

УДК 502.55:621.039.7

И.Ю. Чернявский, А.Н. Григорьев, З.В. Билык, В.Б. Матыкин

Факультет военной подготовки НТУ «ХПИ» имени Верховного Совета Украины, Харьков

## ПРИМЕНЕНИЕ КРЕМНИЕВЫХ PIN ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Проанализированы недостатки регистрации параметров ядерных взрывов. Разработан метод и аппаратура для автоматического измерения мощности ядерного взрыва и направления на центр взрыва на основе кремниевых PIN детекторов площадью 10 мм×10 мм и многоканальных анализаторов импульсов с персональным компьютером.

**Ключевые слова:** световое излучения, ядерный взрыв, кремниевые детекторы, многоканальный анализатор импульсов.

### Введение

**Постановка проблемы.** В условиях отсутствия эффективных средств засечки ядерных взрывов малой и сверхмалой мощности с одной стороны и специфики поражающих факторов тактических боеприпасов с другой, вопросы точной (достоверной) оценки параметров поражающих факторов [1–4] в современных условия приобретают особую актуальность. Разрабатываемые системы оперативного прогнозирования степени радиационного поражения, по данным регистраторов параметров ядерного взрыва [5–6] требуют пересмотра и совершенствования методов определения, как тротилового эквивалента ядерного боеприпаса, так и более точного определение координат центра взрыва в пространстве.

Во-первых точность существующих методов и способов определения мощности ядерного взрыва разработанных для концепции массового применения ядерного оружия боеприпасами большого мощности обеспечивала прогнозирование обстановки для ориентировочных (предварительных) оценок.

В тоже время для боеприпасов мощностью в 1 кт – время полного свечения светящегося облака ( $\tau_{св} \approx \sqrt[3]{q}$ ) составляет не более 2 сек, что для визуального способа регистрации боеприпасов принятых в войсках является неприемлемым и очень приближённым.

В этих условиях среднеквадратичная ошибка определения мощности ядерного взрыва радиотехническими методами может изменяться в 2–3 раза, светочувствительными: 25–50%. Погрешность светотехнических средств связана с зависимостью зоны засечки, как от прозрачности атмосферы, так и от мощности взрыва. Данный метод основан на регистрации развития светящейся области в течение её первой фазы светового излучения (рис. 1) – в литературе получивший название метод «огненного шара» или метод «минимума» [7–9].

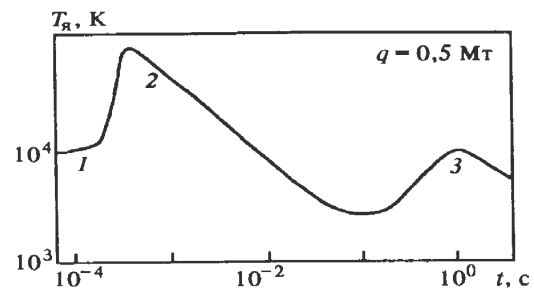


Рис. 1. Изменение во времени яркостной температуры в красной области спектра светящейся области ядерного взрыва: 1 – начальная фаза развития; 2 – первая фаза; 3 – вторая фаза (цит. по [10])

Определяя температурный минимум (рис. 1) проводят измерение длительности свечения первой фазы светящейся области, вследствие чего предоставляется возможность определить и тротильный эквивалент ядерного боеприпаса. Анализ литературы [10–11] показывает, что при мощности 2 кт температурный минимум составляет 4800 К, при 20 кт 3600 К, при мегатонных взрывах приближается к 2000 К. Однако, при взрывах менее 1 кт минимум отсутствует и шар светит одним коротким импульсом, в результате, чего тротильный эквивалент боеприпасов малого и сверх малого калибров определяется по полному свечению второй фазы со значительной погрешностью.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [7–9] описывается способ экспериментального определения полного тротилового эквивалента ядерного взрыва при атмосферных испытаниях. По серии фотокадров, полученных скоростной камерой, с высокой точностью определялась скорость расширения светящегося огненного шара ядерного взрыва на начальной стадии его развития. Поскольку эта величина целиком определяется энергией, освобожденной при взрыве, экспериментально найденное значение скорости расширения огненного шара позволяло надежно оценивать тротильный эквивалент взрыва. С конца 1958 года,

