

УДК 520.2.01./07

ДЕТЕКТОР ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ШАЛ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

© 2019 г. С. В. Матаркин¹, *, Л. В. Тимофеев¹

¹Институт космических исследований и аэронавтики имени Ю.Г. Шафера
Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра
“Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук”, Якутск, Россия

*E-mail: MatarkinSV@ikfia.ysn.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

Представлено описание быстродействующего черенковского детектора с высоким временным разрешением (1.42 нс). Интерес к подобному черенковскому детектору широких атмосферных ливней вызван потребностью в более точных измерениях формы черенковского импульса. В настоящее время продемонстрирована эффективность эксплуатируемого интегрального черенковского детектора.

DOI: 10.1134/S0367676519050235

ВВЕДЕНИЕ

Одним из информативных методов исследования широких атмосферных ливней (ШАЛ) является изучение черенковского излучения (ЧИ) в атмосфере. При наличии быстродействующей аппаратуры, помимо традиционного метода измерения интегрального потока ЧИ [1], становится доступным метод измерения формы импульса, впервые предложенный Христиансенем и Фоминым [2]. Совмещая данный метод с угловыми характеристиками, можно определить глубину максимума вклада ЧИ. Зная эту величину, можно вычислить глубину максимума каскада. Длительность импульса на расстояниях >200 м от оси ливня зависит от химического состава первичного космического излучения (ПКИ), вызвавшего данный ливень [2, 3]. Для измерений формы импульса в первую очередь требуется высокое временное разрешение детектора. Перспектива достижения высокой точности данной характеристики, послужила мотивом к созданию оптического детектора, с улучшенным разрешением по времени.

1. ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНСТРУКЦИЯ ЧЕРЕНКОВСКОГО ДЕТЕКТОРА

Для данного черенковского детектора используется фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) ET Enterprises Type 9266В диаметром 51 мм (2"). У данной модели ФЭУ бищелочной фотокатод (КС) на основе боросиликата, 10 динодов из SbCs с ли-

нейной фокусировкой, обеспечивающих высокий коэффициент усиления (0.6×10^6), стабильность сигнала и малое время отклика. Квантовая эффективность – 30%. Интервал чувствительности $\lambda \in (290, 630)$ нм. Полное описание ФЭУ в [4]. Резистивный делитель напряжения гарантирует стабильность разности потенциалов между динодами. ФЭУ. Делитель напряжения и предусилители располагаются внутри основной конструкции с внутренним матовым покрытием, сверху которого вставляется линза Френеля. Линза Френеля используется для увеличения площади светосбора. Конструкции с ФЭУ прикреплены к стойке, оборудованной ватерпасом и транспортирами (для регулировки зенитного угла).

2. СБОР И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Сигналы с выхода анода ФЭУ на предусилителе делятся на 2 канала: усиленный (в 4 раза), и уменьшенный (в 2 раза). Уменьшенный сигнал сделан для охвата всего импульса. Затем по коаксиальным кабелям сигналы непрерывно поступают на четырехканальную плату DRS4 Evaluation Board, представляющую собой аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с пропускной способностью 700 МГц [5]. Чип DRS4 отсекает импульсы длительностью более 1 мкс. Таким образом, в выходных данных гарантированно не попадают засветки от чужих источников света, например, изотропных. Если амплитуда сигнала выше уровня триггера, установленного оператором, а его дли-

