

## СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ УСТАНОВКИ «КОВЕР-3» БНО ИЯИ РАН

*В. С. Романенко*<sup>1,2,\*</sup>, *И. А. Вайман*<sup>1</sup>, *Н. А. Васильев*<sup>3</sup>,  
*Е. А. Горбачева*<sup>1</sup>, *Д. Д. Джаппуев*<sup>1</sup>, *Т. А. Джатдоев*<sup>1,3</sup>,  
*И. М. Дзапарова*<sup>1</sup>, *К. В. Журавлева*<sup>1</sup>, *И. С. Карпиков*<sup>1</sup>,  
*Н. Ф. Клименко*<sup>1</sup>, *А. У. Куджаев*<sup>1</sup>, *А. Н. Куреня*<sup>1</sup>,  
*А. С. Лидванский*<sup>1</sup>, *О. И. Михайлова*<sup>1</sup>, *В. В. Петков*<sup>1</sup>,  
*Е. И. Подлесный*<sup>4</sup>, *Н. А. Позднухов*<sup>1</sup>, *Г. И. Рубцов*<sup>1</sup>,  
*С. В. Троицкий*<sup>1,3</sup>, *И. Б. Унатлоков*<sup>1</sup>, *М. М. Хаджиев*<sup>1</sup>,  
*А. Ф. Янин*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований РАН, Москва

<sup>2</sup> Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>4</sup> Норвежский университет науки и технологий, Тронхейм, Норвегия

Приводится техническое описание установки «Ковер-3» БНО ИЯИ РАН, предназначенной для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) в широком диапазоне энергий первичного космического излучения от 10 ТэВ до 10 ПэВ. Она состоит из наземного массива детекторов и подземного мюонного детектора, имеющих собственные системы регистрации, которые синхронизированы между собой.

The paper provides a technical description of the Carpet-3 facility of the BNO INR RAS, designed for registration extensive air showers (EAS) in a wide range of energies of primary cosmic radiation from 10 TeV to 10 PeV. It consists of a ground-based array of detectors and an underground muon detector, which have data acquisition systems that are synchronized with each other.

PACS: 96.50.sd

### ВВЕДЕНИЕ

Установка «Ковер-3» Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований Российской академии наук (БНО ИЯИ РАН) расположена в Баксанском ущелье Кабардино-Балкарской Республики. Ее высота над уровнем моря составляет 1700 м, а координаты установки: 43,2730° северной широты, 42,6845° восточной долготы. Установка «Ковер» была впервые введена в эксплуатацию в 1974 г. С тех пор она неоднократно модернизировалась и расширялась. Сегодня это одна

---

\* E-mail: vsromanenko@inr.ru

из старейших в мире экспериментальных установок для регистрации первичных космических лучей сверхвысоких энергий. Несмотря на свой возраст, установка не утратила своей научной значимости и продолжает набор экспериментальных данных. В статье [1] представлена краткая история установки и обзор результатов, полученных за все время ее работы.

Основной целью нового этапа развития установки является значительное увеличение площади ее наземной части, подземного мюонного детектора (МД) и создание новых систем сбора данных, а также модернизация уже существующих.

### СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

В работе установки используются два типа детекторов: на основе жидкого и пластического сцинтиллятора, общая схема которых показана на рис. 1.

Детектор на основе жидкого сцинтиллятора представляет собой алюминиевый бак с основанием  $700 \times 700$  мм, высотой 300 мм и объемом около 150 л. Бак заполнен сцинтиллятором на основе уайт-спирита, химическая формула которого имеет вид  $C_nH_{2n+2}$ , где  $n \approx 9$  и плотность  $0,78$  г/см<sup>3</sup>. Сцинтиллирующей добавкой является РРО, растворенный в количестве 1 г/л, в качестве спектросместительной добавки (шифтера) выступает РОРОР с количеством растворенного вещества 0,03 г/л. Светосбор осуществляется сквозь толстый иллюминатор (10 см) одним фотоэлектронным умножителем ФЭУ-49Б, имеющим диаметр фотокатода 150 мм. Наиболее вероятное энерговыделение при прохождении