началась разработка приборов практического назначения с фотоэлектрической регистрацией процесса развития первой фазы воздушного взрыва. В качестве датчиков в приборах с фотоэлектрической регистрацией развития первой фазы использовались [9] стандартные малоинерционные светоприемники различных типов с ограниченным спектральным диапазоном. При этом их выбор определялся из следующего обязательного условия – результирующая спектральная характеристика воспринимающей системы регистратора развития первой фазы корректировалась с помощью специальных светофильтров, чтобы в достаточной степени соответствовать спектральной характеристике фотопленки, традиционно использовавшейся в скоростных камерах для регистрации первой фазы. Для обеспечения регистрации данными приборами исследуемого процесса в широком диапазоне интенсивности светового излучения (в зависимости от мощности взрыва и дистанции от него) в них предусматривалось эшелонирование путем использования нескольких каналов регистрации, пределы измерения которых отличались на порядок. В качестве воспринимающих излучение элементов использовались вакуумные фотоэлементы СЦВ-3 с светофильтрами и фотоэлементы ЦВ-3. Сигнал от фотоэлемента, пройдя через балансный каскад, регистрировался шлейфом осциллографа. В последующих разработках измерителей длительности первой фазы в качестве датчиков использовались полупроводниковые селеновые фотоэлементы (типа СФ-10), выходной сигнал которых являлся функцией освещенности.

Вторым нерешённым вопросом в области регистрации параметров ядерного взрыва, является повышение точности определения координат центра взрыва. Точность также может изменяться в широких пределах (радиотехническими средствами – до 1 км [12], светотехническими средствами порядка 0,2 км [13–14], постами визуального наблюдения – до 1,5 км), что на фоне развивающихся геоинформационных технологий (технологий геолокации) и глобального позиционирования также требует пересмотра и усовершенствования.

Анализ показывает, что известна оптическая система с головкой пеленгатора, вращающаяся относительно вертикальной оси со скоростью 600 об/мин [13–14]. Формирование электрических сигналов ПЕЛЕНГА осуществляется оптико-электрической системой, состоящей из двух цилиндрических линз, зеркала, экрана с диафрагмой и светоприёмника (фотодиода). В основу определения угла места положена зависимость сдвига во времени сигналов друг относительно друга от угла падения световых лучей на цилиндрические линзы, т.е. от угла места. Азимут световой вспышки определяется по угловому интервалу между сигналами от азиму-

тальной линзы и импульсом начала отсчёта головки пеленга.

Недостатком являются подвижные части оптико-электрической системы. В работе [15] описан способ засечки ядерных взрывов по флуоресцентному излучению. Угол обзора фотоприёмного устройства – 120 угловых градусов, обнаружение ядерного взрыва происходит по оптическому флуоресцентному излучению светящегося слоя атмосферы. Известен также способ определения углового положения источника света заключающийся в одновременной регистрации двух составляющих светового потока с помощью двух пар противоположно ориентированных фотодетекторов и определении по результатам регистрации направления на источник [16–17]. Для одной пары детекторов определяют чётно-симметричную пеленгационную характеристику, а для другой – нечётно-симметричную пеленгационную характеристику, смещённую по оси ординат.

Анализ показывает, что для определения углового положения центра взрыва наиболее целесообразно использовать косинусоидальную функциональную зависимость интенсивности светового излучения ЯВ от угла его падения на чувствительную поверхность фотоэлектронного приемника – закон косинуса (Ламберта). Знание независимых величин фототоков фотоэлектронного приемника по двум угловым ортогональным осям просто и однозначно позволит определять положение излучающего ориентира в рамках базовой декартовой системы координат, требуя при этом минимум технических средств, что безусловно повысит, как помехоустойчивость, так и радиационную стойкость таких регистраторов.

Таким образом, проведённый аналитический обзор открытой литературы выявил необходимость и возможность создания фотометрического метода и устройства регистрации параметров первой фазы светового излучения ЯВ, которое за одно измерение в автоматическом режиме обеспечит определения мощности и направления на центр ядерного взрыва по световому излучению.

**Формулирование цели работы.** Разработать метод и устройство для определения мощности и направления на источник светового излучения в полевых условиях, который базируется на автоматическом определении длительности и интенсивности первой фазы светового излучения падающего на два плоских кремниевых фотодиода размещённых под углом один по отношению к другому.

## Изложение основного материала

Известно, что распределение энергии светового излучения по спектру близко к спектральному распределению энергии излучения абсолютно чёрного

тела, где спектральная интенсивность излучения зависит только от его температуры и определяется законом Планка. Плотность потока (количество энергии, испускаемой в единицу времени с единицы поверхности) на всех длинах волн, определяется законом Стефана-Больцмана. Длина волны, соответствующая максимуму энергии в спектре, обратно пропорциональна абсолютной температуре и вычисляется по закону Вина-Голицына [1–2].