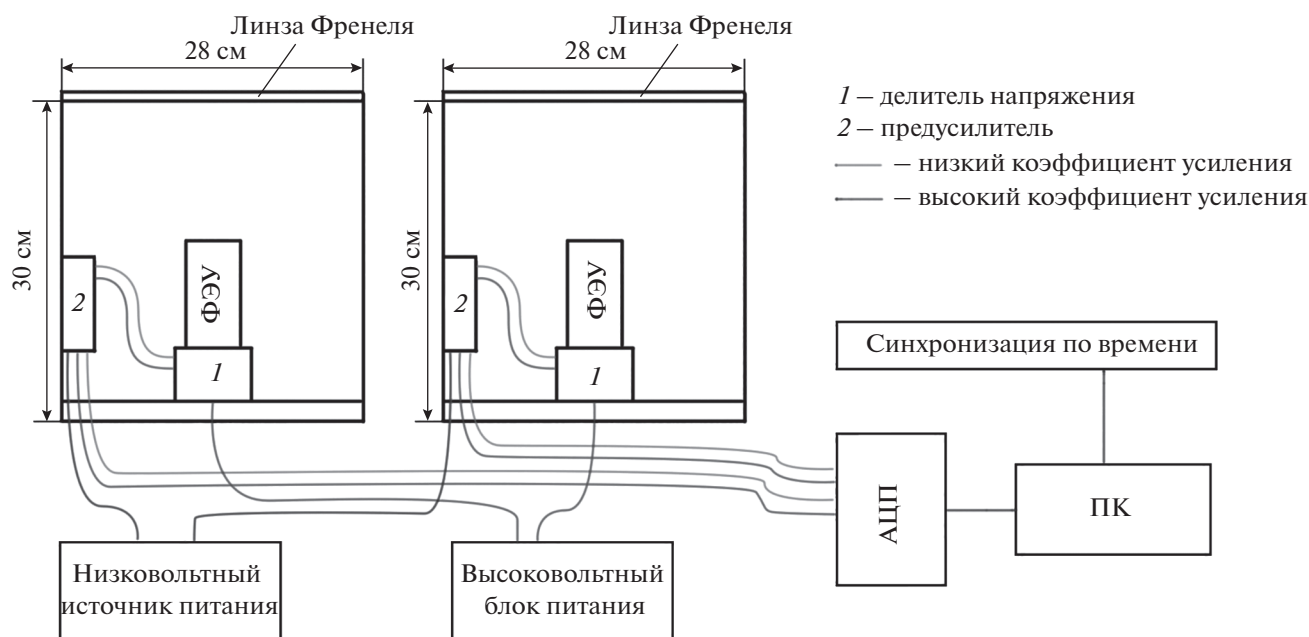


Рис. 1. Блок-схема детектора.

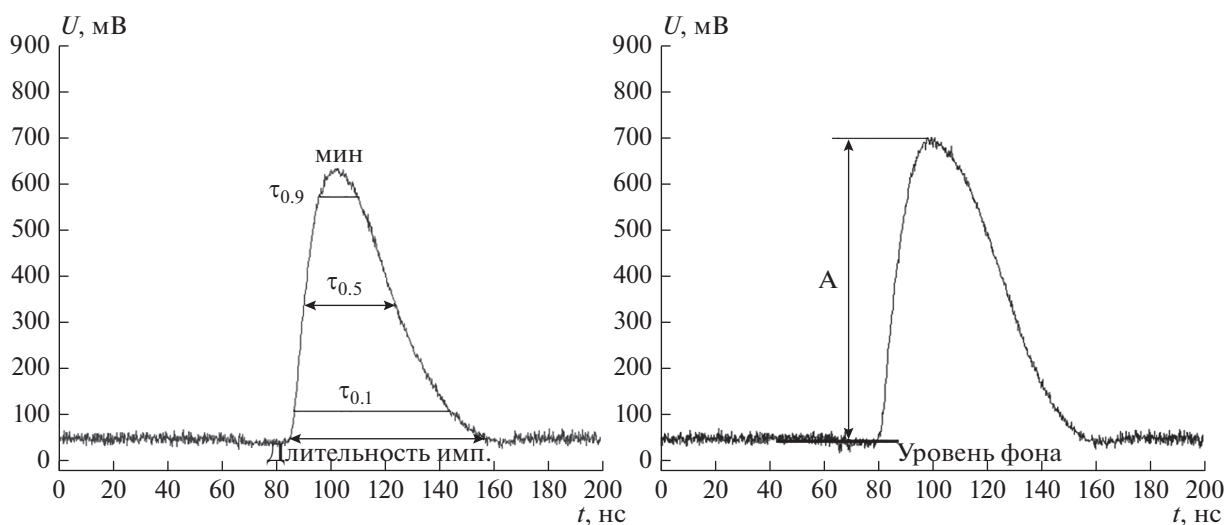


Рис. 2. Пример импульса в режиме двух каналов с указанием основных параметров.

тельность не превышает размера “окна”, выходные данные записываются в файл парами время (в нс) и напряжение (в мВ) для всех дискретных точек каждого активного канала в формате .xml. Система сбора данных локальная, т.е. не зависит от триггера установки ЯкуШАЛ. Подробнее о Якутской установке в [6]. Блок-схема детектора представлена на рис. 1.

Программная обработка выходных данных состоит в удалении непригодных событий и извлечении параметров импульса с полезных. В основном непригодные данные представляют собой со-

бытия с огромной амплитудой, т.е. импульсами, которые не поместились в “окне” регистрации. Уменьшенный в предусилителе сигнал частично решает проблему зашквалов. Имеются еще некоторые другие причины, по которым события отсекаются. В итоге остаются нормальные импульсы, присутствующие на всех активных каналах (34.5% от суммарного числа зарегистрированных событий). На рис. 2 показан пример импульса в режиме двух каналов с указанием основных параметров.

