

МОБИЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

*Н. А. Трепалов, С. И. Герасимов, Е. А. Гончаров, Е. А. Львова,
Н. В. Нижегородцев, В. С. Роженцов, К. В. Тотышев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При проектировании и отработке современного ракетно-артиллерийского вооружения важную роль играет экспериментальная отработка в наземных условиях. При этом возрастают требования к информативности и достоверности получаемых экспериментальных данных. Это обуславливает необходимость совершенствования приборов, методов регистрации и измерений. Особое внимание представляют оптические методы регистрации быстропротекающих процессов, обладающие рядом преимуществ: бесконтактность, т. е. получение информации без внесения искажений в исследуемую область; возможность получения информации в большом поле исследуемого течения, в том числе и трехмерной картины регистрируемого параметра.

Для решения задач оптико-физической регистрации быстропротекающих процессов в лабораторных и полигонных условиях разработан эксперимен-

тальный образец мобильного аппаратно-программного комплекса оптико-физических измерений (МАПК ОФИ). МАПК ОФИ состоит из двух высокоскоростных видеокамер, системы запуска и хронографии, геодезического оборудования, системы автономного электропитания, средство транспортировки – «Газель NEXТ» (рис. 1).

Одной из задач которую решает МАПК ОФИ является измерение параметров воздушной ударной волны (ВУВ) созданной при подрыве заряда взрывчатого вещества (состава). Под измеряемыми параметрами ВУВ подразумеваются: R-t диаграмма, скорость распространения фронта ВУВ; избыточное давление во фронте ВУВ. Для визуализации фронта ВУВ применяется теневой фоновый метод [1] с последующей обработкой полученной информации по [2]. МАПК ОФИ позволяет проводить регистрацию в лабораторных и полигонных условиях.



Рис. 1. МАПК ОФИ на полигоне

На рис. 2 представлены результаты, полученные при проведении регистрации в лабораторных условиях, где были оптимальным образом подобраны параметры схемы оптической регистрации с целью визуализации ВУВ малой интенсивности (~ 20 кПа). В эксперименте проводилось инициирование светочувствительного состава ВС-2 массой $\sim 0,1$ г, помещенного в латунный колпачок, лучом лазерного диода [3].

На рис. 3 приведены результаты, полученные при проведении регистрации в полигонных условиях. Проводилась регистрация процесса взрыва заряда шарообразной формы ($d_0 = 50$ мм) взрывчатого состава ПВВ-7 массой 100 г, расположенного на высоте 2,5 м. Регистрация осуществлялась с расстояния 29 м от места установки заряда.