Длительность более короткой и менее мощной первой фазы хорошо коррелируется величиной тротилового эквивалента воздушного ядерного взрыва.

В работе [2] показано, что время достижения первого минимума (конец первой фазы) зависит от мощности взрыва и может с достаточно большой точностью определено по выражению (1), выведенного на основе законов подобия применительно к воздушному взрыву:

$$\tau_{\text{мин}} = 0,0025 \cdot q^{1/2}, \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{мин}}$  – время в секундах;

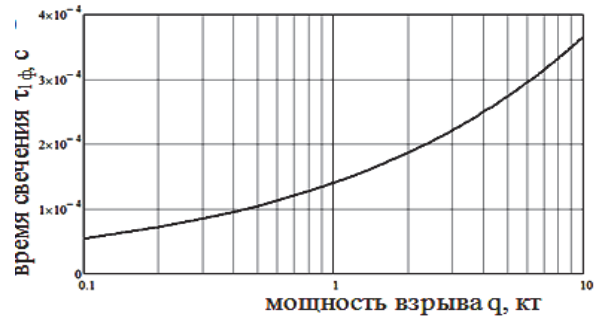
$q$  – мощность взрыва в кт.

В работе [1], для определения времени наступления температурного минимума с погрешностью  $\pm 35\%$  предлагается выражение (2) в котором учитывается плотность воздуха на высоте подрыва боеприпаса  $\rho_n$  ( $\rho_0$  – плотность воздуха на высоте моря):

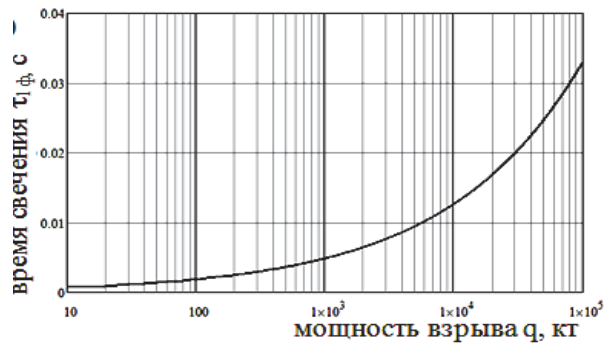
$$\tau_{\text{мин}} = 0,06 \cdot q^{0,4} \left( \frac{\rho_n}{\rho_0} \right)^{0,2}. \quad (2)$$

На основании данного выражения нами были проанализированы длительности свечения первой фазы светового излучения  $\tau_{1\phi}$  для боеприпасов различной мощности (рис. 2).

Анализ показывает, что длительность первой фазы свечения, носящий люминесцентный характер, может изменяться от долей миллисекунд для боеприпасов сверх малого и малого калибра до десятков миллисекунд – большой мощности. В силу определённой инерционности датчиков, фиксирующих параметры светового излучения, незначительная длительность первой фазы (например, для ядерного взрыва  $q=1$  кт  $\tau_{1\phi} = 0,14$  мс) может быть причиной не достаточной точности определения мощности взрыва. Измерение длительности первой фазы свечения осуществляется от начала свечения до точки (а) (рис. 3, а), соответствующей основному минимуму. Снижение точности определения длительности первой фазы может происходить также за счёт появления дополнительного ложного минимума (точка А) или уплощения характеризующего нарушение изменения светового потока во времени [14]. В результате могут иметь один минимум, два минимума, а также уплощение в первой фазе свечения вспышки перед минимумом (рис. 3, б, в).



а



б

Рис. 2. Зависимость длительности свечения первой фазы светового излучения от мощности ядерного взрыва: а – мощность взрыва 0,1–10 кт; б – мощность взрыва 10 кт–100 Мт

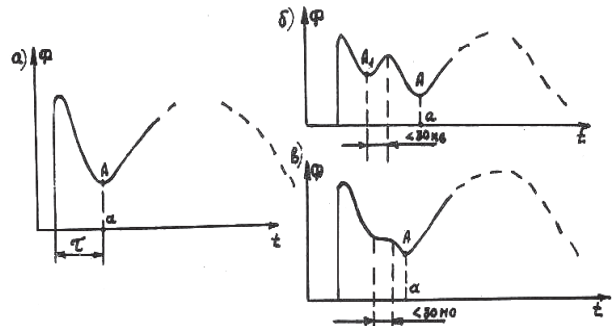


Рис. 3. Изменение светового потока ядерного взрыва во времени при наличии: а – одного минимума; б – ложного минимума; в – уплощения (цит. по [14])

Необходимо отметить, что в основу анализа истинного минимума положена закономерность в развитии свечения. Эта закономерность проявляется в том, что временной интервал между моментами, соответствующими ложному минимуму и второму максимуму, в случае двух минимумов и между началом и концом уплощения не превышает 30 мс для любых мощностей ядерных взрывов.

