

Е.Е.Коростелева, Л.А.Кузьмичев, В.В.Просин,
Д.В.Чернов, И.В.Яшин (НИИЯФ МГУ)
О.А.Гресс, Л.В.Паньков Ю.В.Парфенов
(НИИПФ ИГУ)
Р.В.Васильев, Б.К.Лубсандоржиев, А.И.Пафилов
(ИЯИ РАН)
К.Шпиринг, Т.Шмидт (ДЕЗИ-Цойтен, Германия)

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА
ЧЕРЕНКОВСКОГО СВЕТА ШАЛ
НА УСТАНОВКЕ ТУНКА.**

Препринт НИИЯФ МГУ - 2004 - 1/740

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. М.В. ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

Е.Е.Коростелева, Л.А.Кузьмичев, В.В.Просин,

Д.В.Чернов, И.В.Яшин (НИИЯФ МГУ)

О.А.Гресс, Л.В.Паньков Ю.В.Парфенов (НИИПФ ИГУ)

Р.В.Васильев, Б.К.Лубсандоржиев, А.И.Пафилов (ИЯИ РАН)

К.Шпиринг, Т.Шмидт (ДЕЗИ-Цойтен, Германия).

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА

ЧЕРЕНКОВСКОГО СВЕТА ШАЛ

НА УСТАНОВКЕ ТУНКА.

Препринт НИИЯФ МГУ - 2004 - 1/740

УДК 537.591

Chernov D.V., Korosteleva E.E., Kuzmichev L.A., Prosin V.V., Yashin I.V.
(SINP MSU), Gress O.A., Pankov L.V., Parfenov Yu.V. (API ISU) Vasiliev
R.V., Lubsandorzhiev B.K., Panfilov A.I. (INR RAN) Spiering C., Schmidt T.
(DESY-Zeuthen, Germany)

E-mail: kuz@dec1.sinp.msu.ru

**METHODICS FOR MEASURING OF PULSE SHAPE
OF CHERENKOV LIGHT FROM EAS AT TUNKA ARRAY.**

Preprint SINP MSU - 2004 - 1/740

Abstract

The description of optical detectors and electronic system for measuring light pulse shape from EAS is presented. This system is operated as a part of Tunka EAS array.

**Е.Е.Коростелева, Л.А.Кузьмичев, В.В.Просин, Д.В.Чернов, И.В.Яшин
(НИИЯФ МГУ), О.А.Гресс, Л.В.Паньков Ю.В.Парфенов (НИИПФ ИГУ),
Р.В.Васильев, Б.К.Лубсандоржиев, А.И.Пафилов (ИЯИ РАН), К.Шпиринг,
Т.Шмидт (ДЕЗИ-Цойтен, Германия).**

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА
ЧЕРЕНКОВСКОГО СВЕТА ШАЛ НА УСТАНОВКЕ ТУНКА.**

Препринт НИИЯФ МГУ - 2004 - 1/740

Аннотация

Приведено описание оптических детекторов и системы регистрации для изучения формы импульса черенковского света от широких атмосферных ливней. Описанная система включена в состав комплексной черенковской установки Тунка

©НИИЯФ МГУ, 2004

©Р.В.Васильев, О.А. Гресс.Е.Е.Коростелева,
Л.А.Кузьмичев, Б.К. Лубсандоржиев, Л.В.Паньков,
А.И.Панфилов, Ю.В.Парфенов, В.В.Просин,
Д.В.Чернов,К.Шпиринг, Т.Шмидт, И.В.Яшин.

Введение.

Комплексная черенковская установка Тунка [1] предназначена для исследования космических лучей в диапазоне энергий 0.3-100 ПэВ, путем регистрации черенковского света от широких атмосферных ливней (ШАЛ). Установка ТУНКА расположена в Тункинской долине в 50км к западу от озера Байкал (51.49 N, 103.04 E) на высоте 675м выше уровня моря (950г/см²). Схема расположения детекторов установки показана на рис.1. Установка содержит 25 интегральных детекторов черенковского света на базе фотоприемника КВАЗАР-370 [2], с диаметром фотокатода 37 см. Эти фотоприемники были разработаны для Байкальского нейтринного телескопа НТ-200 [3]. Интегральные детекторы расположены в узлах квадратной сетки с шагом 85 м. Интегральные детекторы позволяют измерить время прихода фронта черенковского сигнала и локальную плотность черенковских фотонов. По этим параметрам (время срабатывания и амплитуда сигнала) можно восстановить основные параметры ШАЛ: зенитный и азимутальный углы прихода, положение оси ливня и его энергию. Достаточно подробное описание интегральных детекторов и системы сбора данных с них приведено в работах [4,5].

