

УДК 621.37

**ОПТИКО-ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ
В ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

© Андрей Николаевич Ганичев¹, Сергей Иванович Герасимов^{1,2,3},
Римма Валериановна Герасимова¹, Владимир Иванович Ерофеев^{3,4},
Иван Игоревич Каныгин¹, Татьяна Владимировна Кудрявцева²,
Елена Александровна Львова², Михаил Романович Турусов¹,
Татьяна Николаевна Яшкова¹

¹Саровский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Саров, Россия

²Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия

³Институт проблем машиностроения Российской академии наук, Саров, Россия
s.i.gerasimov@mail.ru

Аннотация. Приведены примеры разработанных методов оптико-фотоэлектронной регистрации для хронографирования последовательных энерговыделений, анализа процесса выстрела из баллистических установок и т.д. Указанные процессы характеризуются наличием импульсной вспышки, которая фиксируется фотодиодом, включенным в фотодиодном режиме. Используя кремниевые фотодиоды, которые чувствительны в диапазоне от ультрафиолета до инфракрасного излучения, можно идентифицировать процессы, сопровождающиеся импульсным энерговыделением. Например, при взрыве максимальные яркостные температуры реализуются при выходе детонации в окружающую заряд газовую среду (чаще всего воздух атмосферного давления), поскольку излучает ударно сжатый газ. По мере расширения давление в ударной волне резко уменьшается и уменьшается температура за фронтом. Излучение на поздних стадиях приближается к спектру излучения относительно холодных продуктов детонации. Поэтому даже при взрыве большого по общей массе заряда, состоящего из отдельных участков, иницируемых последовательно, достаточно одного панорамного фотоприемника, чтобы идентифицировать иницирование каждого отдельного участка по наличию короткой начальной фазы сигнала, связанного с излучением «горячих» синих квантов. При выстреле из баллистической установки, в зависимости от ее типа и условий вакуумирования ствола, появлению метаемой модели на срезе ствола предшествует истечение газов, формирующих дульную ударную волну. Регистрируя данное излучение можно с расчетной задержкой бесконтактно запускать оптико-физическую аппаратуру в опыте и, в дальнейшем, анализировать соответствие выстрела ожидаемому штатному для данной установки, массе порохового заряда и т.д.

Ключевые слова: фотодиод, тепловое излучение, газодинамический эксперимент, взрыв, баллистическая установка.

OPTICAL PHOTOELECTRONS REGISTRATION GASDYNAMIC EXPERIMENTS

©A.N. Ganichev¹, S.I. Gerasimov^{1,2,3}, R.V. Gerasimova¹, V.I. Erofeev³, I.I. Kanygin¹,
T.V. Kudryavtseva², E.A. Lvova², M.R. Turusov¹, T.N. Yashkova¹

¹Sarovski Physico-Technical Institute of the National Research Nuclear University MEPHI,
Sarov, Russia

²Russian Federal Nuclear Center - All-Russian Research Institute of Experimental Physics,
Sarov, Russia

³Mechanical Engineering Research Institute, Russian Academy of Sciences,
Nizhny Novgorod, Russia
s.i.gerasimov@mail.ru

Abstract. The examples of the developed methods of optical-photoelectric registration for chronographically consistent energy release, analysis of the process of the shot from ballistic installations, etc. are presented. These processes are characterized by the presence of a pulsed flash, which is recorded with a photodiode operated in the photodiode mode. Using silicon photodiodes that are sensitive in the range from ultraviolet to infrared radiation, it is possible to identify the processes, accompanied by the pulse energy. For example, as explosion occurs the maximum brightness temperature is realized when detonation wave reached the border of the charge and generates shock wave in gaseous medium (usually air at atmospheric pressure), where the shock compressed gas emits. As the pressure in the shock wave decreases sharply and reduces temperatures behind the front. Radiation in the later stages of shock propagation corresponds to the spectrum of radiation of relatively cold detonation products. Therefore, even when a large explosion takes place where the total charge consists from separate parts, initiated sequentially, one panoramic photo detector to identify the initiation of each separate part is enough due to the presence of short initial phase signals associated with the emission of "hot" blue quanta. When fired from a ballistic installation, depending on its type and conditions vacuuming of the trunk, the emergence of the model under study at the cut stem is preceded by a flow of gases forming the muzzle shock wave. Registering this radiation can be estimated delay to launch contactless optical and physical instrument in the experience and, further, to analyze the shot under the anticipated staffing for this installation, the weight of the powder charge, etc.