Таким образом, необходимым условием определения длительности первой фазы светового излучения, является получения достоверной формы светового импульса. Кроме того, с уменьшением энергии взрыва происходит сдвиг спектра в сторону более коротких длин волн (ультрафиолетовое излучение), связанное с уменьшением опти-

ческой толщины светящейся области при изменении её размеров.

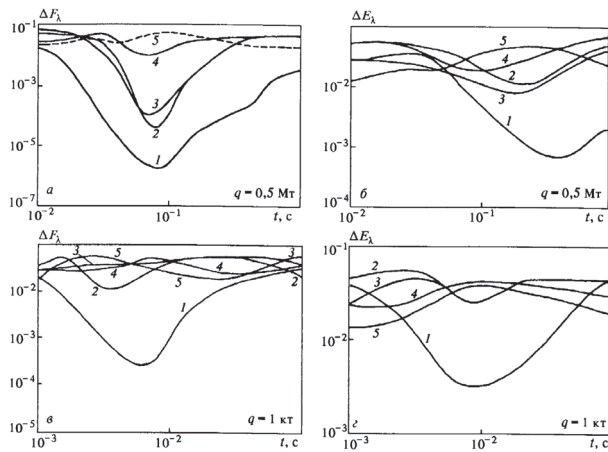


Рис. 4. Временные зависимости потока светового излучения (а; в) и энергии светового излучения (б; г) в разных спектральных интервалах (цит. по [10])

В работе [10] исследованы спектральные характеристики в виде долей  $\Delta F_\lambda$  интегрального пото-

ка и  $\Delta E_\lambda$  энергии излучения (рис. 4) для пяти спектральных интервалов: ультрафиолетовой части спектра 0,35–0,36 мкс (кривые 1); синей 0,45–0,48 мкм (кривые 2); зелёной 0,52–0,54 мкм (кривые 3); красной 0,69–0,73 мкм (кривые 4); инфракрасной 0,91–0,95 мкм (кривые 5).

Авторы обращают внимание на глубокий минимум в доле ультрафиолетового излучения на момент времени 0,1 с, связанный с резким падением яркостной температуры вблизи минимума свечения. Поскольку для боеприпасов малого и сверх малого калибров энергия взрыва уменьшается, то температура в минимуме повышается («минимум» для  $q=1$  кт менее глубокий чем для  $q=0,5$  Мт).

Нами проанализированы характеристики как уже применяемых ранее фотоприёмных устройств для измерения первой фазы светового излучения [7–9], так и возможные варианты современных полупроводниковых детекторов. Сравнительная оценка их спектральных характеристик представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная оценка спектральных характеристик фотоприемников для регистрации параметров первой фазы светового излучения (составлена по [18–19])

Фотоприемник	Характеристики фотоприемного устройства для измерения первой фазы			
	Спектральная чувствительность $\Delta\lambda$ , мкм	Максимум спектральной характеристики $\lambda_{max}$ , мкм	Токовая монохроматическая чувствительность	Постоянная времени нарастания фототока $\tau$ , с
Вакуумные фотоэлементы прибора ИПФ-1				
Фотоэлемент СЦВ-3	0,35–0,7	0,75±0,1	80 мкА/лм	-
Фотоэлемент ЦВ-3	0,4–1,2	0,45±0,05	20 мкА/лм	-
Селеновый фотоэлемент фотоголовок Ф-1 и Ф-2				
Фотоэлемент СФ-10	0,4–0,7	0,58	300–750 мкА/лм	-
Кремниевые фотодетекторы				
ФД-337	0,4–1,1	0,8	0,3 А/Вт	не более $10^{-6}$ с
ФД-228А	0,3–1,1	0,81	0,04 А/Вт	$1 \cdot 10^{-5}$
ФД «Квант»	0,2–1,05	0,4	0,25 А/Вт	-
КДФ105А	0,22–1,06	0,81	0,065 А/Вт	$1 \cdot 10^{-7}$
КДФ117А1	0,3–1,0	0,89	0,17 А/Вт	$1,3 \cdot 10^{-8}$

