

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШАЛ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ

© 2024 г. Д. М. Громушкин^{1)*}, М. Б. Амельчаков¹⁾, Е. П. Волков¹⁾, А. Д. Почестнев¹⁾, С. С. Хохлов¹⁾, Д. О. Чернов¹⁾, И. А. Шульженко¹⁾, Е. А. Южакова¹⁾

Поступила в редакцию 29.11.2023 г.; после доработки 29.11.2023 г.; принята к публикации 29.11.2023 г.

Приводится описание нового алгоритма отбора сигналов, вызванных регистрацией нейтронов в детекторах установок ПРИЗМА-32 и УРАН. Представлены результаты оценки его эффективности. С использованием нового алгоритма проведено восстановление числа нейтронов в ШАЛ, получены временные распределения и функции пространственного распределения нейтронов для различных мощностей широких атмосферных ливней.

DOI: 10.31857/S0044002724030027, EDN: IXKKOR

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение адронной компоненты широких атмосферных ливней (ШАЛ) представляет особенный интерес, так как она несет в себе информацию о первичной частице, инициировавшей развитие ливня. Одним из методов изучения адронной компоненты ШАЛ является регистрация вторичных нейтронов, образующихся в результате взаимодействия высокоэнергичных адронов ливня с ядрами атомов атмосферы и поверхностного слоя грунта Земли [1].

В НИЯУ МИФИ (г. Москва) на базе Экспериментального комплекса НЕВОД (ЭК НЕВОД) созданы и работают в режиме непрерывного набора экспериментальных данных две установки для регистрации электронной и нейтронной компонент ШАЛ: ПРИЗМА-32 [2] и УРАН [3]. Установка ПРИЗМА-32 состоит из 32 сцинтилляционных детекторов, размещенных в экспериментальном зале ЭК НЕВОД, и имеет площадь $\sim 500 \text{ м}^2$. В детекторах установки ПРИЗМА-32 нейтронная компонента регистрируется с помощью сцинтилляторов $\text{ZnS}(\text{Ag}) + \text{LiF}$ (содержание изотопа ${}^6\text{Li}$ в литии составляет 90%). Установка УРАН включает 72 детектора, расположенных на крышах двух корпусов ЭК НЕВОД, и охватывает площадь $\sim 10^3 \text{ м}^2$. Для регистрации нейтронной компоненты в детекторах установки УРАН используется сцинтиллятор $\text{ZnS}(\text{Ag}) + \text{V}_2\text{O}_3$ (содержание изотопа ${}^{10}\text{B}$ в естественном боре составляет 19.8%). Особенностью используемых в этих установках детекторов является длительное время высвечивания сцинтиллятора $\text{ZnS}(\text{Ag})$ при регистрации тяжелых заряженных частиц, образующихся при захвате нейтронов изотопами ${}^6\text{Li}$ или ${}^{10}\text{B}$. Вследствие этого длительность сиг-

налов с детекторов может достигать нескольких мкс. Поэтому для повышения чувствительности к нейтронам в установках используется интегрирующий усилитель с постоянной времени интегрирования равной 1 мкс.

Одной из важных задач при регистрации нейтронов подобными детекторами является разделение сигналов, вызванных захватом нейтронов в сцинтилляторе, от шумовых и фоновых импульсов (шумы ФЭУ и прохождение заряженных частиц). В настоящее время в установке УРАН “нейтронными” считаются сигналы с амплитудой более 6 кодов АЦП (10 мВ) и длительностью от 2 мкс на уровне трех кодов АЦП [3]. Данный критерий был выбран на этапе ввода установки в эксплуатацию, как максимально мягкий. Однако оказалось, что распределение амплитуд нейтронных сигналов, отобранных по данному критерию, имеет наклон, характерный для шумов ФЭУ (рис. 1). Следовательно, при использовании этого критерия шумовые сигналы могут идентифицироваться как нейтронные, что в свою очередь негативно сказывается на интерпретации экспериментальных данных.

Для улучшения разделения нейтронных и шумовых сигналов разработан новый алгоритм отбора. Проведена оценка эффективности регистрации нейтронов детекторами при использовании этого алгоритма, а также его апробация на данных установки УРАН.

2. АЛГОРИТМ ОТБОРА НЕЙТРОНОВ ШАЛ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ РЕГИСТРАЦИИ

Разработка и отладка алгоритма проводились в ходе наборов экспериментальных данных на стенде, схема которого представлена на рис. 2. Стенд включает светоизолирующий корпус с установленным ФЭУ-200 [4], который используется в установках УРАН и ПРИЗМА-32, сцинтиллятор, источник

¹⁾ Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия.