Keywords: photodiode, heat radiation, gas dynamic experiment, explosion, ballistic installation

Введение

При отработке и проектировании образцов вооружения и военной техники различных видов одним из важнейших элементов является экспериментальная отработка комплексов и систем, в ходе которой разработчик получает реальную и достоверную информацию, позволяющую оценить их боевые, технические и эксплуатационные характеристики, а также проверить их соответствие требованиям тактико-технических заданий. Входящие в состав развитой и дееспособной экспериментальной базы, средства оптико-физических измерений призваны помогать решать многочисленные задачи, в числе которых важнейшими являются следующие [1,2]:

- подтверждение работоспособности системы инициирования макета специзделия в динамических опытах (необходима оценка качественного состояния объекта испытания – наличие/отсутствие подрыва активного содержимого, задержка подрыва от момента контакта ОИ с преградой);
- хронографирование работы разветвлённых, многокомпонентных схем подрыва, включающих в себя большое количество последовательно инициируемых зарядов ВВ с разбросом масс, в условиях запылённой атмосферы;
- определение пространственного положения системы, содержащей ВВ, в точке срабатывания изделия при летных испытаниях;
- диагностика состояния изделий, содержащих ВВ, при испытании на стойкость к высокотемпературному газодинамическому воздействию.

Были разработаны методики и устройства оптико-фотоэлектронных измерений, которые позволили решить многие научно-технические задачи: впервые была осуществлена передача видеoinформации с борта специзделия, зафиксированы процессы разгона, отделения изделия от ракетной платформы-носителя, свободного полета и соударения с преградой; предложен фотоэлектронный способ хронографирования работы разветвлённых, многокомпонентных схем подрыва, включающих в себя большое количество последовательно инициируемых зарядов ВВ с разбросом масс, в условиях запылённой атмосферы.

Методики регистрации основаны на применении кремниевых фотодиодов в качестве фоточувствительных элементов, работающих в фотодиодном (вентильном) режиме. Малая

постоянная времени применяемых фотодиодов позволяет использовать их в задачах, связанных с фиксированием разнесенных во времени процессов, в том числе быстропротекающих, сопровождающихся свечением. Общий подход к проведению измерений описан в [1].

Визуальное наблюдение и контроль за динамикой движения телеметрируемых объектов с использованием передачи информации по телеметрическому каналу

В данных испытаниях была решена задача визуального наблюдения процесса разгона и отделения объекта исследования от реактивной платформы. На рисунке 1 представлена 3D модель опико-фотоэлектронного модуля и его размещение на ракетной тележке.



Рис. 1

В результате экспериментов впервые в опытах на РКУ МИК были получены видеокдры процесса разгона и отделения ОИ от реактивной платформы (рисунок 2).

