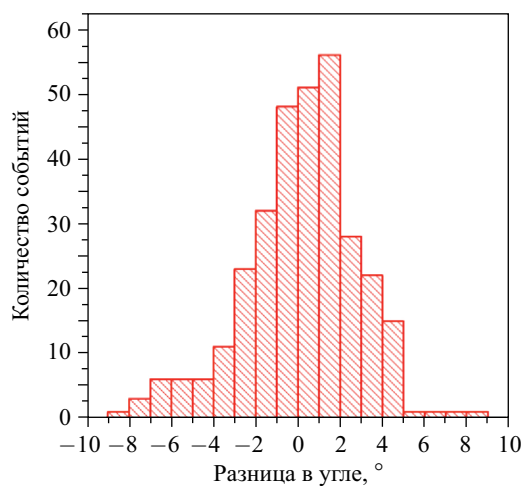


Рис. 5. Распределение событий по разнице в значении угла трека, реконструированного по данным ДЕКОР и дрейфовой камеры

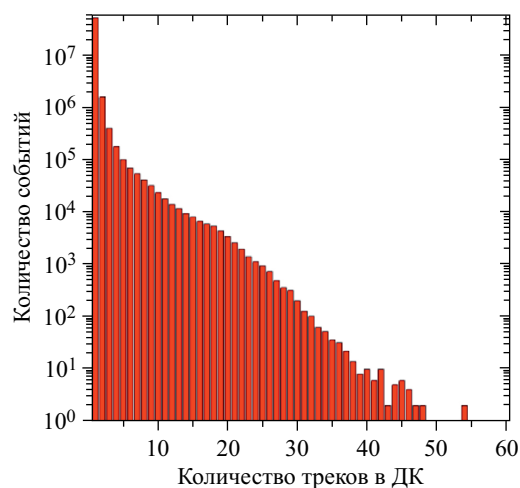


Рис. 6. Распределение событий по множественности треков в пределах одной дрейфовой камеры

Существующее ограничение установки ДЕКОР в определении плотности потока мюонов в событии составляет примерно 3 частицы на  $1 \text{ м}^2$ . На рис. 6 показано распределение событий по множественности для отдельной дрейфовой камеры. За множественность в данном случае берется количество срабатываний всех четырех проволок в пределах ДК в одном событии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многопроволочные дрейфовые камеры, разработанные для нейтринного эксперимента на ускорителе У-70 ИФВЭ, нашли новое применение в эксперименте по регистрации космических лучей сверхвысоких энергий в НИЯУ МИФИ. Камеры были протестированы в МИФИ в потоке космических лучей и показали хорошие характеристики для реконструкции как одиночных мюонов, так и их групп. Созданная на основе этих камер экспериментальная установка существенно расширит возможности экспериментального комплекса НЕВОД по регистрации наклонных широких атмосферных ливней.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Божко Н. и др.* Дрейфовая камера ( $3 \times 0,5$  м) с многопроволочным сигнальным элементом и с дрейфовыми промежутками 250 мм // *Материалы III Междуна. совещ. по пропорциональным и дрейфовым камерам.* Дубна, 1978.
2. *Bozhko N. I. et al.* Drift Chamber for the Serpukhov Neutrino Detector // *Nucl. Instr. Meth. A.* 1986. V. 243. P. 388.
3. *Zadeba E. A. et al.* The Coordinate-Tracking Detector Based on the Drift Chambers for Ultrahigh-Energy Cosmic Ray Investigations // *J. Instr.* 2014. V. 9. P. C08018.
4. *Petrukhin A. A.* NEVOD-DECOR Experiment and Evidences for Quark–Gluon Plasma in Cosmic Rays // *Nucl. Instr. Meth. A.* 2012. V. 692. P. 228.
5. *Zadeba E. A. et al.* Status of a Development of the Large Scale Coordinate-Tracking Setup Based on the Drift Chambers // *J. Phys. Conf. Ser.* 2015. V. 632. P. 012031.
6. *Ампилогов Н. В. и др.* Применение мюонного годоскопа УРАГАН для калибровки детекторов заряженных частиц // *Изв. РАН. Сер. физ.* 2015. Т. 79, № 3. С. 422–424.
7. *Петрухин А. А.* Черенковский водный детектор НЕВОД // *УФН.* 2015. Т. 185, № 5. С. 521–530.
8. *Zadeba E. A. et al.* The Registration System of the Coordinate-Tracking Setup on the Drift Chambers // *J. Phys. Conf. Ser.* 2016. V. 675. P. 032039.