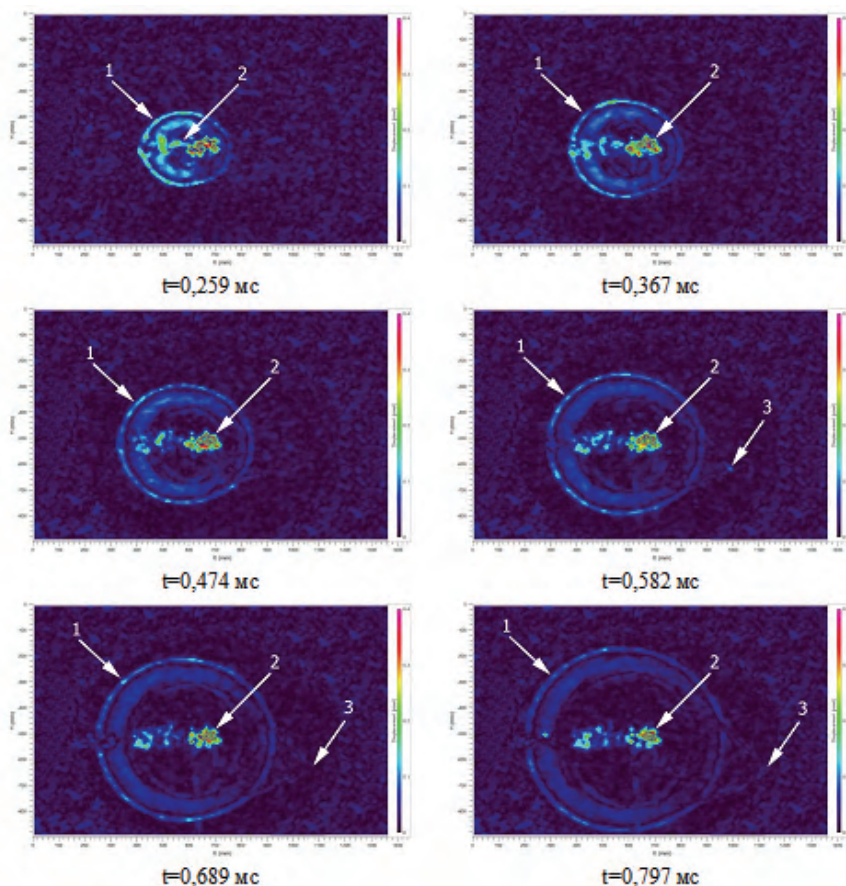


Рис. 2. Результаты визуализации: 1 – фронт ВУВ; 2 – продукты взрыва; 3 – осколок

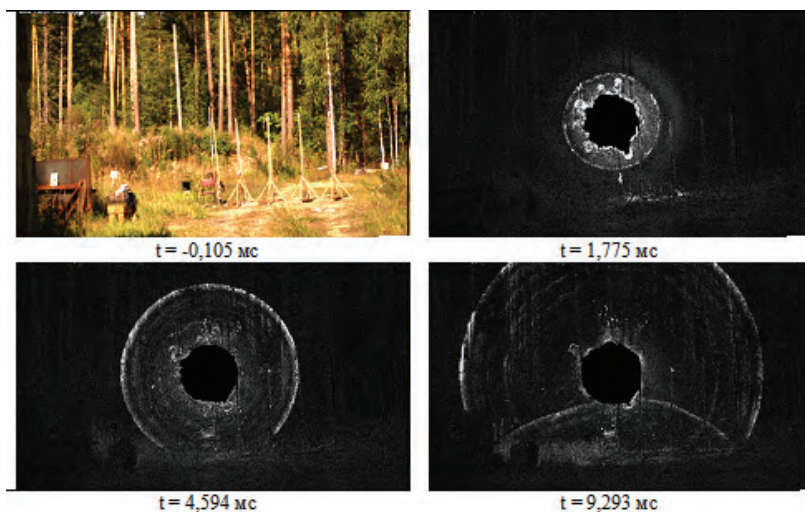


Рис. 3. Фрагмент видеорегистрации процесса взрыва заряда ПВВ-7

Для верификации МАПК ОФИ в области изменения параметров ВУВ был проведен сравнительный эксперимент. С помощью двух независимых методик измерений производилась регистрация параметров ВУВ от наземного взрыва заряда взрывчатого вещества (ВВ).

Испытание проводилось на приборном поле (ПП), оборудованном пьезокварцевыми преобразователями давления (ППД). ППД устанавливались на четырех взаимно перпендикулярных лучах №№ 1, 5, 9, 11 на расстояниях 3, 4, 5, 7, 10 и 12 м от центра приборного поля (рис. 4). Регистрация информации с ППД производилась многоканальным комплексом МІС-553.

С помощью МАПК ОФИ производилась видеорегистрация процесса взрыва. Видеорегистрация осуществлялась с помощью двух высокоскоростных видеокамер, расположенных на расстоянии ~ 40 м от

места установки заряда ВВ. Запуск регистрирующего оборудования осуществлялся автономно с помощью фотоприемного устройства (ФПУ), предназначенного для регистрации импульсного светового потока и формирования синхронизирующего электрического сигнала (рис. 4).