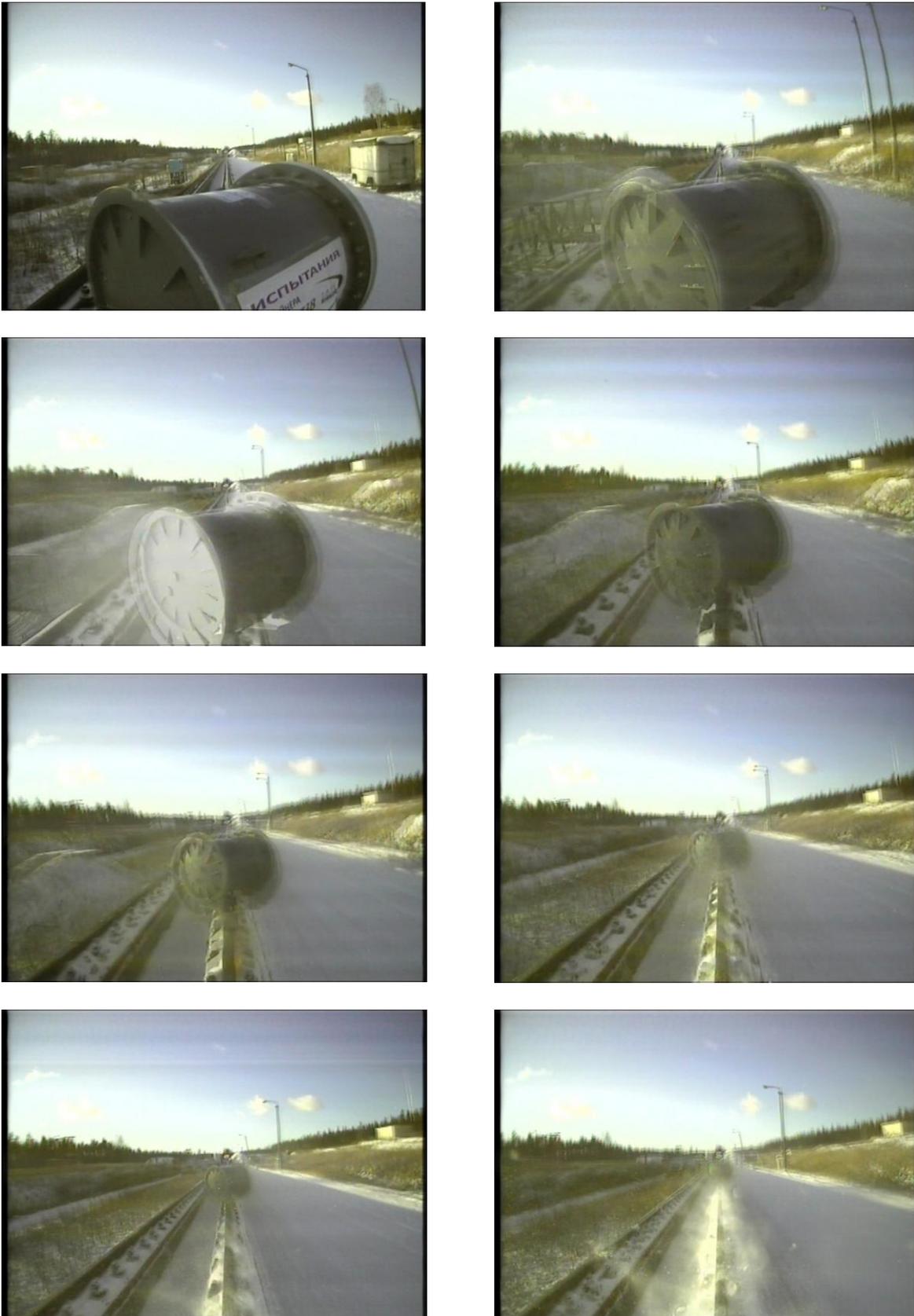


Рис. 2 – Видеокадры процесса разгона и отделения ОИ от реактивной платформы

Фотоэлектронное хронографирование подрыва большого количества последовательно инициируемых зарядов ВВ с разбросом масс в условиях запыленной атмосферы

В испытаниях осуществлялось инициирование двух групп удлиненных зарядов ВВ, выполненных из детонирующего шнура, расположенных горизонтально и вертикально относительно поверхности земли.

Для подтверждения исполнения заданного алгоритма подрыва, необходимо было хронографировать подрыв каждого из зарядов относительно единой временной шкалы. Фотоэлектронная регистрация осуществлялась фотоприемником с широкой полосой пропускания, сигнал с которого поступал на цифровой осциллограф.

Схема проведения экспериментов представлена на рисунке 3.

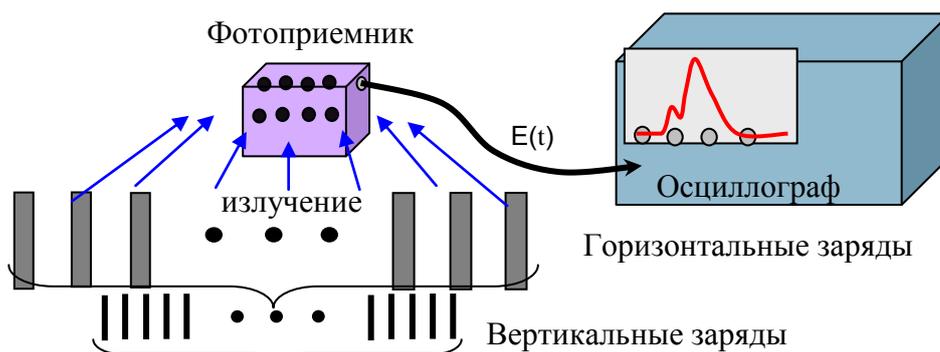


Рис. 3 – Схема фотоэлектронной регистрации

Пример осциллограммы, полученной в данных экспериментах, представлен на рисунке 4.



Рис. 4 – Осциллограмма, полученная в эксперименте

По результатам обработки осциллограмм, полученных в испытании, можно делать выводы о соответствии (несоответствии) работы системы зарядов заданному алгоритму.

Определение пространственного положения специзделия, содержащего ВВ, в точке срабатывания изделия при государственных летных испытаниях

В данных испытаниях решалась задача определения высоты подрыва взрывчатого вещества, содержащегося в объекте испытаний, методом фотоэлектронной регистрации освещенности независимо от временного алгоритма работы системы инициирования и силы ветра на разных высотах. Методика обеспечивает измерения координат на высотах полета

изделия до 250 м с суммарной относительной погрешностью измерений не более 0.78 % ($P=0.95$).