Анализ показывает, что для надёжной регистрации «минимума» в ультрафиолетовой части спектра, наилучшим образом целесообразно использовать кремниевые фотодиоды с широким спектром излучений (ФД «Квант»  $\Delta\lambda=0,2-1,05$  мкм и  $\lambda_{max}=0,4$  мкм) и токовой чувствительностью до 0,3 А/Вт при  $\lambda=0,63$  мкм (ФД-337А). Неравномерность токовой чувствительности составляет не более  $\pm 5,0\%$  [18,19]. Кроме того кремниевые PIN фотодиоды (ФД-337А) обладают низкой зарядовой емкостью, которая позволяет им работать в широком диапазоне частот при низком напряжении смещения. При подключении кремниевых PIN фотодиодов к высокоскоростному предусилителю их малая об-

щая емкость обеспечивает высокое быстродействие и низкий уровень шума (темновой ток ФД-337А составляет порядка 0,1 нА). Эта особенность делает кремниевые PIN фотодиоды идеальными детекторами для применения в высокоскоростной фотометрии и оптических линиях связи.

Таким образом, кремниевый PIN фотоприёмник ФД-337А с областью спектральной чувствительности по уровню 10 % от максимального значения 0,4–1,1 мкм ( $\lambda_{max}=0,8$  мкм), способен перекрыть видимый и ближний спектр инфракрасного излучения световой вспышки ядерного взрыва и зарегистрировать форму светового излучения (постоянная времени нарастания фототока ФД-337А не превы-

шает  $10^{-6}$  с) с последующим нахождением «минимума» первой фазы и собственно измерением её длительности. В эксперименте по получению типовой формы светового импульса (рис. 1) были использованы:

- кремниевый фотоприемник ФД-337А с площадью фотоэлемента  $100 \text{ мм}^2$ ;
- комплекс аппаратных и программных средств автоматизации измерений ИТМ (версия 4.4.1.2);
- импульсный источник света имитатор светового и электромагнитного излучения ядерного взрыва СИД-1.

Основой комплекса является компьютерный измерительный прибор – электронный блок, включающий 16 – разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с периодом измерения в 200 мкс, микроконтроллер, интерфейс сопряжения с компьютером. К электронному блоку подключается кремниевый фотоприемник ФД-337А измерения интенсивности светового излучения.

Оценка интенсивности светового излучения (светового импульса) производится путём автоматического подсчёта количества импульсов с кремниевым фотоприемником анализатором импульсов N (рис. 5).

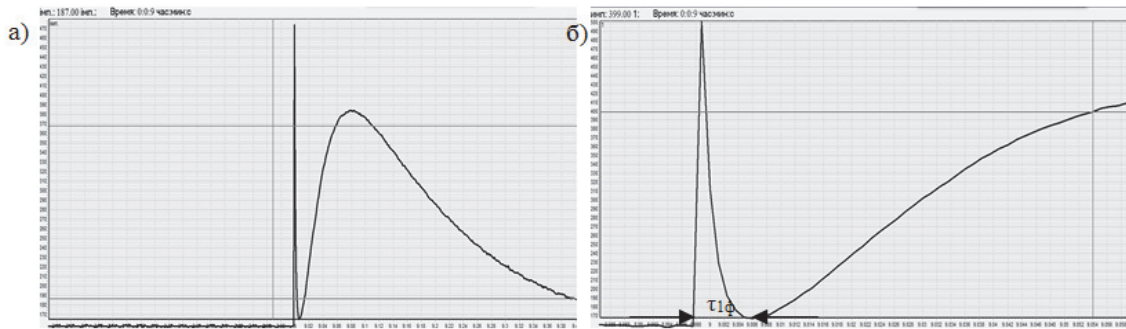


Рис. 5. Оценка количества импульсов N (имп) в фотопике с кремниевого фотодетектора при воздействии светового импульса имитатора СИД-1

Проведённый анализ полученных фотопиков (рис. 5, а; б), кремниевых PIN фотодетекторов показывает, что они полностью соответствуют фазам развития светящейся области ядерного взрыва, но несколько отличаются от них по продолжительности. Кремниевые PIN детекторы могут эффективно быть использованы для регистрации оптических параметров ядерного взрыва.