Источником формирования ВУВ являлся заряд, состоящий из пяти тротильных шашек массой 0,2 кг каждая. Заряд устанавливался в центре ПП на деревянном столе-подставке высотой 0,2 м (рис. 5). Инициирование заряда осуществлялось от электродетонатора ЭД-8.

Определение параметров ВУВ по информации с ППД осуществлялось по методу обеспечивающему расчет максимального значения избыточного давления во фронте ВУВ (ΔP_{ϕ}) по его скорости с точностью 5 %.

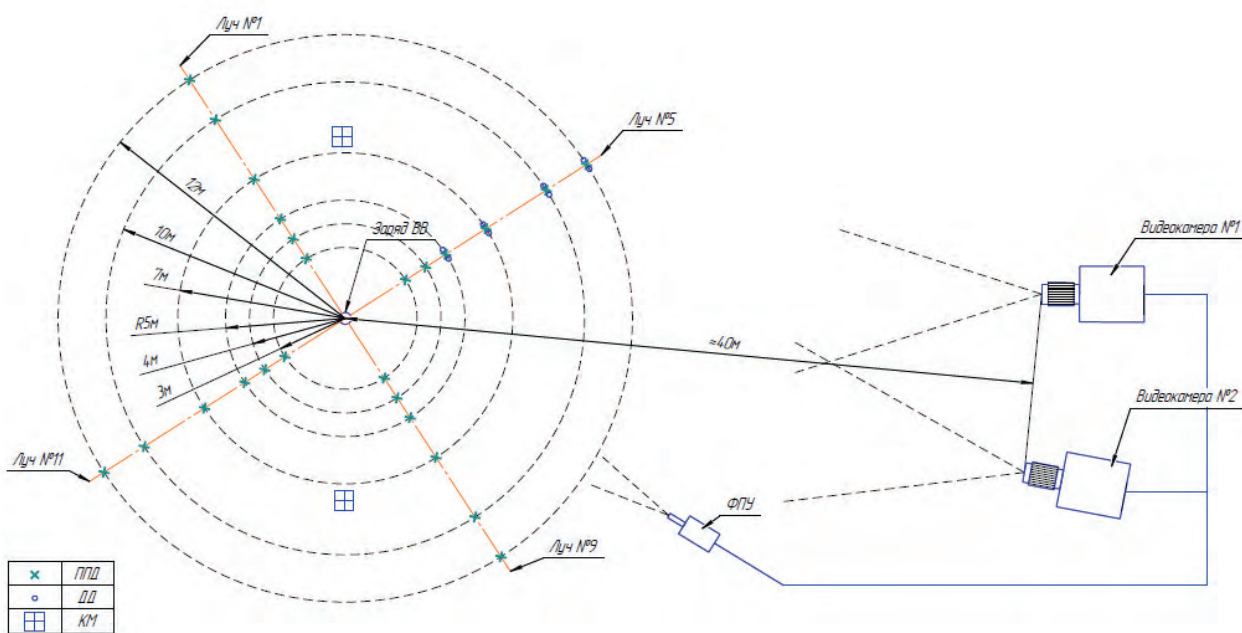


Рис. 4. Схема расположения регистрирующего оборудования



Рис. 5. Расположение и внешний вид заряда ВВ

С помощью МАПК ОФИ получена последовательность кадров процесса взрыва (рис. 6а). С целью визуализации ВУВ от взрыва заряда ВВ полученная видеoinформация была обработана с помощью специального программного обеспечения по алгоритму [2]. Результатом обработки является серия изображений ВУВ в дискретные моменты времени относительно начала процесса взрыва (рис. 6б). По последовательности полученных изображений ВУВ с учетом схемы оптической регистрации определены параметры ВУВ.

Результаты измерений параметров ВУВ с помощью МАПК ОФИ и ППД представлены на рис. 7.