* E-mail: DMGromushkin@mephi.ru

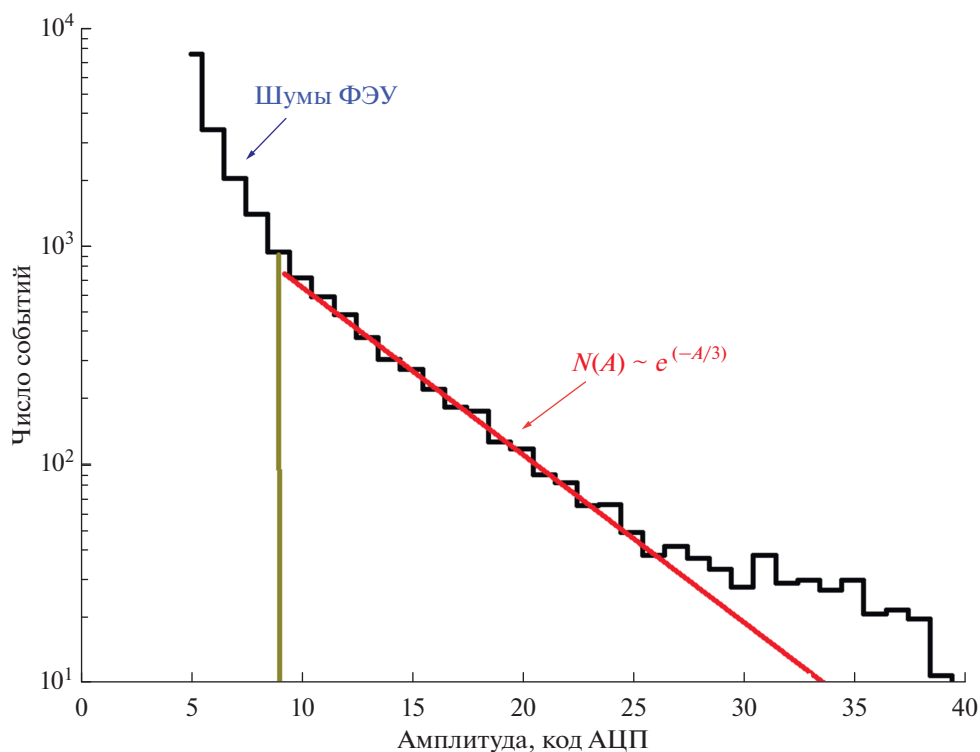


Рис. 1. Амплитудное распределение сигналов, определенных как нейтроны ШАЛ.

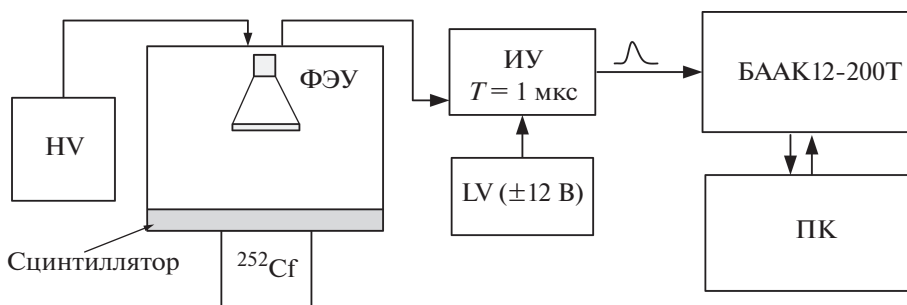


Рис. 2. Схема стенда для разработки алгоритма отбора нейтронов.

нейтронов ^{252}Cf (поток нейтронов в телесном угле 4π ср 250 с^{-1}) в пластиковом замедлителе, высоковольтный (HV) и низковольтный (LV) блоки, а также интегратор-усилитель (ИУ) и блок амплитудного анализа БААК12-200Т. Источник ^{252}Cf обеспечивает большой поток нейтронов через сцинтиллятор и, соответственно, высокую скорость счета нейтронных импульсов детектором. Съем сигналов осуществлялся с 12-го динода фотоумножителя. Напряжение питания ФЭУ в стенде ($U = -1280 \text{ В}$) обеспечивает такой же коэффициент усиления динодной системы, как в установках УРАН и ПРИЗМА-32.

Измерения проводились с тремя типами сцинтилляторов, используемых в установках для регистрации нейтронов ШАЛ: СЛ6-5 на основе $\text{ZnS}(\text{Ag}) + \text{LiF}$ толщиной 30 мг/см^2 , заламинированный в пленку (установка ПРИЗМА-32); LRB1 (установка УРАН) и LRB2 (установки ENDA-INR и ENDA-LHAASO [5,

6]) на основе $\text{ZnS}(\text{Ag}) + \text{B}_2\text{O}_3$ толщиной 50 мг/см^2 , в оптически прозрачной силиконовой основе. Все сцинтилляторы имели одинаковую площадь 0.36 м^2 .

Считывание, оцифровка и запись сигналов с ФЭУ осуществлялась с помощью регистрирующей электроники и программного обеспечения установки УРАН [3]. Набор данных осуществлялся по программному триггеру.

Для каждого типа сцинтиллятора проводилось по два набора данных: с источником нейтронов (определение соотношения параметров импульсов, характеризующих нейтронный сигнал) и без него (определение соотношения параметров импульсов, характеризующих сигналы от шумов ФЭУ и заряженных частиц). Также для определения соотношения параметров сигналов, характеризующих шум ФЭУ, был проведен дополнительный набор на стенде в отсутствие сцинтиллятора. При разработке и отладке алгоритма

Таблица 1. Скорость счета импульсов, идентифицированных как нейтронные

	Скорость счета, с^{-1}			
	старый алгоритм отбора		новый алгоритм отбора	
	с источником	без источника	с источником	без источника
СЛ6-5	2.97 ± 0.06	0.69 ± 0.03	1.38 ± 0.04	0.20 ± 0.02
LRB1	1.35 ± 0.04	0.60 ± 0.03	0.46 ± 0.02	0.07 ± 0.01
LRB2	2.95 ± 0.06	0.64 ± 0.03	0.71 ± 0.03	0.09 ± 0.01