Фотоэлектронная регистрация осуществлялась тремя спаренными фотоприемниками. Фотодатчики работали автономно по появлению переменного светового сигнала с амплитудой выше некоторой выставленной пороговой величины. Сигналы с фотодатчиков передавались на цифровые осциллографы.

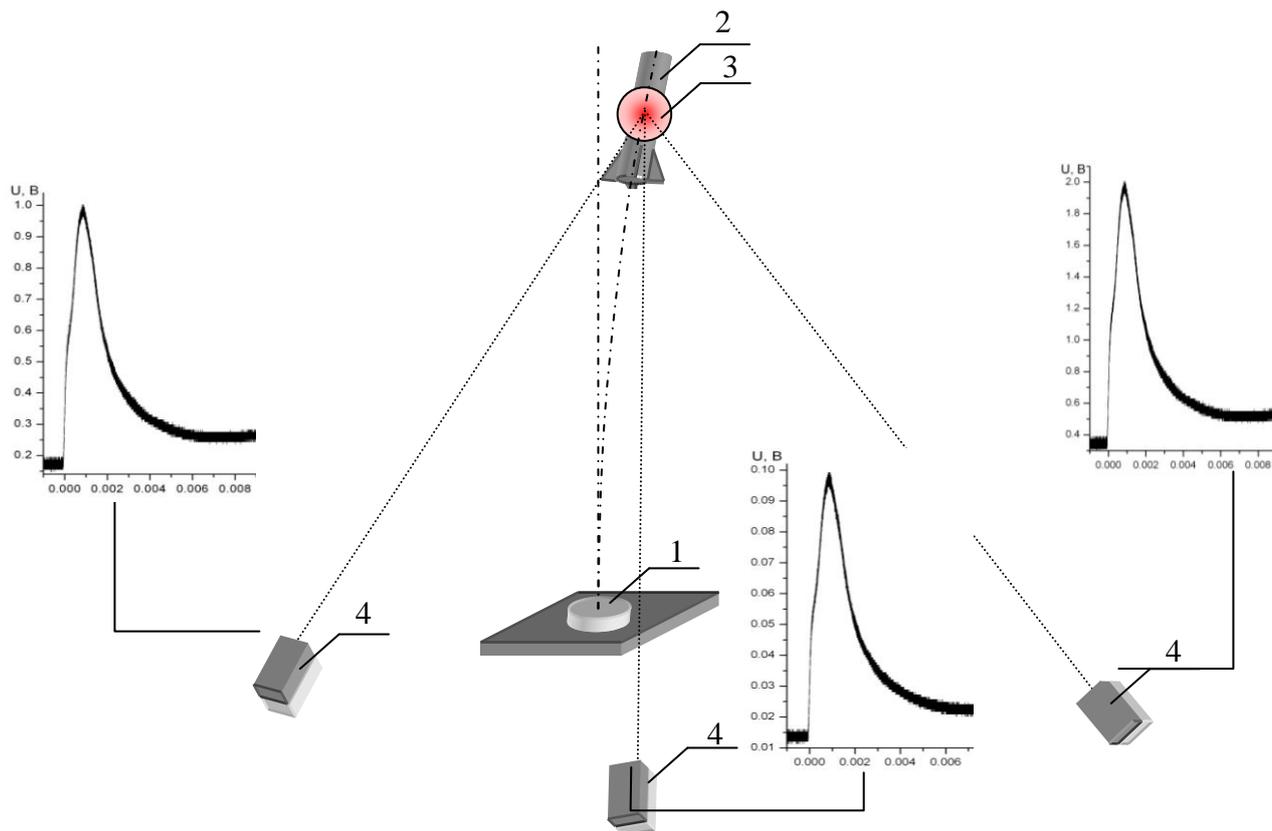


Рис. 5 – Взаимное расположение и ориентация оптических осей фотоприемников: 1 – объект испытаний; 2 – взрыв ВВ в ОИ; 3 – точка старта ОИ; 4 – широкодиапазонные электронно-оптические фотометры

В результате обработки полученных осциллограмм по разработанной методике была рассчитана высота и дальность подрыва объекта испытаний относительно точки старта.

Определение уровня освещенности, создаваемой выхлопом баллистических установок различного типа и высокоскоростным ОИ

Была проведена обширная работа по проведению фотоэлектронной регистрации освещенности, создаваемой выхлопом баллистических установок различного типа, накоплен большой объем экспериментальных данных. По результатам данных измерений можно судить о характерных стадиях выхлопа БУ. Данные исследования также важны для анализа режима работ баллистических установок (надежность обтюрации метаемого объекта в канале ствола) и для проектирования схем фотоэлектронной и электронно-оптической регистрации.