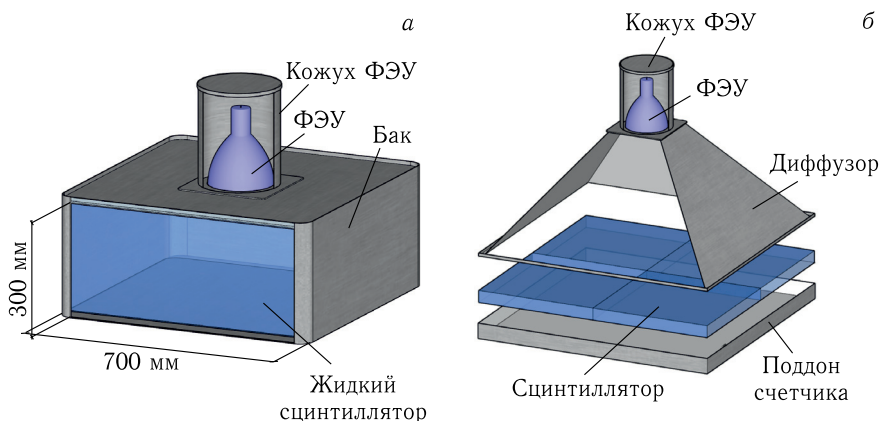


Рис. 1. Схема сцинтилляционных детекторов установки «Ковер-3»: а) на основе жидкого сцинтиллятора; б) на основе пластического сцинтиллятора

вертикальных мюонов составляет  $\sim 50$  МэВ и называется одной релятивистской частицей (р. ч.).

Детектор на основе пластического сцинтиллятора имеет форму усеченной четырехгранной пирамиды, в ее основании располагается поддон счетчика с размерами  $1005 \times 1005$  мм. В поддон устанавливаются четыре плиты пластического сцинтиллятора размерами  $495 \times 495$  мм и толщиной 50 мм, что обеспечивает общую площадь  $\sim 1$  м<sup>2</sup>. Используется полистирольный сцинтиллятор с отношением Н/С = 1, плотностью  $1,05$  г/см<sup>3</sup>, максимумом спектра высвечивания 420 нм и временем высвечивания 3 нс, изготавливаемый по заказу в НИЦ «Курчатовский институт», ИФВЭ. Поддон закрывается диффузором, в верхнем основании которого на высоте 450 мм устанавливается фотоэлектронный умножитель ФЭУ-49Б или ФЭУ-173, в зависимости от места установки детектора. Одна релятивистская частица составляет  $\sim 11$  МэВ.

### НАЗЕМНАЯ ЧАСТЬ УСТАНОВКИ

Наземная часть установки «Ковер-3», показанная на рис. 2, включает в себя центральную установку «Ковер» (обозначение А) и выносные пункты регистрации (ВПР) старого и нового образца (обозначения В и D, Е).

«Ковер» состоит из 400 детекторов на основе жидкого сцинтиллятора, которые описаны ниже, расположенных в форме квадрата со сторонами  $20 \times 20$  детекторов, образуя непрерывную площадь около  $196$  м<sup>2</sup>. Все детекторы «Ковра» оборудованы усилителями-дискриминаторами с порогом 0,5 р. ч. для измерения темпов счета и логарифмическим LC-преобразователем амплитуды с выхода седьмого диода ФЭУ и порогом 8 р. ч. в длительность логического сигнала, который используется для измерения энерговыделения в каждом сцинтилляционном детекторе. Впоследствии все сигналы по коаксиальным кабелям поступают в аппаратный зал на систему сбора данных. Дополнительно все анодные сигналы ФЭУ суммируются и подаются на амплитудный дискриминатор с порогом 15 р. ч., необходимый для выработки управляющего сигнала МАСТЕР.