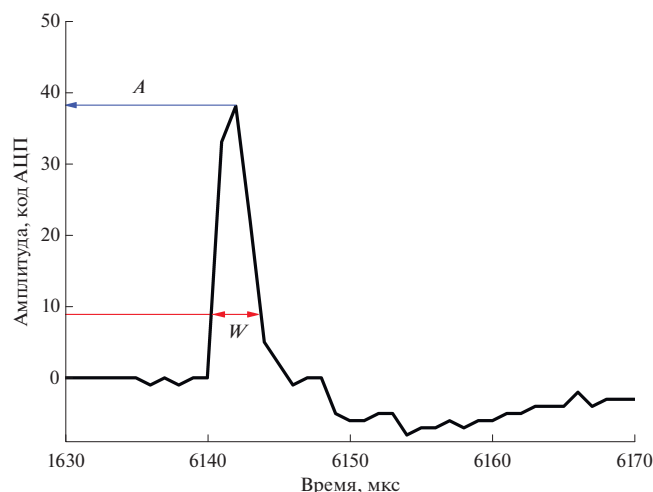


Рис. 3. Оциллограмма сигнала при регистрации нейтрона.

отбора анализировались оциллограммы (20 000 точек с шагом 1 мкс), содержащие импульсы, обусловленные регистрацией нейтронов. Пример оциллограммы с нейтронным сигналом представлен на рис. 3. Продолжительность каждого набора, определяемая как сумма длительностей записанных оциллограмм сигналов в событиях (50 000 событий), составила 1000 с.

На рис. 4 представлены корреляции амплитуд сигналов (A) от их длительности на уровне 9 кодов АЦП (W) для двух наборов данных: со сцинтиллятором СЛ6-5 и источником нейтронов, а также без сцинтиллятора.

В представленной корреляции наблюдается область разделения шумовых и нейтронных сигналов. Кривая 3 (кривая разделения) описывается функцией $F(x) = a \exp(bx) + c$, где $a = 5.0$, $b = 0.8$ и $c = 3.7$. При использовании этого метода разделения не требуется вводить дополнительные ограничения на амплитуду сигнала. Из трех исследованных типов сцинтилляторов, наилучшее разделение сигналов наблюдается для СЛ6-5. Данный результат является вполне ожидаемым, так как энергия, передаваемая заряженным частицам в результате ядерной реакции при захвате нейтрона изотопом ${}^6\text{Li}$, в два раза больше, чем в случае с изотопом ${}^{10}\text{B}$.

Сравнить старый критерий и новый алгоритм отбора можно по скорости счета нейтронов стендовым

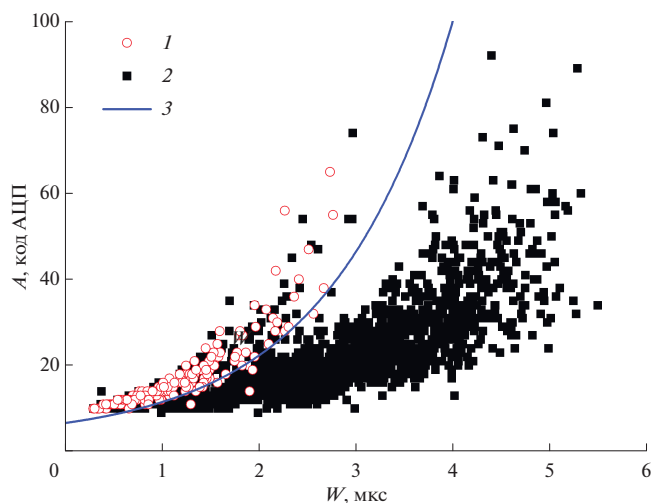


Рис. 4. Корреляции амплитуд сигналов (A) от их длительности на уровне 9 кодов АЦП (W) (1 — без сцинтиллятора, 2 — сцинтиллятор СЛ6-5 с источником нейтронов ${}^{252}\text{Cf}$, 3 — кривая разделения).

детектором. В табл. 1 приведены скорости счета нейтронов в двух наборах данных (с источником нейтронов и без него), полученные двумя методами. Видно, что новый алгоритм отбора нейтронных сигналов значительно лучше отсекает сигналы, вызванные шумами ФЭУ или заряженными частицами, а скорость счета нейтронов в отсутствие источника снизилась более чем в 3 раза.

Для оценки качества выделения сигналов, обусловленных шумами ФЭУ и прохождением заряженных частиц, помимо указанных выше наборов, были проведены измерения с пластиковым сцинтиллятором. В этом случае скорость счета импульсов, идентифицированных как нейтронные, составила $59.20 \pm 0.25 \text{ с}^{-1}$ для старого критерия и менее 0.01 с^{-1} для нового алгоритма.