Фотоэлектронная регистрация освещенности осуществлялась широкодиапазонным электронно-оптическим фотометром ШЭОФ-3К, ориентированным на срез ствола БУ, сигнал с которого передавался на цифровой осциллограф. На рисунке 6 приведен график сигнала, соответствующего освещенности, создаваемой выхлопом баллистической установки МТ-18М.

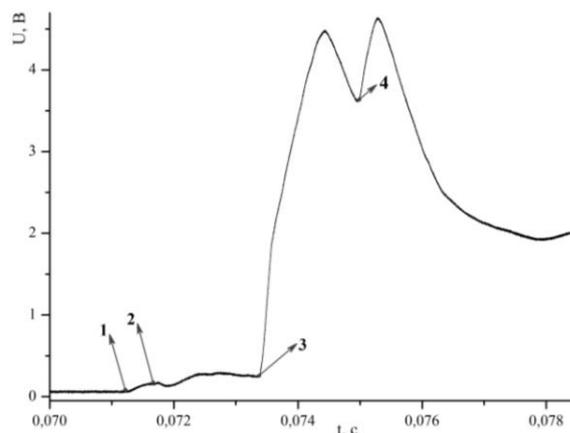


Рис. 6 – Освещенность, создаваемая БУ МТ-18М при выстреле (1 – выход воздушной пробки, 2 – выход МО из канала ствола, 3 – соударение МО с преградой, 4 – момент прихода дульной ударной волны к отсекателю)

Применение новых методов фотоэлектронных измерений позволяет получать качественно новую достоверную информацию об особенностях изучаемых быстропротекающих процессов, подтверждать соответствие режимов функционирования изделий штатным (планируемым) режимам.

На рисунке 7 приведен график сигнала, соответствующего освещенности, создаваемой выхлопом баллистической установки ЛГУ-16. Процесс выстрела из баллистической установки фиксировался высокоскоростной видеокамерой. На рисунке 8 представлены фрагменты видеорегистрации характерных стадий метания ОИ из баллистической установки.

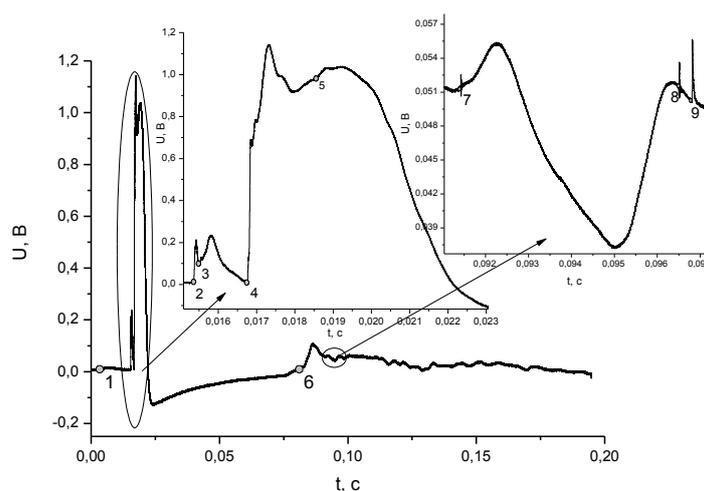


Рис. 7 – Освещенность, создаваемая БУ ЛГУ-16 при выстреле (1 – выход воздушной пробки, 2 – выход МО из канала ствола, 3,4,5 – выход рабочего газа, 7 – срабатывание КД, 8, 9 – срабатывание импульсных источников света)

По осциллограммам освещенности, создаваемой выхлопом различных баллистических установок, можно определять времена характерных процессов: выхода воздушной пробки, метаемого объекта из канала ствола, рабочего газа. Также регистрируются времена срабатывания средств подсветки (ИИС).



Рис. 8 – Видеокадры процесса выстрела из баллистической установки

*Работа выполнялась при поддержке Российского научного фонда
(Грант № 14-19-01637).*

Список литературы

1. Герасимов С.И., Файков Ю.И., Холин С.А. Кумулятивные источники света. Саров: Изд-во РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2002. 328 с.
2. Герасимов С.И., Лень А.В., Гончаров Е.А., Клунина Е.А., Кудрявцева Т.В. Фотоэлектронное хронографирование в практике газодинамического эксперимента // Труды конференции IX Харитоновских чтений. Саров: Изд-во РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2007. С.708-711.