Полуширины импульсов и времена срабатывания триггера выводятся для каждого отдельного

события с помощью программы обработки. Кроме того, программа предоставляет дополнительную информацию вспомогательного и технического характера. Имеются две реализации программы обработки – на C++ и Fortran. Последняя прошла государственную регистрацию программы для ЭВМ в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС) [7]. Номер регистрации (свидетельства): 2018614529.

3. МЕТОД ПОИСКА ГЛУБИНЫ МАКСИМУМА ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ШАЛ

Метод заключается в геометрическом способе расчета глубины максимума черенковского излучения ШАЛ в атмосфере без привлечения других параметров ливня. Глубина максимума черенковского излучения и глубина максимума каскадной кривой – величины коррелированные. Однако для надежных результатов последнего необходима регистрация черенковских импульсов на больших расстояниях от оси, $R > 600$ м [1], в то время как максимум черенковского света наблюдается на всех возможных расстояниях от места падения оси ливня на плоскости наблюдения.

Располагая временами задержки сигналов t_i и формами импульсов на всех сработавших детекторах в сети детекторов, образующих систему, можно определить угол наклона каскадной кривой θ , азимутальный угол φ без участия основной установки. По ним же приблизительно оцениваются величины R – расстояния от оси ливня на плоскости наблюдения до сработавших детекторов. Решая следующее уравнение, находим высоту максимума черенковского вклада:

$$c\Delta t = L - h_0 = L - h \sec\theta,$$

где $c = 0.3$ м/нс, $\Delta t = t_2 - t_1$, t_1 – время, за которое ось ливня достигла плоскости наблюдения с положения максимума черенковского вклада в атмосфере x_m^{Cher} ; t_2 – время, за которое черенковские фотоны достигли детектора с x_m^{Cher} , L – путь который проходит черенковский фотон от x_m^{Cher} до детектора; h – высота, проведенная от x_m^{Cher} до плоскости наблюдения, h_0 – расстояние, которое проходит ось ливня от до плоскости наблюдения x_m^{Cher} :

$$L^2 = h^2 + R^2 \sin^2\varphi + (h \operatorname{tg}\theta - R \cos\varphi)^2,$$

где φ – угол между R и проекцией оси ливня на плоскость установки, $\cos\varphi$ имеет разный знак в зависимости от начала отсчета: до 180° или больше [8].

Решение уравнения:

$$h = 0.5 \frac{R^2 - (c\Delta t)^2}{c \operatorname{tsec}\theta + R \operatorname{tg}\theta \cos\varphi}.$$

Максимум сигнала Черенкова есть функция продольного профиля ШАЛ, чувствительного к массе первичной частицы. Таким образом, можно определить энергетическую зависимость среднего массового состава космических лучей изменениями x_m^{Cher} в разных энергетических интервалах. Кроме того, возраст ливня и массовый состав ШАЛ являются неотъемлемыми параметрами формы черенковского импульса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный детектор в ходе полевых испытаний проработал 437 ч. Общее число зарегистрированных событий составило 7350, из них полезных 34.5%. Разрешение по времени составило 1.43 нс. Планируется поставить еще несколько аналогичных детекторов, синхронизованных между собой и откалиброванных так, чтобы они образовали локальную систему регистрации. Именно тогда появится возможность применения описанного метода определения максимума вклада черенковского излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов М.Н., Егоров Т.А., Ефимов Н.Н. и др. Космическое излучение предельно высокой энергии. Новосибирск: Наука, 1991. 252 с.
2. Фомин Ю.А., Христиансен Г.Б. // ЯФ. 1971. Т. 14. С. 642.
3. Ильина Н.П., Калмыков Н.Н., Просин В.В. // ЯФ. 1992. Т. 55. С. 2756.
4. <https://my.et-enterprises.com/>.
5. <https://www.psi.ch/drs/evaluation-board/>.
6. Иванов А.А., Кнуренко С.П., Правдин М.И., Слепцов И.Е. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2010. №. 4. С. 56; Ivanov A.A., Knurenko S.P., Pravdin M.I., Sleptsov I.E. // Moscow Univ. Phys. Bull. 2010. V. 65. № 4. P. 295.
7. http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2018614529&TypeFile=html.
8. Ivanov A.A., Knurenko S.P., Krasilnikov A.D. et al. // Phys. Res. Sec. A. 2015. V. 772. P. 34.