Изначально на установке работало шесть ВПР, но после схода селя в Приэльбрусье в 2017 г. один был уничтожен, таким образом, сейчас в работе участвует пять старых ВПР (рис. 2, обозначение В), состоящих из 18 сцинтилляционных детекторов и имеющих форму  $3 \times 6$  с общей площадью около  $9$  м<sup>2</sup>. Анодные сигналы ФЭУ всех детекторов объединяются при помощи активного сумматора, и итоговый сигнал по коаксиальному кабелю длиной 120 м передается в аппаратный зал на временные дискриминаторы с порогом, настроенным на 0,5 р. ч.

В рамках создания установки «Ковер-3» планируется запуск в работу 39 новых ВПР (рис. 2, обозначение D и Е). Каждый состоит из 9 детекторов на основе пластического сцинтиллятора, имеющих форму  $3 \times 3$  и общей площадью около  $9$  м<sup>2</sup>. Анодные сигналы детекторов

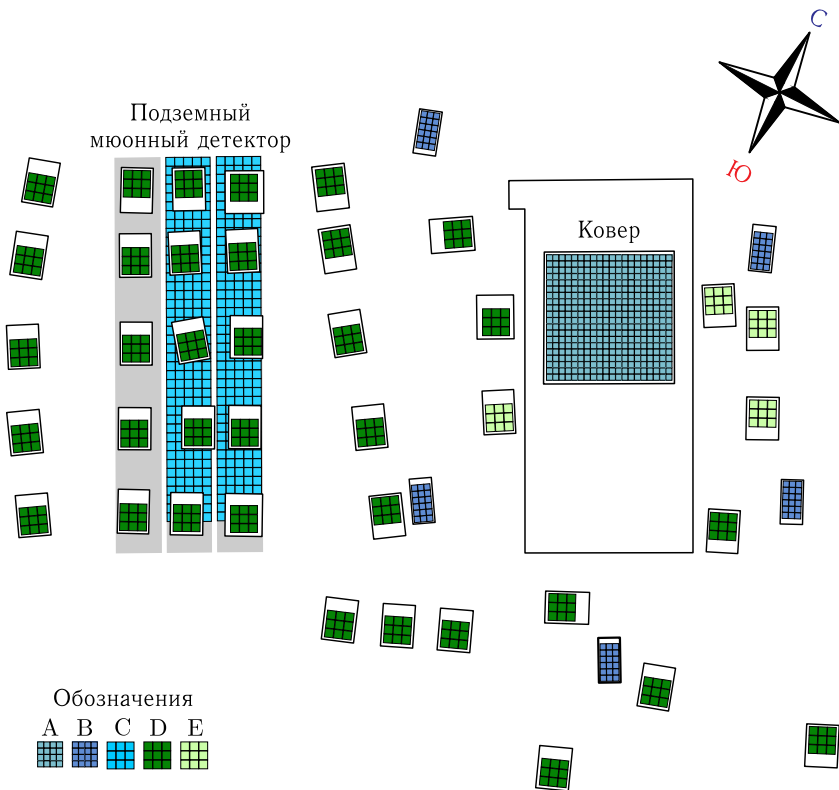


Рис. 2. Схема установки «Ковер-3». А — центральная установка «Ковер»; В — пять выносных пунктов регистрации на основе жидкого сцинтиллятора; С — подземный мюонный детектор; D и E — выносные пункты регистрации на основе пластического сцинтиллятора (полностью укомплектованные — D и без сцинтилляционных детекторов — E)

суммируются при помощи активного сумматора, и итоговый сигнал отправляется на систему сбора данных. На данный момент 35 новых ВПР (рис. 2, обозначение D) полностью укомплектованы сцинтилляционными детекторами и проходят стадию наладки оборудования, а оставшиеся четыре (обозначение E) будут укомплектованы в ближайшее время.

В настоящее время система регистрации наземной части установки состоит из трех основных компонентов: блока формирования управляющего сигнала МАСТЕР, измерения временных задержек ВПР и записи информации о сработавших детекторах «Ковра». Управляющий сигнал МАСТЕР служит для разрешения записи информации о событии с наземной части установки и с подземного мюонного детектора, что автоматически обеспечивает синхронизацию систем регистрации данных.

