

УДК 524.1

КОМПАКТНЫЕ СЧЕТЧИКИ ЗАРЯЖЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ СРЕДСТВО ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

© 2021 г. Е. А. Маурчев¹, *, Ю. В. Балабин¹, А. В. Германенко¹

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
“Полярный геофизический институт”, Апатиты, Россия

*E-mail: maurchev1987@gmail.com

Поступила в редакцию 21.06.2021 г.

После доработки 05.07.2021 г.

Принята к публикации 28.07.2021 г.

Представлено описание и технические характеристики компактных счетчиков Гейгера, предназначенных для верификации расчетов прохождения космических лучей через атмосферу Земли. Показаны результаты в виде сравнения высотных профилей скорости счета заряженных частиц, полученных в результате моделирования и проведения реальных экспериментов.

DOI: 10.31857/S0367676521110235

ВВЕДЕНИЕ

Для исследования прохождения космических лучей (КЛ) через атмосферу Земли используются как экспериментальные, так и численные методы [1–6]. В том случае, когда для определения параметров потоков вторичных частиц (спектров, угловых распределений, интенсивности) используется моделирование, необходимо быть уверенным в корректности работы используемой модели. Для этого нами проводится верификация, основанная на сравнении экспериментальных данных с результатами расчетов. Наиболее подходящими данными являются высотные профили, полученные во время запуска шаров-зондов с установленными на них счетчиками Гейгера. Главным преимуществом здесь является долговременный характер проводимых исследований, в течение нескольких десятилетий, а также большое значение достигаемых высот (до 30 км). Однако при решении таких задач, как расчет скорости ионизации в точках с различным значением жесткости геомагнитного обрезания, желательно иметь измерения для нескольких точек с различными географическими координатами. Поэтому нами было решено разработать собственные компактные счетчики ионизирующего излучения, позволяющие производить запись данных с привязкой к портативному мобильному устройству на базе операционной системы Android и с перспективой объединения ряда этих детекторов в единую сеть. Такой подход позволит расширить географию измерений и допол-

нить уже имеющиеся данные с высоким разрешением по высоте, получаемые при помощи шаров-зондов с установленными на них счетчиками Гейгера. Следует заметить, что ранее уже проводились попытки измерений подобным оборудованием, хоть и для весьма локальных точек [7], при этом представленные результаты находятся в согласии с тем, что получаем мы.

В ходе проведения эксперимента по созданию дополнительной системы верификации программного комплекса RUSCOSMICS [5], у используемого ранее детектора [8–10] был выявлен существенный недостаток, который заключается в том, что его размеры далеки от компактных и транспортировка с целью проведения измерений на самолете становится весьма затруднительной. Также в старой модификации прибора запись скорости счета частиц из заряженной компоненты производится на SD-карту, а реализовать интерфейс передачи данных в режиме реального времени можно только при стационарном использовании через проводное соединение. В этой работе нами представлена реализация компактного детектора с системой сбора на базе микроконтроллера ESP32 и любого портативного устройства с платформой Android. Особенностью прибора является то, что данные могут записываться в память смартфона, откуда, при наличии подключения к сети Интернет, автоматически перенаправляются в удаленную базу (в любом формате, например SQL). Для реализации функции связи детектора и мобиль-