Эффективность регистрации нейтронов с использованием разработанного алгоритма отбора оценивалась с помощью известного потока нейтронов от источника в зависимости от расстояния. Поток нейтронов в точках наблюдения был заранее измерен с помощью поверенного детектора с эффективностью регистрации $28 \pm 0.5\%$. Эффективная площадь поверенного детектора составляет $20 \text{ см} \times 30 \text{ см}$. Для исключения влияния геометрии детектирующего слоя ис-

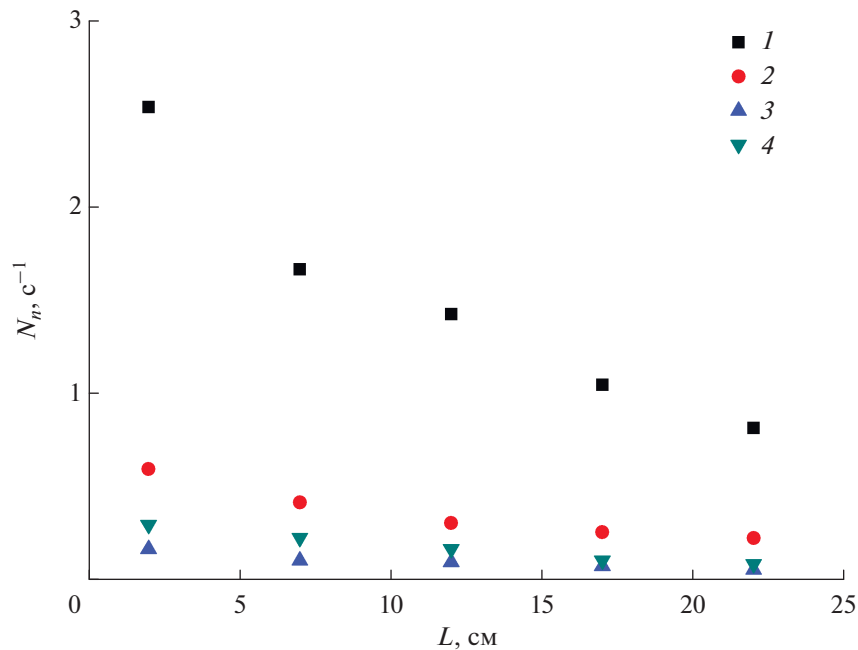


Рис. 5. Скорость счета импульсов, идентифицированных как нейтронные (N_n), на различных расстояниях от источника (1 — детектор с известной эффективностью регистрации, 2 — СЛ6-5, 3 — LRB1, 4 — LRB2).

Таблица 2. Скорость счета импульсов, идентифицированных как нейтронные

	СЛ6-5	LRB1	LRB2
η , %	6.8 ± 0.6	1.9 ± 0.1	3.3 ± 0.3

следуемые образцы площадью 0.36 м^2 были заменены на аналогичные по составу сцинтилляторы с размерами $20 \text{ см} \times 30 \text{ см}$. Во время измерений расстояние (L) от верхней поверхности источника в замедлителе до плоскости сцинтиллятора составляло: 2, 7, 12, 17 и 22 см. На рис. 5 представлена скорость счета импульсов, идентифицированных как нейтронные (N_n), на различных расстояниях от источника.

В табл. 2 приведены эффективности регистрации тепловых нейтронов сцинтилляторами трех типов, полученные с применением разработанного алгоритма отбора. Расчет эффективности регистрации η для исследуемых образцов проводился, исходя из известной эффективности регистрации поверенного детектора $\eta_n = 28\%$.

Наибольшей эффективностью регистрации обладает детектор на базе сцинтиллятора СЛ6-5, а наименьшей — на основе сцинтиллятора LRB1.

3. АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА ОТБОРА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

С использованием разработанного алгоритма отбора и учетом полученной оценки эффективности регистрации был проведен анализ данных установки УРАН за период 2020–2021 гг. Из всех зарегистрированных установкой событий ШАЛ было отобрано бо-

лее 70 000, в которых по заряженной компоненте сработало не менее 10 из 72 детекторов с амплитудой от 10 кодов АЦП (17 мВ).

По данным отобранных событий было получено временное распределение нейтронов с шагом 100 мкс (рис. 6). Для исключения возможного влияния фронта ливня на число зарегистрированных нейтронов из обработки исключены первые 200 мкс. Представленное временное распределение описывается функцией (1) с двумя экспонентами с параметрами $t_1 = 432 \pm 25$ мкс и $t_2 = 1767 \pm 246$ мкс:

$$F(t) = A_1 \exp(-t/t_1) + A_2 \exp(-t/t_2) + A_0. \quad (1)$$

Значения параметров аппроксимирующей функции и характер распределения хорошо согласуются с результатами моделирования и экспериментальными распределениями, полученными ранее [7]. Однако в распределениях, полученных с использованием нового алгоритма и учетом эффективности регистрации детекторов, уровень фоновой подложки A_0 оказался на порядок меньше. Его величина составила $2.7 \times 10^{-3} \text{ м}^{-2}$ на временное окно 100 мкс или $2.7 \times 10^{-3} \text{ нейтронов см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, что согласуется с фоновым потоком тепловых нейтронов вблизи поверхности грунта, который зависит от места измерения и составляет $\sim 10^{-3} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ [8, 9].