Для выработки управляющего сигнала требуется выполнить два условия: суммарное энерговыделение в «Ковре» более 15 р.ч. и срабатывание ВД четырех ВПР во временном интервале 1 мкс. Измерение временных задержек ВПР необходимо для определения направления прихода ливня времяпролетным методом, что обеспечивает угловое разрешение установки  $4,7^\circ$ . Сигналы сработавших усилителей-дискриминаторов и ЛС-преобразователей «Ковра» записываются при выработке управляющего сигнала МАСТЕР, что позволяет при помощи НКГ-функции определять полное число частиц в ливне —  $N_e$ .

## ПОДЗЕМНЫЙ МЮОННЫЙ ДЕТЕКТОР

Подземный мюонный детектор состоит из трех параллельных туннелей, нумеруемых по степени их удаленности от центральной установки «Ковер», соединенных общим холлом. Расстояние от центра установки «Ковер» до центра среднего туннеля МД составляет примерно 48 м. Каждый туннель имеет размеры  $\sim 45 \times 5,4$  м и разделен на два помещения: аппаратный зал для размещения аппаратуры, занимающей 2 м от общей длины туннеля, и помещение для сцинтилляционных детекторов.

Изначально в установке «Ковер-2» в среднем туннеле МД было установлено 175 детекторов на основе пластического сцинтиллятора. Каждый детектор оборудован фотоэлектронным умножителем ФЭУ-49Б, с которого сигнал 12-го динода поступал на логарифмический РС-преобразователь амплитуды в длительность логического сигнала. Анодные сигналы суммировались по 35 детекторов (всего 5 модулей), суммарный сигнал с каждого модуля МД поступал на зарядово-цифровой преобразователь системы регистрации установки «Ковер-2».

Затем в ходе модернизации до установки «Ковер-3» детекторами на основе пластического сцинтиллятора были целиком заполнены первый и второй туннели МД, всего 235 новых детекторов. Новые детекторы оборудованы ФЭУ-173, с которого анодный сигнал поступал на временные дискриминаторы со следящим порогом (ВДСП), настроенным на 0,5 р.ч., для фиксации времени события с наносекундной точностью. Сигнал с 11-го динода поступает на логарифмический ЛС-преобразователь заряда в последовательность импульсов, где количество импульсов пропорционально логарифму энерговыделения в детекторе.

Новая система регистрации МД располагается в аппаратном зале первого туннеля, основным элементом ее являются времяцифровые преобразователи (ВЦП) фирмы Саеп, модель V1190А. Относительно управляющего сигнала ВЦП собирает информацию со 175 детекторов, оборудованных РС-преобразователями, и 235 детекторов, оборудованных ВДСП, что позволяет оценить количество мюонов  $n_\mu$  в составе зарегистрированного ШАЛ, тем самым выполнять фотон-адронное разделение ШАЛ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За свою долгую историю установка претерпевала несколько фаз модернизации и продолжала свою работу. Площадь подземного мюонного детектора увеличена до 410 м<sup>2</sup>, и запущен полноценный сбор данных, за исключением измерения энерговыделения с 235 новых детекторов, что будет исправлено в ближайшее время. Значительно расширена наземная часть установки путем создания 35 новых выносных пунктов регистрации, и в настоящий момент ведутся работы по их подключению к системе регистрации установки.

В результате модернизации установки «Ковер-3» БНО ИЯИ РАН предполагается значительно увеличить эффективную площадь, улучшить угловое разрешение и повысить режекцию адронного фона, необходимую для задач гамма-астрономии сверхвысокой энергии.

**Финансирование.** Данная работа выполнена на УНУ «Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп» (ЦКП Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН) и финансировалась за счет средств федерального бюджета.

**Конфликт интересов.** Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романенко В. С., Петков В. Б., Лидванский А. С. Гамма-астрономия сверхвысоких энергий на установке «Ковер» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН // ЖЭТФ. 2022. Т. 161, № 4. С. 523–532.