В дополнение к интегральным детекторам установка содержит 4 детектора формы черенковского импульса на базе быстрых ФЭУ D668 (Thorn-EMI).

Описанию этих детекторов и системе сбора данных с них и посвящена эта статья.

Оптический детектор для измерения формы импульса.

Оптический детектор для измерения формы импульса показан на рис.2. В детекторе использованы шести-диодные фотоэлектронные умножители (ФЭУ) Thorn-EMI D668¹ с полусферическим фотокатодом диаметром 20 см и шириной одноэлектронного импульса на половине высоты не более 5 нс . Применение шести-диодных ФЭУ позволяет установить оптимальную разность потенциалов между диодами и удерживать анодный ток в разумных пределах засветки звездного неба. В нашем случае анодный ток не превышал 30 мка. Для подачи напряжения на диоды ФЭУ использовался активный делитель ([4,5]), гарантирующий стабильность разности потенциалов между диодами в широком диапазоне изменения внешней засветки. Коэффициент усиления ФЭУ при напряжении питания 1300 вольт составляет $\sim 10^4$.

Для увеличения эффективной площади светосбора использовались конусные светосборники. Внутренние стенки светосборника с полным углом раствора 30° имеют алюминиевую зеркальную поверхность. Верхняя часть конуса до половины высоты зачернена. Такая оптическая система позволяет увеличить эффективную площадь детектора до примерно 0.1м².

Передача аналоговых сигналов с детекторов осуществлялась с использованием оптического кабеля. Применение оптического кабеля для передачи аналоговых сигналов позволяет устранить искажения сигналов, связанных с затуханием при передаче по длинным коаксиальным кабелям. Такой способ передачи информации был предложен для нейтринного телескопа AMANDA [7]. В эксперименте использовался оптический кабель типа UB04-080U-W. Приемник сигналов полностью повторяет приемник, используемый в телескопе AMANDA [7]. Максимальная амплитуда выходного сигнала – 2 в.

Аппаратура регистрации формы импульсов.

Функциональная схема системы регистрации приведена на рис.3. Измерительная аппаратура выполнена в стандарте VME. Модули быстрых АЦП DL515 имеют по 4 канала. Каждый канал выполнен на базе 8-разрядных АЦП AD9038, позволяющих проводить оцифровку входного сигнала с шагом 4 нс, и быстрой памяти объемом 2048 байт. Максимальная амплитуда сигнала на входе АЦП –2В.

Имеется возможность последовательного включения каналов через линии задержки и увеличения дискретности измерений в 4 раза (до 1нс). В установке сигнал с одного оптического детектора оцифровывается 2-мя каналами, т.е с дискретностью 2 нс. Общими для всех 4-х каналов являются входы START и STOP для запуска и остановки преобразования и выходные сигналы EOC - конец преобразования и RUN - преобразование.

Дискриминаторы напряжения (также в стандарте VME) были специально разработаны для этого эксперимента. На каждой плате смонтировано по два канала. В состав каждого канала входят компараторы напряжения 597CA1, 10-разрядный цифро-аналоговый преобразователь для программной установки уровня срабатывания компаратора, 16-разрядный счетчик срабатываний компаратора. Кроме того, на плате

¹Эти ФЭУ были разработаны фирмой EMI для установки AIROBICC [6].