Имеющиеся экспериментальные данные позволяют получить функцию пространственного распределения (ФПР) плотности тепловых нейтронов в ШАЛ с учетом эффективности регистрации тепловых нейтронов детекторами установки УРАН. Однако интегрирующая цепочка, имеющаяся в спектрометриче-

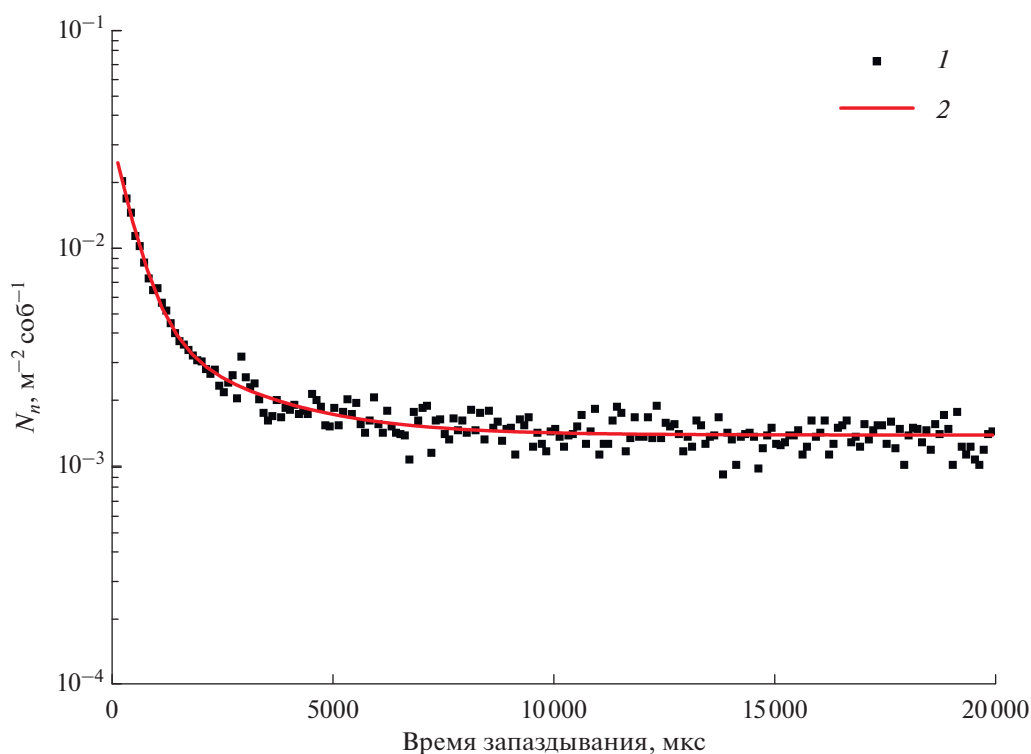


Рис. 6. Временное распределение тепловых нейтронов, сопровождающих ШАЛ (1 — экспериментальные данные, 2 — моделирование по формуле (1)).

ском тракте детекторов, не позволяет с хорошей точностью определить время их срабатывания в событии, а следовательно, и реконструировать направления прихода широкого атмосферного ливня и его мощность по электронно-фотонной компоненте. Эта информация бралась из данных установки НЕВОД-ШАЛ [10].

Установка НЕВОД-ШАЛ [11] входит в состав Экспериментального комплекса НЕВОД и предназначена для регистрации электронно-фотонной компоненты широких атмосферных ливней в диапазоне первичных энергий от 10^{15} до 10^{17} эВ и реконструкции их параметров. Она состоит из 36 сцинтилляционных детектирующих станций площадью 2.56 м^2 каждая, объединенных по 4 штуки в 9 кластеров. Установка занимает площадь 10^4 м^2 , а расположение кластеров №№1, 2 и 3 НЕВОД-ШАЛ совпадает с расположением кластеров УРАН.

Установки УРАН и НЕВОД-ШАЛ работают независимо друг от друга, но используют общий источник для временной привязки регистрируемых событий — модуль глобальной временной синхронизации [11] ЭК НЕВОД, который обеспечивает точность их синхронизации ~ 10 нс. Объединение событий, зарегистрированных установками, проводится по временным меткам этих событий.

На рис. 7 приведено распределение разностей временных меток событий в установках УРАН и НЕВОД-ШАЛ. Средняя разность временных меток

составляет 137 ± 1 нс, а стандартное отклонение распределения составляет 26 ± 1 нс. Ненулевая разность временных меток обусловлена различными длинами волоконно-оптических линий связи в системах сбора данных установок УРАН и НЕВОД-ШАЛ. На основе данного распределения был выбран критерий отбора совместных событий в УРАН и НЕВОД-ШАЛ. Считается, что установки сработали от одного и того же широкого атмосферного ливня, если разность временных меток их событий лежит в пределах от 0 до 225 нс.

Основные параметры широкого атмосферного ливня восстанавливались по откликам детектирующих станций (ДС) НЕВОД-ШАЛ. Для анализа отбирались события, в которых по внутрикластерному триггерному условию совпадения сигналов с как минимум двух ДС сработало не менее 7 кластеров. При этом максимальный отклик должен был наблюдаться в ДС центрального кластера, расположенного на крыше здания ЭК НЕВОД. Указанные критерии позволяют отбирать ливни с мощностями более 10^4 частиц. Направление прихода ШАЛ восстанавливается по временам срабатывания ДС в предположении плоского фронта ливня. Положение оси, мощность и возраст ливня реконструируются по зарядам откликов ДС установки, пересчитанным в плотность частиц, путем их аппроксимации функцией пространственного распределения частиц Нишимуры–Каматы–Грейзена (НКГ) [12].