Рис. 6. Изображения с видеокamеры № 2: а – фрагмент видеорегистрации; б – визуализация ВУВ

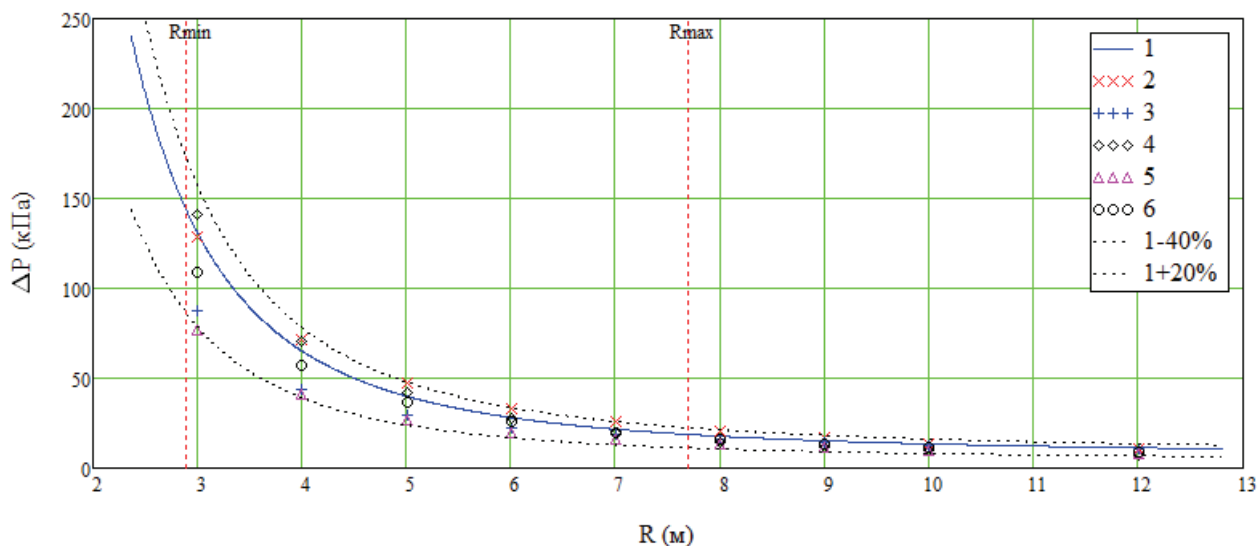


Рис. 7. Сравнение результатов измерения: 1 – результаты, полученные с помощью МАПК ОФИ (видеокамера № 2); 2 – данные, полученные на основании регистрации информации с ППД, расположенных на луче № 1; 3 – ППД луч № 5; 4 – ППД луч № 9; 5 – ППД луч № 11; 6 – средние значения по данным с ППД

В случае взрыва заряда несферической формы, расположенного на некоторой высоте над поверхностью, образованная ВУВ имеет сложную форму, что демонстрируют результаты видеорегистрации (см. рис. 6). Несферичность ВУВ означает пространственно-угловую анизотропию перепада давления по поверхности ударного фронта. Данное обстоятельство подтверждается результатами измерений параметров ВУВ, сделанными в различных точках пространства (рис. 7).

Результаты видеорегистрации распространения фронта ВУВ позволяют определить изменение параметров ВУВ в интересующем направлении. Для получения детальной информации об интенсивности ВУВ в области регистрации было выбрано пять лучей (рис. 8), вдоль которых определены значения ΔP_{ϕ} .

Полученные результаты (рис. 9) показывают существенное различие в данных по лучам. На начальном этапе интенсивность ВУВ в вертикальном направлении значительно выше остальных направлений. С течением времени, по мере приближения формы ВУВ к полусфере, разница интенсивности ВУВ по различным направлениям уменьшается.

Путем усреднения данных ОФИ по двум видеокамерам и пяти лучам для каждой видеокамеры получена обобщенная зависимость $\Delta P_{\phi}(R)$ (10). Степень расходимости результатов независимых измерений с помощью ППД и ОФИ (обобщенная зависимость) в области общей зоны регистрации (2,9–7,7 м) не превышает 5 %, что находится в диапазоне погрешности измерений используемых методик (7 %).

