

## СРЕДСТВА ПУБЛИКАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RUSCOSMICS НА САЙТЕ ПРОЕКТА

**А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко**

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия  
germanenko@pgia.ru

## MEANS OF PUBLISHING EXPERIMENTAL DATA FOR VERIFICATION OF THE RUSCOSMICS SOFTWARE PACKAGE ON THE PROJECT WEBSITE

**A.V. Germanenko, E.A. Maurchev, E.A. Mikhalko**

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia  
germanenko@pgia.ru

**Аннотация.** В Полярном геофизическом институте (ПГИ) на станции нейтронного монитора «Апатиты» был разработан программный комплекс RUSCOSMICS, предназначенный для расчета детектирующего оборудования и прохождения космических лучей через атмосферу Земли. Одним из этапов моделирования является верификация, которая производится путем сравнения полученных результатов с экспериментальными данными, полученными при помощи реальных установок. Для этого авторы используют как свои разработки, так и данные регулярного баллонного эксперимента. В первом случае, после сбора информации ее необходимо структурировать. Для этого нами используются специализированные системы сбора данных с их последующей обработкой. В представленной работе рассматривается пример использования микроконтроллера ATmega и микрокомпьютера Raspberry Pi для решения задачи сбора и хранения полученных данных, а также их передачи на сервер сайта проекта RUSCOSMICS с целью последующей трансляции.

**Ключевые слова:** ионизация, метод Монте-Карло, численное моделирование, космические лучи, физика частиц, детекторы корпускулярного излучения, микроконтроллерная техника.

**Annotation.** In the Polar Geophysical Institute (PGI) at the Apatity neutron monitor station, the RUSCOSMICS software package was developed for calculating the detection equipment and the passage of cosmic rays through the Earth's atmosphere. One of the modeling stages is verification, which is performed by comparing the obtained results with experimental data obtained using real installations. For this, the authors use both their own developments and the data from a regular balloon experiment. In the first case, after collecting information, it must be structured. To do this, we use specialized data collection systems with their subsequent processing. This paper presents an example of using an ATmega microcontroller and a Raspberry Pi microcomputer to solve the problem of collecting and storing the received data, as well as their transfer to the server of the RUSCOSMICS project site for subsequent broadcasting.

**Keywords:** ionization, Monte Carlo method, numerical simulation, cosmic rays, particle physics, particle radiation detectors, microcontroller technology.

### ВВЕДЕНИЕ

В Полярном геофизическом институте проводятся модельные эксперименты по расчету прохождения частиц КЛ через атмосферу Земли. Для этого на станции нейтронного монитора «Апатиты» базе пакета для разработки программ GEANT4 [Agostinelli et al., 2003] был создан специальный программный комплекс RUSCOSMICS, позволяющий получать данные об интенсивностях потоков вторичных КЛ (галактических и солнечных), а также вычислять скорость ионизации (локально или для всех значений широт).

Немаловажным этапом в процессе проведения расчетов является последующая верификация полученных данных. Один из методов верификации — сравнение интенсивности потоков заряженных частиц вторичных КЛ с аналогичными данными, которые получены экспериментальным методом при помощи измерений счетчиком Гейгера. Для этого был разработан и изготовлен детектор заряженной компоненты (ДЗК).

### ПРИНЦИП РАБОТЫ ДЗК

Детектирующим объемом заряженной компоненты являются счетчики Гейгера-Мюллера. При попадании частицы в металлический корпус происходит выбивание электронов по направлению к нити, где они ускоряются под действием электриче-

ского поля. На этом пути они ионизируют молекулы газа, выбивая вторичные электроны. Процесс многократно повторяется и количество электронов лавинообразно увеличивается, что приводит к возникновению разряда между катодом и анодом [Knoll, 2000]. Счетчики Гейгера-Мюллера, строго говоря, не обладают 100 % эффективностью при регистрации заряженных частиц. Это обусловлено тем, что частица, прошедшая через счетчик, может не создать даже одной пары ионов (либо ионы возникнут в нерабочей области). Тем не менее, эффективность счетчика к электронам и мюонам может достигать 99 % [Каннелсон и др., 1985]. В ДЗК для верификации RUSCOSMICS установлено 8 счетчиков типа СТС-б.