**Метод определения направления на центр ядерного взрыва по регистрации параметров первой фазы светового излучения**

Основным параметрам светового излучения на различных расстояниях от центра взрыва являются световой импульс  $I_0$  (количество энергии падающее за время первой фазы светового импульса на единицу площади поверхности фотоприемного устройства, расположенной перпендикулярно к направлению на взрыв).

Параметрами излучения, учитывающие конкретные условия облучения фотоприемного устройства (отражающая интегральную характеристику) является импульс облучения (рис. 6).

Импульс облучения пропорционален световому импульсу  $I=I_0 \cdot k$ , где  $k$  – коэффициент, учитывающий условия облучения, а в частности ориентацию облучаемой поверхности фотоприемного устройства и зависящий от угла падения прямого излучения на эту поверхность ( $\cos \theta$  при  $\theta \leq 85^\circ$ ).

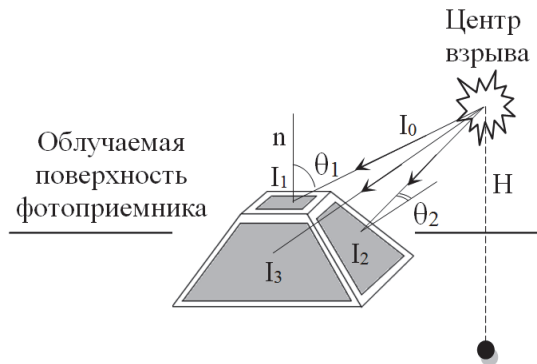


Рис. 6. Возможный вариант "трехмерного" приемного устройства углового положения (пеленгации) источника светового излучения ядерного взрыва

Основной недостаток всех описанных выше детекторов, чувствительных к угловому положению оптического источника, состоит в том, что они имеют малую точность определения углового положения, которая может быть увеличена только путем использования большого числа отдельных детекторов, что усложняет конструкцию детектора и увеличивает его стоимость. Для регистрации координат ядерного взрыва в пространстве по световому излучению возможны разные модификации геометрии приемного устройства. Приемное устройство может включать в себя четыре фотодетектора, образующие с основанием четырехгранную пирамиду с равными углами, прилегающими к основанию. При этом вычислительный блок должен иметь возможность





х в диапазоне  $\alpha$  импульс облучения  $I_1, I_2$  будут изменяться от  $\frac{I_0}{R^2}$  до 0, при этом уменьшение импульса облучения на одном фотоприемнике приведёт к увеличению её на другом фотоприемнике, т.е. двойное повышение точности (уменьшение погрешности измерения искомого угла) достигается тем, что разностный сигнал ( $I_1 - I_2$ ) равен сумме двух изменений импульсов облучения  $\Delta I_1 + \Delta I_2$ .

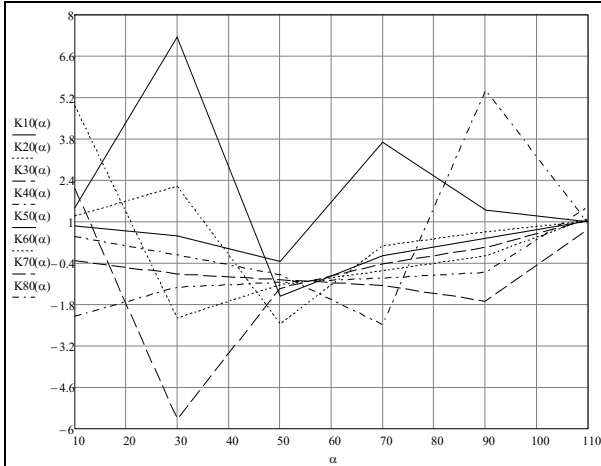


Рис. 8. Зависимость отношения импульсов облучения для заданного направления  $K_x$  от угла между поверхностями кремниевых фотоприемников  $\alpha$

Экспериментальную проверку разработанного метода проводили с использованием комплекса аппаратных и программных средств автоматизации измерений ИТМ (рис. 9).

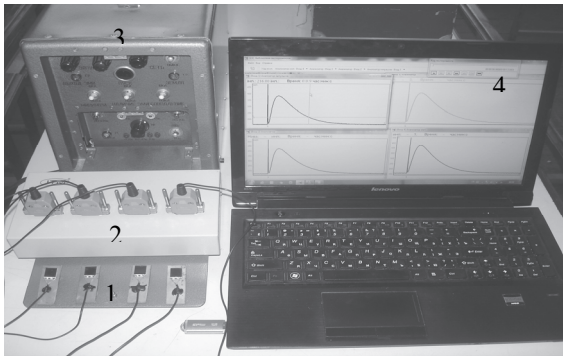


Рис. 9. Экспериментальная установка: 1 – кремниевые детекторы; 2 – четырех канальный анализатора импульсов с предусилителями для кремниевых детекторов; 3 – импульсный источник света СИД-1; 4 – компьютерный измерительный прибор

В качестве импульсного источника света использовался имитатор светового и электромагнитного излучения ядерного взрыва СИД-1.