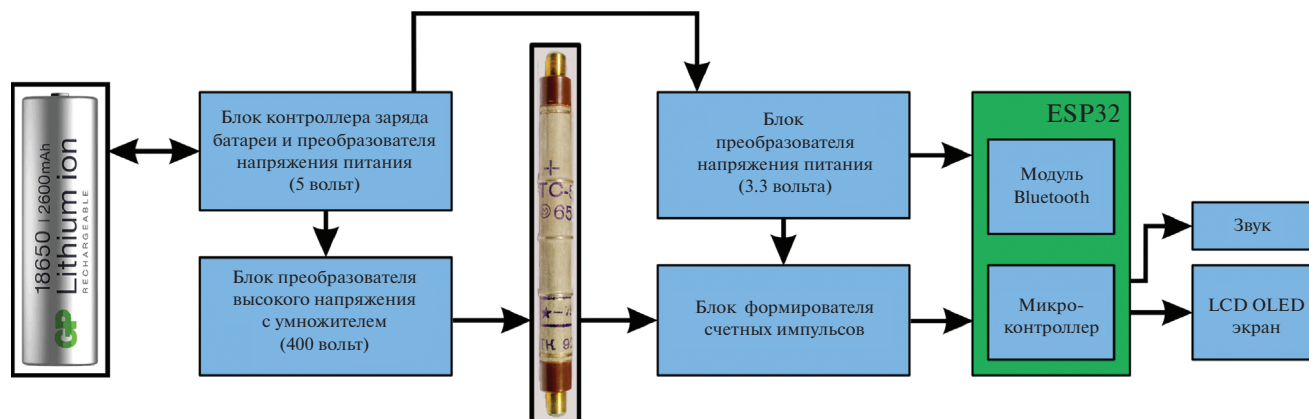


Рис. 1. Принципиальная блок-схема компактного счетчика Гейгера, предназначенного для дополнительной верификации вычислений прохождения КЛ через атмосферу Земли.

ного устройства используется беспроводной канал передачи Bluetooth. Представлены типовые графики записи скорости счета с привязкой к координатам, полученным через GPS, а также схема взаимодействия с внешней базой данных.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДЕТЕКТОРА

Особенностью разработанного детектора является использование современного и недорогого микроконтроллера ESP32 (Tensilica Xtensa LX6 [11]), имеющего широкий функционал и низкое энергопотребление.

Питание всех узлов производится от LiIon аккумуляторной батареи серии 18650. Преобразование до нужного уровня, стабилизация выходного напряжения и заряд осуществляются при помощи специализированного модуля, имеющего удобный форм-фактор и функциональную компоновку (есть регулятор диапазона значений и разъем типа micro-USB, позволяющий стационарно питать и заряжать устройство). Рабочее напряжение счетчика ($U = 400$ В) формируется составным модулем, состоящим из мультивибратора, преобразующего трансформатора и умножителя. Блок формирователя счетных импульсов, необходимых для выполнения функции по прерыванию, использует опорное напряжение 3.3 вольта, безопасное для входов порта микроконтроллера. Их длительность составляет $t = 100$ мкс. Полученный сигнал подается на вход микроконтроллера ESP32, где регистрируется программой и сохраняется в память устройства. Каждое срабатывание счетчика сопровождается звуковым сигналом пьезоэлемента, который может быть по желанию отключен. Информация о текущем счете и количестве зарегистрированных частиц за минуту выводится на экран, также каждую секунду формируется пакет данных, который передается по беспроводной линии связи с использованием спецификации Bluetooth Low Ener-

gy (BLE) на устройство под управлением ОС Android со специально установленной программой. Принципиальная блок-схема детектора представлена на рис. 1. Габариты корпуса последней модификации равны: длина — 120 мм, ширина — 40 мм, высота — 25 мм.

СРАВНЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ С РЕЗУЛЬТАТОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Во время запуска шара-зонда или полета на авиалайнере происходит запись высотного профиля скорости счета заряженных частиц и гамма-квантов. При проведении расчетов прохождения протонов первичных КЛ через атмосферу Земли,

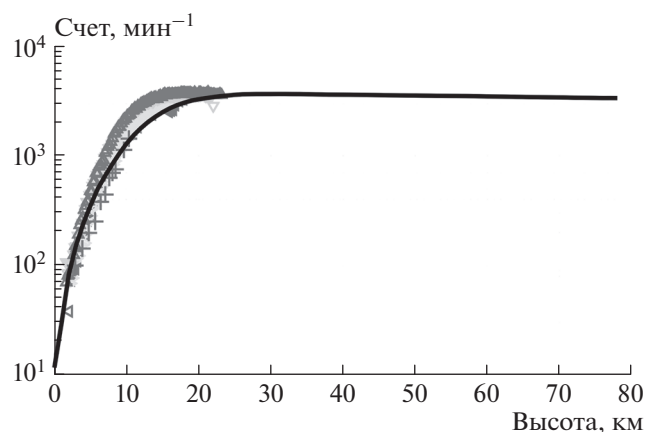


Рис. 2. Сравнение высотных профилей скорости счета, полученных во время запуска шаров-зондов для разных периодов времени и проведения измерений на самолете, с результатами моделирования прохождения протонов ГКЛ. Треугольник влево — измерения на зонде (04.01.2010), треугольник вниз — измерения на зонде (11.01.2010), треугольник вверх — измерения на зонде (18.01.2010), крестики — измерения на аэробусе 2018 (67.95 с.ш., 32.8 в.д., набор высоты), сплошная линия — данные расчетов.