Блок-схема детектора представлена на рис. 1. Счетчики включены последовательно между собой в ряд, по логической схеме «или». Предполагается, что устройство наиболее чувствительно к электронам с  $E > 2$  МэВ, протонам с  $E > 2$  МэВ и гамма-квантам с  $E > 20$  кэВ (с эффективностью детектирования  $\delta \sim 1$  %) [de Mendonca, 2011]. Для обеспечения работы счетчиков высоким напряжением, которое составляет 400 В, произведено усовершенствование электронной схемы ДЗК при помощи разработки и установки в прибор стабильного источника высокого напряжения индуктивного типа. Новый источник обладает высоким КПД при небольших габаритах. В итоге, благодаря небольшим размерам источника питания

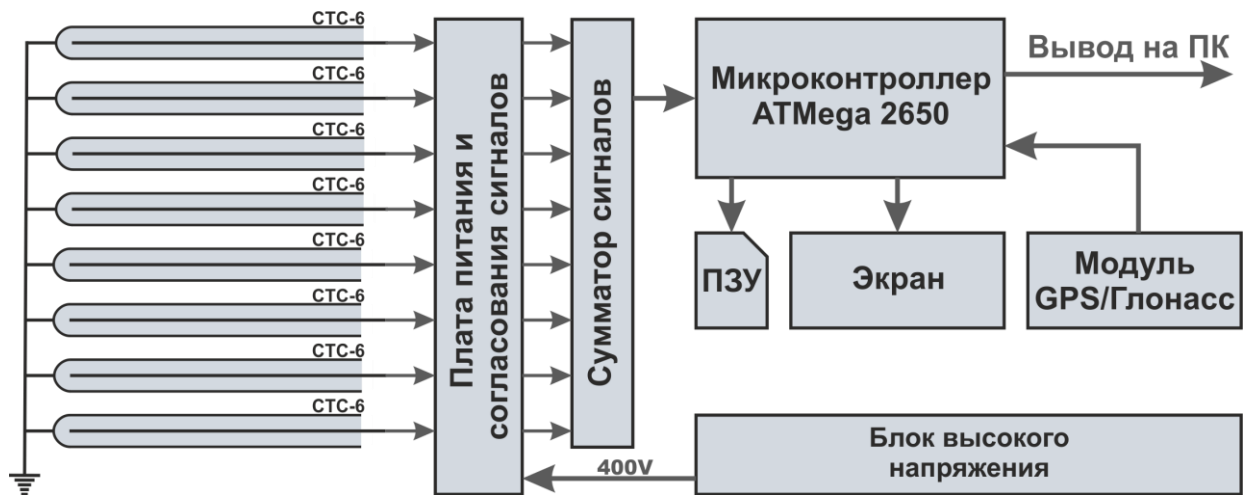


Рис. 1. Блок-схема детектора заряженной компоненты КЛ, разработанного и введенного в эксплуатацию на станции КЛ «Апатиты»

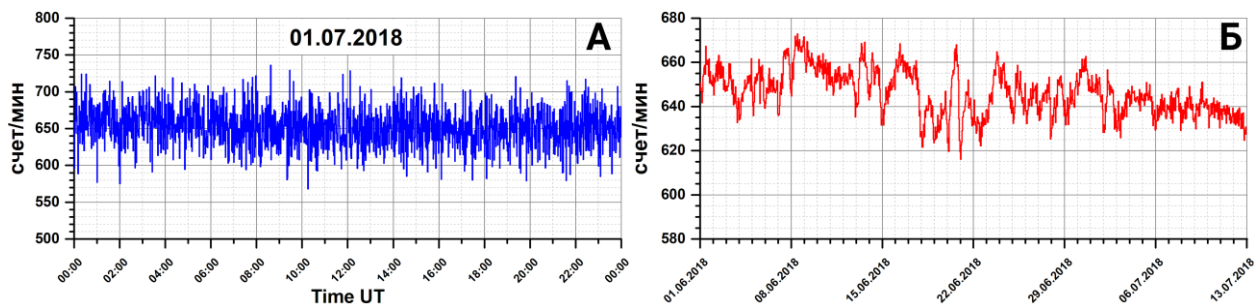


Рис. 2. Типовые графики, полученные при помощи наземного детектора. На панели А представлены данные для определенной даты, на панели Б представлены результаты измерений в течение месяца

и габаритам счетчиков, ДЗК обладает небольшим весом и геометрическими размерами, что обеспечивает устройству мобильность и простоту в установке в качестве дополнительного оборудования в различных пунктах наблюдения.