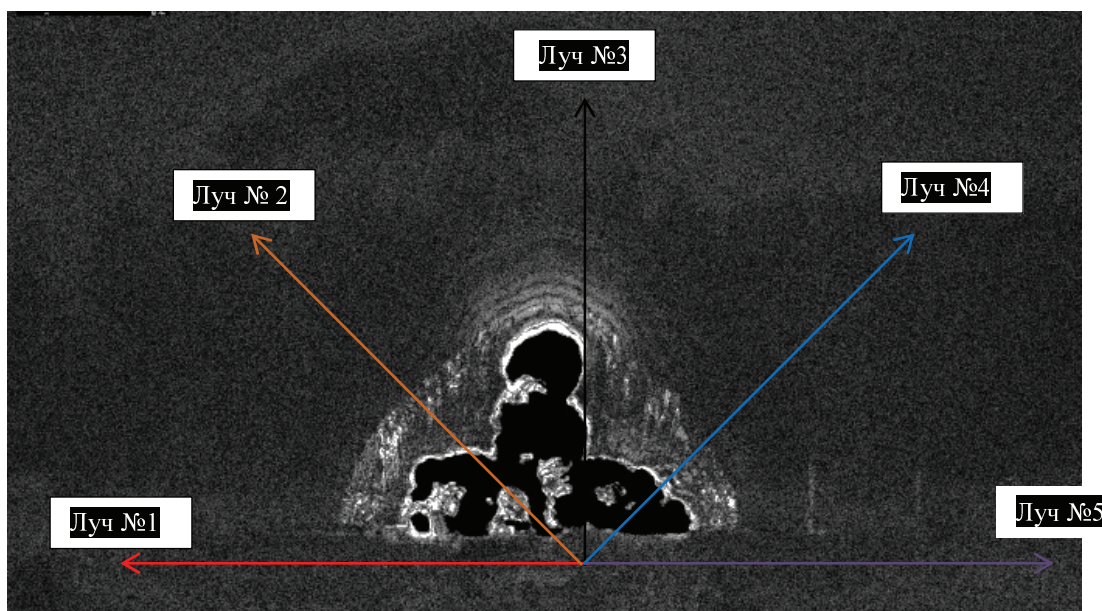


Рис. 8. Деление области видеорегистрации

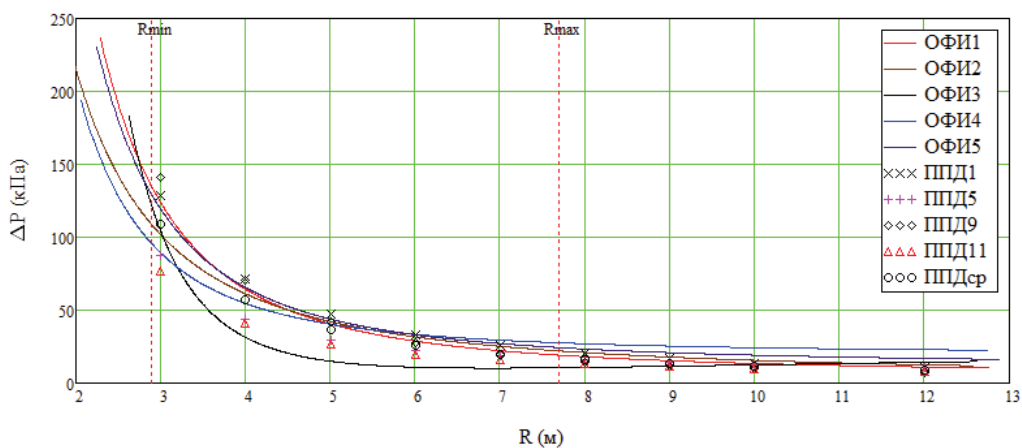


Рис. 9. Сравнение экспериментальных данных: ОФИ i – значения, полученные по результатам видеорегистрации (i – номер луча в соответствии с рис. 8); ППД i – данные, полученные на основании регистрации информации с ППД, расположенных на луче № i