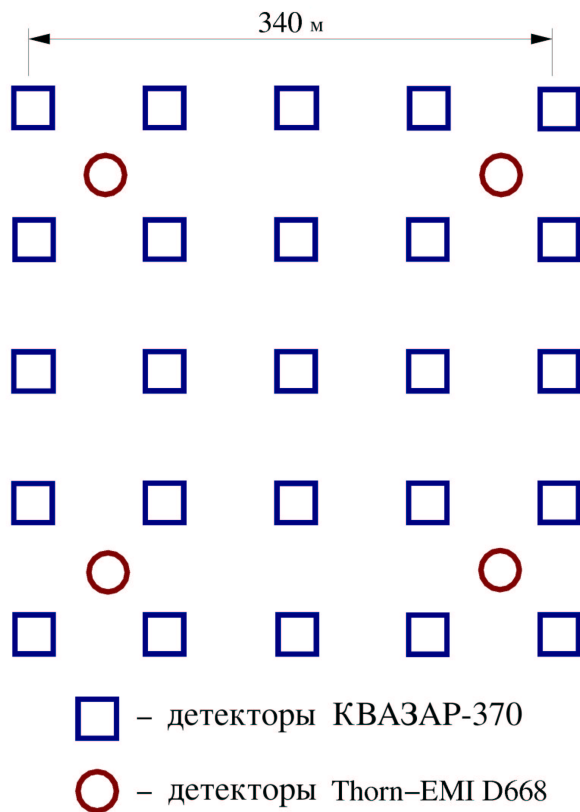


Рис. 1: Расположение детекторов установки Тунка

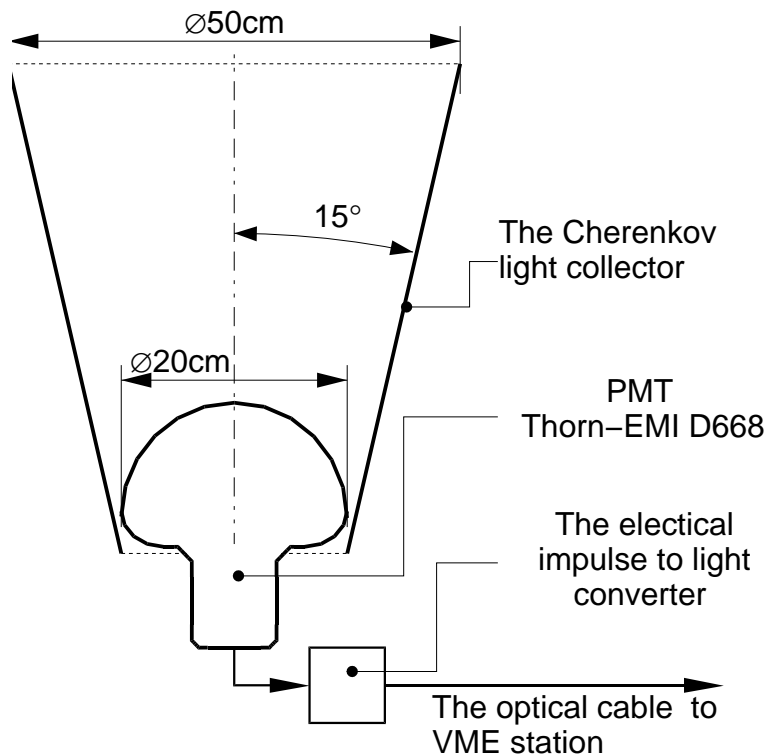


Рис. 2: Детектор для изучения формы импульсов .