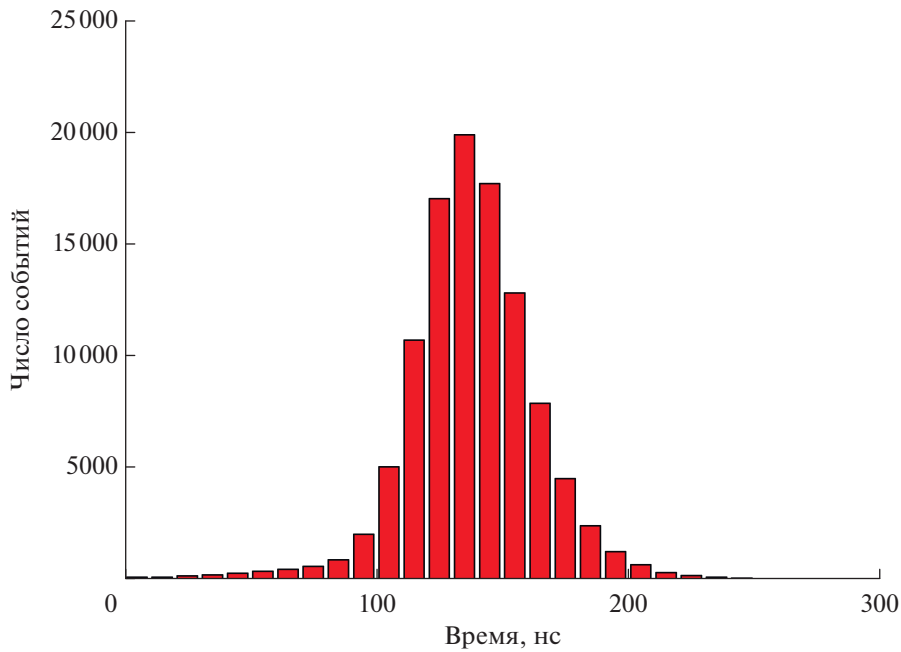


Рис. 7. Распределение разностей временных меток событий в установках УРАН и НЕВОД-ШАЛ.

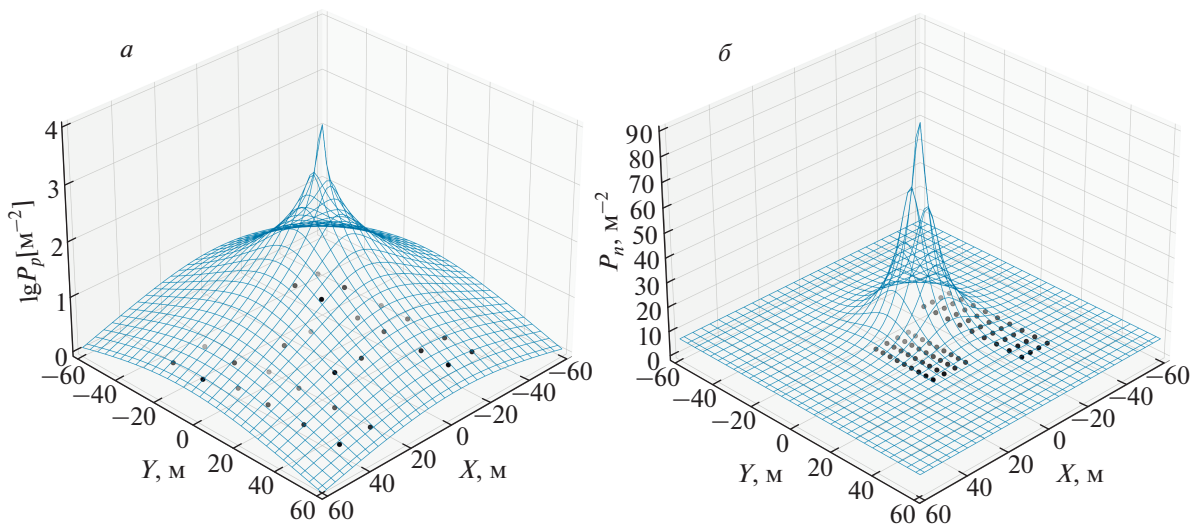


Рис. 8. Пример совместного события установок НЕВОД-ШАЛ (а) и УРАН (б).

С использованием описанного выше критерия было отобрано 12125 совместных событий в установках УРАН и НЕВОД-ШАЛ. На рис. 8 представлен пример совместного события (2020-12-26_je_17:38:10.076.088.256). Разность временных меток событий в установках УРАН и НЕВОД-ШАЛ составила 59 нс. По осям абсцисс и ординат отложены координаты детекторов установок, а по оси аппликата — плотность заряженных частиц P_p по данным НЕВОД-ШАЛ (рис. 8а) и нейтронов P_n по данным УРАН (рис. 8б).

Пространственное распределение плотности частиц заряженной компоненты ШАЛ было аппроксимировано функцией НКГ с мольеров-

ским радиусом $r_m = 79$ м. При этом учитывались параметры этого ливня, реконструированные по данным НЕВОД-ШАЛ: мощность около 10^6 частиц, координаты оси ливня (-6.34 м; -7.45 м), зенитный и азимутальный углы направления прихода 16.9° и 225.6° соответственно.