можно воспроизвести этот эксперимент путем подсчета электронов, позитронов, мюонов, протонов и гамма-квантов в детектирующих объемах, расположенных на разных высотах с определенным шагом (например, 1 км). Тогда суммарное число частиц, зарегистрированных в i -м модельном детекторе, можно выразить через формулу (1):

$$J_i = J_{i(e^-e^+)} + J_{i(\mu^-\mu^+)} + J_{ip} + 0.01J_{i\gamma}, \quad (1)$$

где $J_{i(e^-e^+)}$ – электроны и позитроны, $J_{i(\mu^-\mu^+)}$ – мюоны, J_{ip} – протоны, $J_{i\gamma}$ – гамма-кванты, зарегистрированные в i -м модельном детекторе. После этого можно произвести сравнение экспериментальных и расчетного профилей, пример приведен на рис. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и собран портативный счетчик Гейгера, работающий в режиме измерения интенсивности потока заряженных частиц, оснащенный современной системой сбора данных на базе функционального микроконтроллера ESP32, а также написано приложение на ОС Android, позволяющее в автоматическом режиме собирать данные, которые потом могут быть легко размещены при помощи API на любом подходящем сервере. Основной особенностью устройства является то, что в качестве основного канала связи для передачи информации используется модуль Bluetooth Low Energy. Совокупность использованных решений обеспечивает пользователя инструментом измерения, работающим в фоновом режиме и который может использоваться как мобильная, так и стационарная система регистрации фонового из-

лучения. Авторы предполагают, что вследствие наличия у них возможности изготовления такого оборудования удастся построить сеть, наблюдающую за фоновым потоком вторичных частиц космического излучения для точек с различными географическими координатами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bazilevskaya G.A., Usoskin I.G., Flückiger E.O. et al.* // Space Sci. Rev. 2008. V. 137. P. 149.
2. *Stozhkov Yu.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya, G.A. et al.* // Adv. Space Res. 2009. V. 44. No. 10. P. 1124.
3. *Makhmutov V.S., Bazilevskaya G.A., Stozhkov Y.I. et al.* // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2016. V. 149. P. 258.
4. *Маурчев Е.А., Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.Б. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. № 5. С. 711; *Maurchev E.A., Balabin Yu.V., Gvozdevskii B.B. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2015. V. 79. No. 5. P. 657.
5. *Маурчев Е.А., Михалко Е.А., Германенко А.В. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2019. Т. 83. № 5. С. 712; *Maurchev E.A., Mikhalko E.A., Germanenko A.V. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2019. V. 83. No. 5. P. 653.
6. *Маурчев Е.А., Балабин Ю.В.* // Солн.-земн. физ. 2016. Т. 2. № 4. С. 3; *Maurchev E.A., Balabin Yu.V.* // Sol.-Terr Phys. 2016. V. 2. No. 4. P. 3.
7. *Маурчев Е.А., Германенко А.В., Михалко Е.А. и др.* // Сб. тр. XVI Конф. молодых ученых. Сер. "Мех. упр. информ." 2019. С. 103.
8. *Blanco F., La Rocca P., Riggi F.* // Eur. J. Phys. 2009. V. 30. No. 4. P. 685.
9. *Германенко А.В., Маурчев Е.А., Михалко Е.А.* // Phys. Aur. Phenom. 2019. V. 42. No. 1(43). P. 119.
10. *Маурчев Е.А., Михалко Е.А., Германенко А.В. и др.* // Тр. Кольск. науч. центра РАН. 2018. Т. 9. № 5–4. С. 76.
11. *ESP32 Datasheet.* Version 3.3. Espressif Systems, 2020. 56 p.

The compact Geiger counters as an additional tool for verification of the modeling of cosmic rays' propagation through the Earth's atmosphere

E. A. Maurchev^{a,*}, Yu. V. Balabin^a, A. V. Germanenko^a

^aPolar Geophysical Institute, Apatity, 184209 Russia

*e-mail: maurchev1987@gmail.com

We present the description and technical characteristics of the compact Geiger counters designed to verify the calculations of the transport of cosmic rays through the Earth's atmosphere. The results are shown in the form of a comparison of the charged particles count rate profiles obtained both a result of simulation and in the real experiments.