Расстояние между источником света и кремниевыми фотоприемниками составляет 1,5 м.

Фоновое значение детектора  $N_f$  составляет 12(7) имп для первого и второго фотоприемника соответственно.

Результаты экспериментальных оценок импульсов облучения (фотопиков) для углов между рабочими поверхностями детекторов в 90 и 120 градусов представлены в табл. 2.

По результатам табл. 2 получена зависимость отношения импульсов облучения от угла направления на источник светового излучения (рис. 10).

Таблица 2

Средние значения количества импульсов с кремниевых фотоприемников и их отношение  $K = N_1/N_2$  от направления на источник

Количество импульсов (имп)	Направление на источник (угол х)										
	90°	80°	70°	60°	50°	45°	40°	30°	20°	10°	0°
угол между рабочими поверхностями детекторов $\alpha=90^\circ$											
$N_1$	290	409	335	527	540	428	327	560	400	336	264
$N_2$	48	83	90	157	164	155	99	231	252	243	204
$K = N_1/N_2$	6,04	4,92	3,72	3,35	3,29	2,46	3,30	2,42	1,58	1,38	1,29
угол между рабочими поверхностями детекторов $\alpha=120^\circ$											
$N_1$	327	345	341	460	415	354	535	483	522	382	351
$N_2$	68	72	82	174	141	201	210	270	334	271	274
$K = N_1/N_2$	4,8	4,79	4,15	2,64	2,94	2,54	1,76	1,78	1,56	1,4	1,28

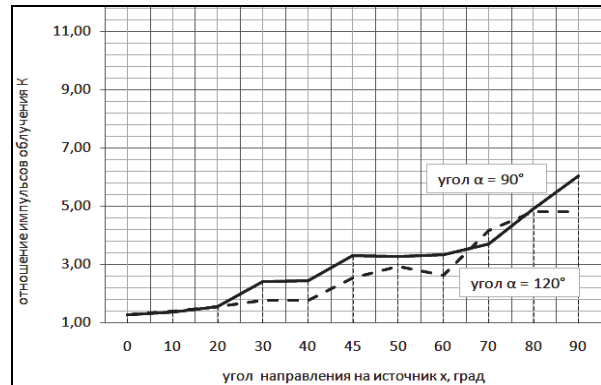


Рис. 10. Зависимость отношения импульсов облучения  $K$  от направления на источник

Анализ данной зависимости показывает принципиальную возможность определения направления на источник светового излучения в полевых условиях, который базируется на автоматическом определении импульса облучения от первой фазы светового излучения ЯВ, падающего на два плоских кремниевых фотодиода размещённых под углом один по отношению к другому.

### Выводы

1. Проведённый аналитический обзор открытой литературы выявил необходимость и возможность создания фотометрического метода регистрации параметров первой фазы светового излучения ядерного взрыва на основе PIN кремниевых детекторах размером 10 мм × 10 мм.

2. Разработан метод и устройство, которое за одно измерение обеспечивает определение мощности и направления на центр ядерного взрыва по

световому излучению. Метод базирується на автоматическом определении длительности первой фазы светового излучения ЯВ и импульсов облучения от двух плоских кремниевых фотодиодов размещённых под углом один по отношению к другому.

3. Экспериментальная проверка устройства показала возможность измерения направления на световую вспышку с погрешностью не более  $\pm 10^\circ$ .