Электронная система детекторов формы

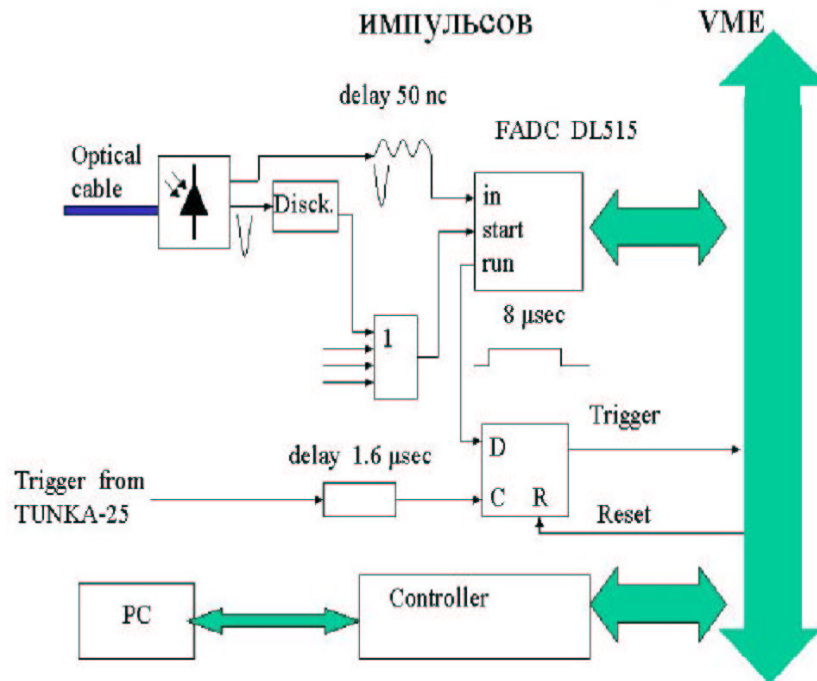


Рис. 3:

имеется блок выработки START/STOP сигналов для АЦП DL515, вход внешнего запуска START/STOP и выходной импульс, формирующийся при срабатывании одного или двух компараторов. Два последних сигнала необходимы для каскадного включения плат.

Триггерным условием срабатывания установки является срабатывание одного или более амплитудных дискриминаторов и приход триггерного сигнала с системы сбора данных интегральных детекторов в течение 8 мкс после сигнала START.

Программа управления установкой была разработана для работы под управлением операционной системы LINUX на языке СИ.

Восстановление ширины черенковских импульсов

Система измерения формы импульса выдает информацию об амплитудах сигнала с шагом 2 нс. Для восстановления необходимых для дальнейшего анализа параметров сигнала (максимальная амплитуда, длительность на полувысоте) экспериментальные точки фитируются функцией следующего вида:

$$f(t) = b \cdot \exp(-c \cdot (t - a)), t > a \tag{1.1}$$

$$f(t) = b \cdot \exp(-c \cdot (t - a)) \cdot \exp(-d \cdot (t - a)^2), t \leq a \tag{1.2},$$

Параметры фитирующей функции (a, b, c, d) определялись методом минимизации χ^2 . Далее с использованием функции $f(t)$ вычислялась длительность импульса на полувысоте – $\tau_{1/2}$. Пример экспериментального импульса и фитирующей функции приведен на рис 4.

Для определения длительности черенковского импульса ШАЛ необходимо учесть влияния разрешающего времени ФЭУ и системы регистрации. Импульс на выходе системы регистрации является сверткой входного черенковского импульса и функции отклика системы на δ -функцию. Функцию отклика $g(t)$ системы можно получить, подавая на ФЭУ световой импульс длительностью много меньшей разрешающего времени системы регистрации. В нашем эксперименте в качестве источника света использовался быстрый, голубой светодиод фирмы Nishia с запуском на лавинном диоде [8]. Длительность световой вспышки меньше 600 нс, что много меньше разрешающего времени ФЭУ (7 нс).

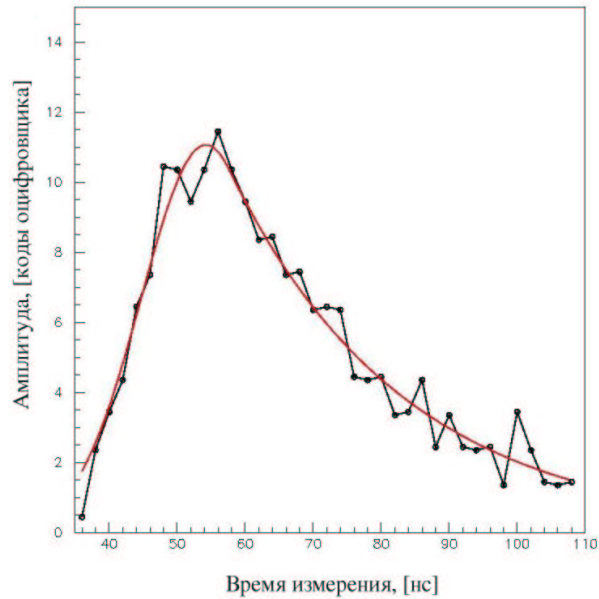


Рис. 4: Экспериментальный импульс и его аппроксимация

Для определения зависимости между длительностью черенковского импульса ШАЛ τ_{EAS} и экспериментально определяемой длительностью $\tau_{1/2}$ использовались черенковские импульсы, полученные по программе CORSIKA. Зная функцию отклика $g(t)$ и форму черенковского импульса $\phi(t)$, можно восстановить форму импульса на выходе системы $f(t)$ с помощью интеграла Дюамеля:

$$f(t) = \int_0^t \phi(x) \cdot g(t-x) \cdot dx \quad (2)$$

Далее, переходя от $f(t)$ к $\tau_{1/2}$, получим зависимость τ_{EAS} от $\tau_{1/2}$. Эту зависимость можно описать полиномом 2-ой степени:

$$\tau_{EAS} = A \cdot \tau_{1/2}^2 + B \cdot \tau_{1/2} + C \quad (2)$$

где $A = -2.8 \cdot 10^{-3}$, $B = 1.27$, $C = -8.4$

Заключение

При известном расстоянии от оси ШАЛ и энергии, по ширине импульса можно восстановить положение максимума ливня [1]. Проведенный на базе большого экспериментального материала анализ позволил сопоставить положение максимума ливней, восстановленных по длительности импульса, с положением максимума, восстановленных по функции пространственного распределения черенковского света, и получить хорошее согласие. Таким образом, мы имеем два взаимосогласованных метода оценки положения максимума ливня – величины наиболее чувствительной к химическому составу космических лучей,

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 02-02-17162, 01-02-17234)

Литература

1. Budnev N et al.,
Tunka EAS Cherenkov array - status 2001
Proc. of 27 ICRC V. 1 P. 581 - 584 (Hamburg, Germany, 2001)
2. Багдугев Р.И. и др.
Высокочувствительный фотоприемник Квazar-370 для
крупномасштабных экспериментов в космических лучах.

- Изв.РАН, сер. физ.1993 Т. 57 N4 С.135 - 137
- 3.I.A.Belolapnikov et al. (Baikal Collaboration)
The Baikal underwater neutrino telescope: Design, performance,
and first results.
Astroparticle Physics 7 (1997) 263-282
4. Антонов Р.А., и др.
Широкоугольный черенковский детектор ШАЛ на основе
полусферических светоприемников.
Изв.РАН сер. физ. 1993 Т. 57, N4 С.181-185
5. Р.В.Васильев и др.
Черенковский детектор широких атмосферных ливней для
совместной работы с нейтринным телескопом НТ-200
ПТЭ N5, 2001 г. С. 51-56
- 6.Karle,A. et al., Astropart. Phys. 3 P.263, 1995.
- 7.Karle A. et al., Nucl. Instr. Meth. A287 P.274, 1997.
8. Васильев Р.В., Лубсандоржиев Б.К., Похил П.Г.
Препринт ИЯИ - 1003/99 Февраль 1999

Елена Евгеньевна Коростелева, Леонид Александрович Кузьмичев, Василий Владимирович Просин, Дмитрий Валентинович Чернов, Иван Васильевич Яшин, Олег Анатольевич Гресс, Леонид Ввасильевич Паньков, Юрий Викторович Парфенов, Роман В.Васильев, Баярто Константинович Лубсандоржиев, Андрей Иванович Пафилов, Кристиан Шпиринг, Торстен Шмидт

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА
ЧЕРЕНКОВСКОГО СВЕТА ШАЛ НА УСТАНОВКЕ ТУНКА.**

Препринт НИИЯФ МГУ - 2004 - 1/740

Работа поступила в ОНТИ 20.01.2004г.

ИД №00545 от 06.12.1999

Издательство УНЦ ДО

117246, Москва, ул. Обручева, 55А

Тел./факс (095) 718-6966, 718-77-67, 718-77-85

e-mail: izdat@abiturcenter.ru

<http://abiturcenter.ru/izdat>

Гигиенический сертификат №77.99.2.925.П.9139.2.00 от 24.02.2000

Налоговые льготы - Общероссийский классификатор продукции

ОК-005-93, том 1 - 953000

Подписано в печать 27.01.2004г. Формат 60x90/16

Усл.печ.л. 0,5

Тираж 30 экз. Заказ №561

Отпечатано в Мини-типографии УНЦ ДО

<http://abturcenter.ru/print>

в полном соответствии с качеством

предоставленного оригинал-макета