В данном событии 8 детекторов установки УРАН зарегистрировали девять тепловых нейтронов. Распределение восстановленных плотностей нейтронов аппроксимировалось функцией вида $F(r) = P_0 + P_1 \times e^{-r/r_0}$ с параметрами: $P_0 = 3.1$ м⁻², $P_1 = 93.6$ м⁻², $r_0 = 7.8$ м. Из рисунка наглядно видно, что большая часть нейтронов регистрируется вблизи ствола ШАЛ.

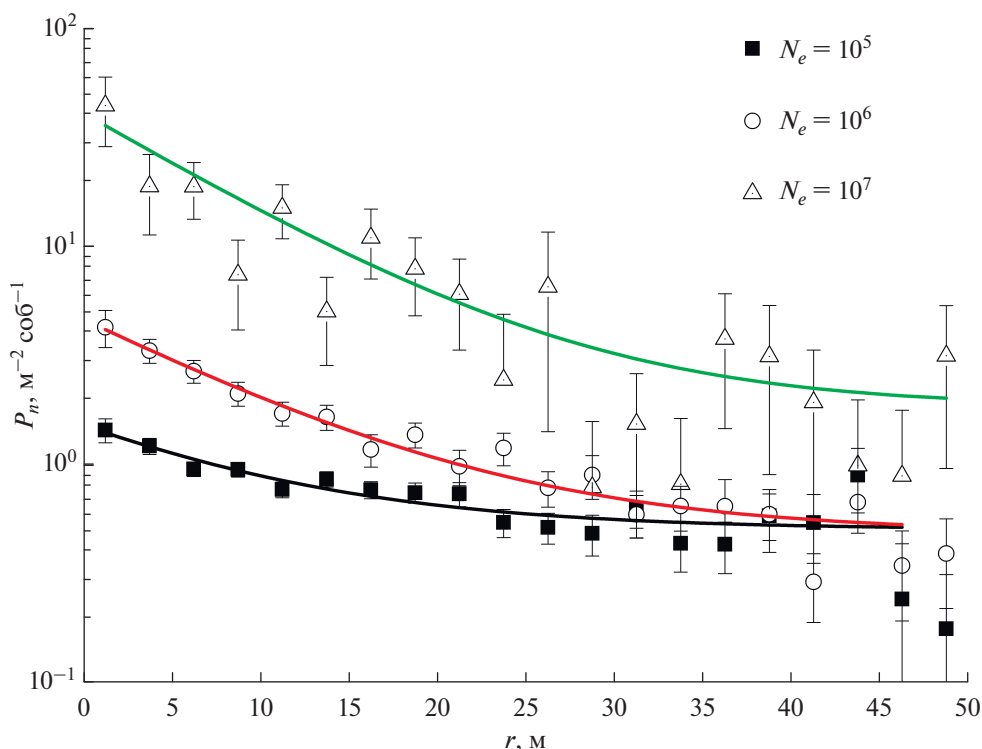


Рис. 9. Функция пространственного распределения плотности нейтронов для трех значений мощности ливней N_e .

С учетом параметров ливней (мощности по электронно-фотонной компоненте и положения оси), определенным по данным НЕВОД-ШАЛ, и эффективности регистрации детекторов УРАН получена функция пространственного распределения плотности нейтронов для трех значений мощности ливней 10^5 , 10^6 , 10^7 (рис. 9).

Полученные пространственные распределения описываются функцией с одной экспонентой $F(r) = P_0 + P_1 \times e^{-r/r_0}$, где $r_0 = 10.1 \pm 0.4$ м и $P_0 = 0.5 \pm 0.1$ м⁻² для $N_e = 10^5$ (9856 событий), $r_0 = 10.3 \pm 2.3$ м и $P_0 = 0.5 \pm 0.1$ м⁻² для $N_e = 10^6$ (2156 событий), $r_0 = 9.1 \pm 1.3$ м и $P_0 = 1.8 \pm 0.9$ м⁻² для $N_e = 10^7$ (46 событий). Из распределения видно, что число нейтронов вблизи оси ливня может достигать нескольких десятков.

Параметр r_0 согласуется с показателем одной из экспонент, полученной на установке ПРИЗМА-32 [13]. В ПРИЗМА-32 ФПР нейтронов ШАЛ описывается функцией с двумя экспонентами $r_1 = 1.4 \pm 0.1$ м и $r_2 = 8.2 \pm 0.4$ м. Однако значение параметра r_0 отличается от значений, полученных ранее при обработке экспериментальных данных и в результате моделирования установки УРАН [14]. Это может быть связано с тем, что при обработке экспериментальных данных использовались другие критерии отбора событий ШАЛ (срабатывание любых 10 детекторов установки в событии или срабатывание двух детекторов в каждом кластере), а также увеличением охватываемой установкой УРАН площади, за счет использования данных НЕВОД-ШАЛ. Фоновый по-

ток P_0 при пересчете в скорость счета для $N_e = 10^5$ и $N_e = 10^6$ (с учетом длительности события 19.8 мс) составил 2.5×10^{-3} см⁻² с⁻¹, что хорошо согласуется с фоном во временном распределении и естественным нейтронным фоном. Для $N_e = 10^7$ небольшая статистика и площадь установки не позволяют выйти на фоновые значения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан новый алгоритм выделения нейтронных сигналов от ШАЛ, который позволил значительно снизить количество ложно идентифицированных импульсов до уровня естественного нейтронного фона. По экспериментальным данным установки УРАН с помощью разработанного алгоритма и с учетом эффективности регистрации нейтронов детекторами получены временное и пространственное распределение нейтронов в ШАЛ.