### Список литературы

1. Действие ядерного взрыва / Сборник переводов под ред. С.С. Григоряна и Г.С. Шапиро. – М.: Изд «Мир», 1971. – 680 с.
2. Действие ядерного оружия: пер. с англ. – М.: Воениздат, 1965. – 683 с.
3. Иванов А.И. Поражающее действие ядерного взрыва / А.И. Иванов, Г.И. Рыбкин. – М.: Военное издательство МО Союза ССР, 1960. – 378 с.
4. Иванов А.И. Ракетно-ядерное оружие и его поражающее действие / А.И. Иванов, И.А. Науменко, М.П. Павлов. – М.: Воениздат, 1971. – 224 с.
5. Чернявский И.Ю. Оценка степени радиационного поражения путём прогнозирования дозовых нагрузок за данными датчика боеспособности населения при чрезвычайных ситуациях военного характера / И.Ю. Чернявский, В.В. Марущенко, А.В. Матыкин // Системи озброєння і військова техніка: наук.-техн. ж. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – №1(45). – С. 125-133.
6. Чернявский И.Ю. Анализ условий для создания системы выявления и оценки уровня радиационной безопасности жизнедеятельности населения при чрезвычайных ситуациях военного характера / И.Ю. Чернявский, В.В. Тютюнник, В.Д. Калугин // Збірка наукових праць. Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23. – С. 168-185.
7. Куликов С.М. Авиация и ядерные испытания / С.М. Куликов. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1998. – 176 с.
8. Кабыченко Н.В., Разоренов А.А., Горюнов Б.Г. Обеспечение ядерных полигонов приборами // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т. 40, № 6. – С. 126-131.
9. Шнирман Г.Л. Аппаратурные наблюдения (избранные труды) / Г.Л. Шнирман. – М.: ОИФЗ РАН, 2003. – 304 с.
10. Физика ядерного взрыва. Т. 1. Проникающие излучения. ЦФТИ МО РФ / Н.А. Кондурушкин, Н.В. Гаранюшкин и др. – М.: Наука, Физматлит, 1997. – 526 с.
11. Механическое действие ядерного взрыва. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 384 с.
12. Сайбель А.Г. Разностно-дальномерный способ определения координат источника радиоизлучения и реализующее его устройство / А.Г. Сайбель, П.С. Гришин. – Патент №2309420. – Россия, 2007 г.
13. Лебедько Е.Г. Системы оптической локализации, часть 3: учеб. пособ. для ВУЗов / Е.Г. Лебедько. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 110 с.
14. Шкиренко А.К. Светотехническая станция за сечки ядерных взрывов К-611-0 / А.К. Шкиренко. – Севастополь: Севастопольское высшее военно-морское инженерное училище, 1990. – 146 с.
15. Уэстервельт Д.Р. Лос-аламосская система обнаружения флуоресценции атмосферы / Д.Р. Уэстервельт, Х. Термин // ТИИЭР. – 1965. – Т. 53, № 12. – С. 2287-2292.
16. Устройство для определения углового положения импульсного источника оптического излучения. Патент на изобретение № 2088949 (RU). Опубликовано 27.08.1997.
17. Детектор углового положения оптического источника. Патент на изобретение № 2399063 (RU). Опубликовано 10.09.2010.
18. Бараночников М.Л. Приемники и детекторы излучений: справочн. / М.Л. Бараночников. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 640 с.
19. Розробка високоефективних мікро-, нанотехнологій оптоелектроніки і комунікаційних систем на їх основі / В.Г. Вербицький, І.М. Вікулін, П.П. Воробієнко, В.М. Годованюк, В.Б. Каток, Ш.Д. Курмашев, В.І. Осінський, І.П. Панфілов, В.В. Рюхтін, Г.О. Сукач. – К.: ЛОГОС, 2009. – 302 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Стаховский, Факультет военной подготовки НТУ «ХПИ», Харьков.

### ЗАСТОСУВАННЯ КРЕМНІЄВИХ PIN ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ЯДЕРНОГО ВИБУХУ

І.Ю. Чернявський, О.М. Григор'єв, З.В. Білик, В.Б. Матикін

Проаналізовано недоліки реєстрації параметрів ядерних вибухів. Розроблені метод і апаратура для автоматичного вимірювання потужності ядерного вибуху і спрямування на центр вибуху на основі кремнієвих PIN детекторів площею 10 мм×10 мм і багатоканальних аналізаторів імпульсів з персональним комп'ютером.

**Ключові слова:** світлове випромінювання, ядерний вибух, кремнієві детектори, багатоканальний аналізатор імпульсів.

### THE USE OF SILICON PIN DETECTORS FOR RECORDING PARAMETERS OF NUCLEAR EXPLOSION

I.Yu. Cherniavskiy, A.N. Grigoriev, Z.V. Bilyk, V.B. Matykin

Analyzed disadvantages of nuclear explosions registration parameters. Method and equipment for automatically measuring the power of a nuclear explosion and the direction for the center of the explosion based on silicon PIN detectors an area of 10 mm×10 mm and multichannel pulse analyzers with a personal computer been developed.

**Keywords:** light radiation, a nuclear explosion, silicon detectors, multi-channel pulse analyzer.