Система сбора данных в данном варианте детектора основана на микроконтроллере и при необходимости позволяет отказаться от компьютера в качестве регистрирующего устройства. В качестве устройства регистрации импульсов используется микроконтроллер ATmega 2560 дополнительно оборудованный модулем для подключения карт памяти (microSD) и модулем GPS для поддержания точного времени. Прошивка микроконтроллера написана на языке C++ с использованием ряда стандартных библиотек, часть из которых была модифицирована для получения необходимой функциональности. Питание устройства обеспечивается либо внешним блоком питания (12 В, 500 мА), либо блоком батарей.

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Начиная с июля 2018 г. наземный ДЗК ведет непрерывную регистрацию заряженной компоненты, располагаясь на станции космических лучей «Апатиты». Типовые графики представлены на рис. 2.

### СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Изготовленный нами ДЗК может накапливать и хранить данные во внутренней памяти. Однако для

оперативной верификации расчетных данных программного комплекса RUSCOSMICS необходимо было автоматизировать передачу данных с ДЗК на сайт проекта. В процессе передачи, также стоило производить предварительную обработку экспериментальных данных для представления их на сайте. В качестве устройства для снятия, обработки и передачи данных был выбран одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi. Для обработки данных ДЗК был написан программный комплекс, блок-схема которого представлена на рис. 3.

Программный комплекс, состоит из трех компонентов. Первый компонент «CPD\_Proc» — служит для сбора данных с ДЗК и сохранения их в базу данных. Он написан на языке C++ и использует специальные библиотеки для установления соединения с ДЗК и передачи данных. Этот компонент получает от ДЗК данные в реальном времени с минутным временным разрешением и сохраняет эти данные в общую базу данных. Второй компонент «CPD\_Graph» — преобразует текстовые данные в графики. Этот компонент использует библиотеки gnuplot. Третий компонент «CPD\_Send» занимается пересылкой текстовых и графических данных на сайт проекта RUSCOSMICS по протоколам FTP или rsync, используя набор shell-скриптов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы по созданию средств для верификации модельного эксперимента был разработан не только универсальный стационарный детектор заря-

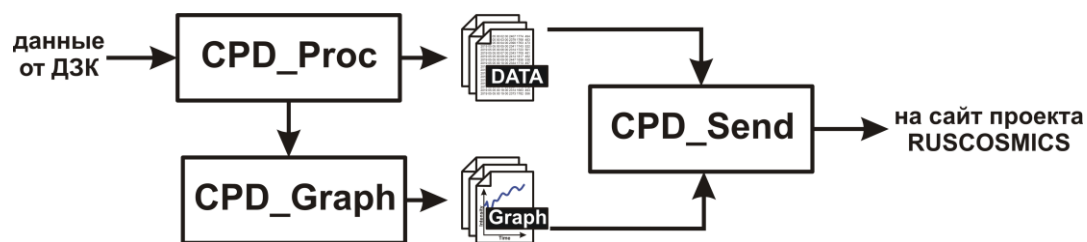


Рис. 3. Блок-схема системы сбора, обработки и передачи данных ДЗК на сайт проекта RUSCOSMICS

женной компоненты, но и его портативная версия, позволяющая производить измерения в любой интересующей точке. Оба устройства оборудованы автоматизированной системой сбора, обработки, хранения и передачи данных, выполненной на современной элементной базе. Следует заметить, что проведенных на сегодня измерений все еще недостаточно, необходимо постоянно дополнять их, покрывая насколько можно большую площадь. В перспективе, для создания корректной и универсальной модели будет создана обширная база данных таких измерений, имеющих высокое разрешение не только по широте и долготе, но и по временным промежуткам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кацнельсон Б.В., Калугин А.М., Ларионов А.С. Электровакуумные электронные и газоразрядные приборы. Справочник. М.: Радио и связь, 1985. 864 с.

Agostinelli S., et al. Geant4 — A Simulation Toolkit. Nuclear Instruments and Methods. 2003. A 506. P. 250–303. DOI: [10.1016/S0168-9002\(03\)01368-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(03)01368-8).

Knoll G.F. Radiation Detection and Measurement, third edition, John Wiley and sons, New York, 2000, 803 p.

R. R. S. de Mendonca J.P., Raulin F.C., Bertoni P., et al. Long-term and transient time variation of cosmic ray fluxes detected in Argentina by CARPET cosmic ray detector // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2011. V. 73. P. 1410–1416.