Работа выполнена на уникальной научной установке “Экспериментальный комплекс НЕВОД” за счет средств гранта Российского научного фонда (проект №23-22-00399).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu. V. Stenkin and J. F. Valdes-Galicia, in Proceedings of the 27th International Cosmic Ray Conference (Hamburg, 2001), Vol. 4, p. 1453.
2. D. Gromushkin, V. Alekseenko, A. Petrukhin, O. Shchegolev, Y. Stenkin, V. Stepanov, I. Yashin, and E. Zadeba, JINST 9, C08028 (2014).

3. D. M. Gromushkin, F. A. Bogdanov, S. S. Khokhlov, R. P. Kokoulin, K. G. Kompaniets, A. A. Petrukhin, I. A. Shulzhenko, Y. V. Stenkin, I. I. Yashin, and K. O. Yurin, *JINST* **12**, C07029 (2017).
4. АО “Экран-оптические системы” (дата обращения: 03.10.2023), <https://www.ekran-os.ru/ru/>
5. O. Shchegolev, V. Alekseenko, D. Kuleshov, K. Levochkin, Yu. Stenkin, and V. Stepanov, *J. Phys.: Conf. Ser.* **1690**, 012011 (2020).
6. Bing-Bing Li, Shu-Wang Cui, Tian-Lu Chen, Danzengluobu, D. A. Kuleshov, K. R. Levochkin, Mao-Yuan Liu, Ye Liu, Xin-Hua Ma, Cong Shi, O. B. Shchegolev, Yu. V. Stenkin, Di-Xuan Xiao, Fan Yang, Li-Qiao Yin, and Liang-Wei Zhang, *PoS (ICRC 2021)* 188.
7. Z. T. Izhbulyakova, A. G. Bogdanov, F. A. Bogdanov, and D. M. Gromushkin, *J. Phys.: Conf. Ser.* **1690**, 012071 (2020).
8. K. Komura, N. K. Ahmed, A. H. El-Kamel, and A. M. M. Yousef, *J. Nucl. Radiochem. Sci.* **9**, 45 (2008).
9. Д. М. Громушкин, В. В. Алексеенко, А. А. Петрухин, Ю. В. Стенькин, И. И. Яшин, *Изв. РАН. Сер. физ.* **73**, 425 (2009) [*Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* **73**, 407 (2009)].
10. М. В. Амелчаков, Н. С. Барбашина, А. Г. Богданов, А. Чиавасса, Д. М. Громушкин, С. С. Хохлов, В. В. Киндин, Р. П. Кокouлин, К. Г. Компаниетс, А. Ю. Коновалова, В. В. Овчинников, Н. А. Пасюк, А. А. Петрухин, И. А. Шулзhenko, В. В. Шутенко, И. И. Яшин, et al., *Nucl. Instrum. Methods A* **1026**, 166184 (2022).
11. И. И. Яшин, М. В. Амелчаков, И. И. Астапов, Н. С. Барбашина, А. Г. Богданов, Ф. А. Богданов, В. В. Борог, А. Чиавасса, А. Н. Дмитриева, Д. М. Громушкин, С. С. Хохлов, В. В. Киндин, Р. П. Кокouлин, К. Г. Компаниетс, А. Ю. Коновалова, А. А. Ковыляева, et al., *JINST* **16**, T08014 (2021).
12. K. Greisen, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **10**, 63 (1960).
13. Д. М. Громушкин, В. И. Волченко, А. А. Петрухин, Ю. В. Стенькин, В. И. Степанов, О. Б. Щегoleв, И. И. Яшин, *ЯФ* **78**, 379 (2015) [*Phys. At. Nucl.* **78**, 349 (2015)].
14. Ф. А. Богданов, Д. М. Громушкин, З. Т. Ижбулякова, А. Д. Почестнев, И. А. Шульженко, К. О. Юрин, *Изв. РАН. Сер. физ.* **85**, 560 (2021) [*Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* **85**, 424 (2021)].

CHARACTERISTICS OF THE EAS NEUTRON COMPONENT WITH ACCOUNTING FOR THE EFFICIENCY OF NEUTRON DETECTION

D. M. Gromushkin¹⁾, M. B. Amelchakov¹⁾, E. P. Volkov¹⁾, A. D. Pochestnev¹⁾, S. S. Khokhlov¹⁾,
D. O. Chernov¹⁾, I. A. Shulzhenko¹⁾, E. A. Yuzhakova¹⁾

¹⁾ *National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia*

A new algorithm for selecting signals caused by the detection of neutrons is described. The estimates of its effectiveness for the PRISMA-32 and URAN arrays are presented. Using this algorithm, for various air-shower sizes the number of neutrons was reconstructed, the time distributions of neutrons and their lateral distribution functions were obtained.