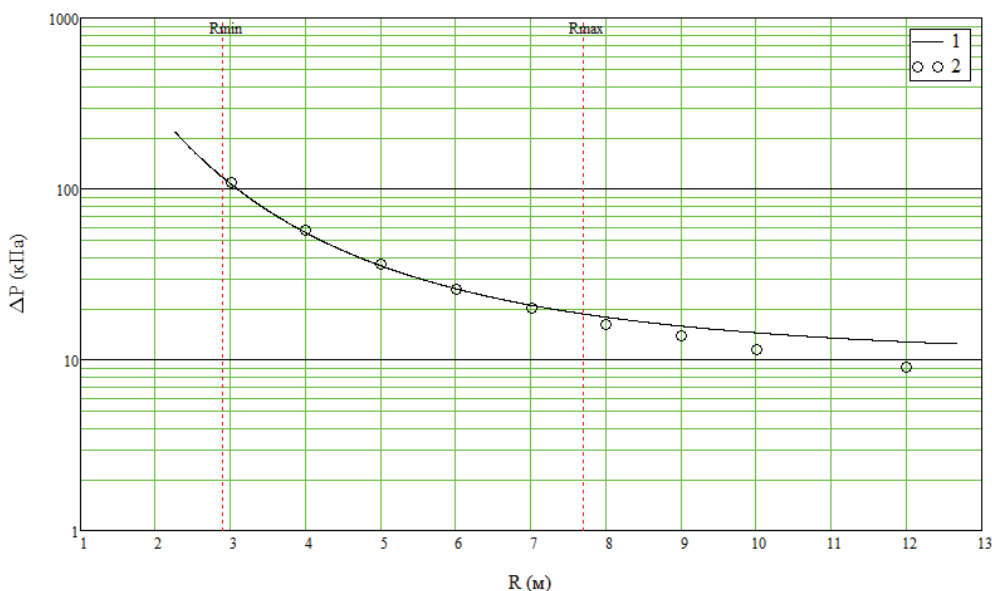


Рис. 10. Сравнение результатов измерений: 1 – результаты ОФИ (средние значения); 2 – средние значения полученные на основании регистрации информации с ППД

Экспериментальные данные показывают существенную (более 50 %) пространственно-угловую анизотропию перепада давления по поверхности ударного фронта на начальном этапе распространения ВУВ (~3 м). Данное обстоятельство необходимо учитывать при оценке энергетике взрыва по результатам измерения параметров ВУВ.

МАПК ОФИ позволяет оперативно прибыть к месту проведения работ и после его развертывания проводить автономную работу. Регистрация осуществляется дистанционно и на безопасном расстоянии, что обеспечивает сохранность регистрирующего оборудования. Результатом регистрации является наглядная качественная картина распространения ВУВ, доступная сразу после проведения регистрации. На основании полученных данных производится определение параметров ВУВ. При условии многора-

курсной видеорегистрации возможно получить полную (трехмерную) картину распространения ВУВ.

Литература

1. Герасимов С. И., Трепалов Н. А. Теневой фоновый метод – оптический метод исследования ударных волн // Журнал технической физики. 2017. Т. 87. № 12. С 1802–1807.
2. Способ визуализации оптических неоднородностей: пат. 2621620 Рос. Федерация. № 2015144660; заявл. 16.10.15; опубл. 06.06.17, Бюл. № 16.
3. Герасимов С. И., Илюшин М. А., Кузьмин В. А. Возможность инициирования полимерсодержащего энергонасыщенного состава комплексного перхлората ртути лучом лазерного диода // ПЖТФ. 2015. Т. 41. Вып. 7. С. 66–72.