

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 536.5

Ю.Б Базаров, В.А.Цыганов.

*ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, Россия,
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37, E-mail: superspot2011@rambler.ru*

О ВОЗМОЖНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕРМОВИЗОРОМ «VS-FAST» В ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты измерений температурного распределения при выходе детонационной волны на свободную поверхность, в облаке продуктов взрыва при срабатывании снарядоформирующегося заряда, оценка температуры во фронте головной ударной волны летящего поражающего элемента, температуры в зоне его взаимодействия с броневой преградой.

ТЕРМОВИЗОР, ТЕРМОИЗОБРАЖЕНИЕ, ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА, ПРОДУКТЫ ВЗРЫВА

В настоящее время, наряду с контактными средствами температурных измерений, все более широкое применение находят средства бесконтактного измерения температуры - пирометры и тепловизоры.

Для высокотемпературной пирометрии за промежутки времени, характерные для взрывных экспериментов, в основном используются либо полупроводниковые приёмники оптического излучения, либо вакуумные фотоэлектронные приборы [1,2] при этом для улучшения пространственного разрешения метода оптический тракт выполняют на световодах. Такой метод отличается высоким быстродействием, и чувствительностью, но количество точек, в которых измеряется температура, соответствует количеству оптических каналов. Поэтому, для получения температурных полей исследуемых поверхностей разрабатывались методы измерений на базе скоростных камер различного типа [3,4]. Однако эти методы не нашли широкого применения в связи с большой трудоёмкостью получения и обработки информации. Одним из основных преимуществ современных цифровых видеокамер на базе матричных приёмников изображений является простота и удобство получения изображений и их последующая обработка программными методами.

Научно-производственное предприятие «Термотех» разрабатывает тепловизоры для различных целей на базе видеокамер НПО «Видеоскан». В основном это тепловизоры для работы в реальном времени с соответствующими скоростями (порядка 30 кадров в секунду). Для использования в газодинамических экспериментах был разработан термовизор VS-Fast со скоростью съёмки до 2000 кадров в секунду.

Термовизор «VS-Fast» (в дальнейшем, термовизор) предназначен для бесконтактного измерения температуры по тепловому излучению объекта и преобразования её в визуальную картину распределения тепловых полей по поверхности объекта. Термовизор позволяет получить обобщенную информацию - тепловую картину некоторой области и конкретное значение температуры интересующего объекта, размер которого равен или больше размера элементарной ячейки поля зрения термовизора. Наиболее эффективным по сравнению с

другими методами является применение термовизора в случае, когда исследуемая поверхность нагрета неравномерно и температура участков изменяется со временем

В экспериментах исследовалась возможность применения термовизора для регистрации выхода детонационной волны на свободную поверхность ВВ (точка инициирования в центре с тыльной стороны диска).

На рис. 1 приведены результаты эксперимента по регистрации выхода детонационной волны на свободную поверхность ВВ.



Рис. 1. Вид экспериментальной сборки

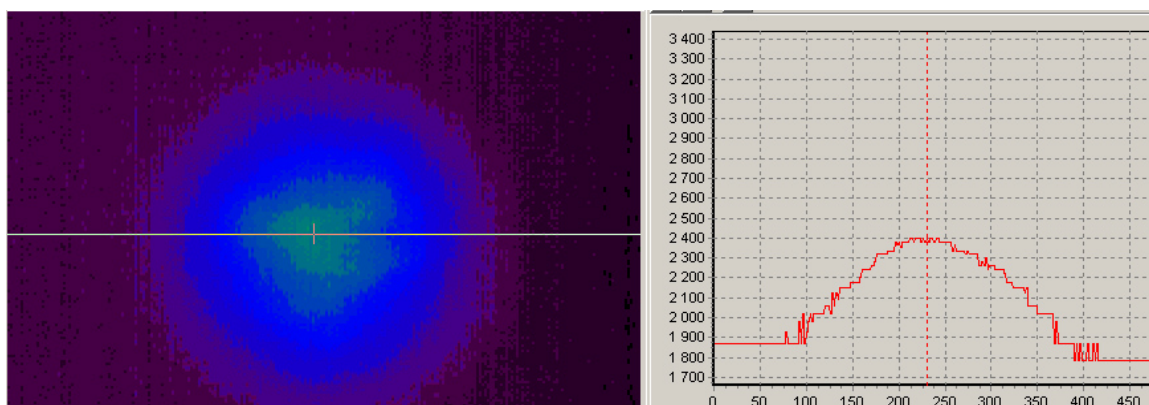


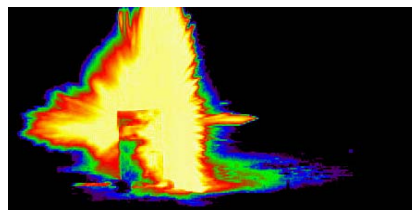
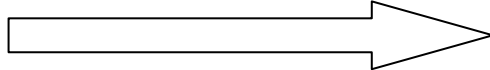
Рис. 2. Термограмма регистрируемого процесса и профиль температуры вдоль горизонтальной секущей $T_{\max} = 2400 \pm 50^\circ\text{C}$.

Проводилась оценка распределения температур в поле продуктов взрыва при срабатывании снарядоформирующего заряда (СФЗ), в области полета поражающего элемента и в зоне «поднятия» защиты с энергетическими материалами. При проведении экспериментов по поражению перспективной защиты регистрация проводилась термовизором.

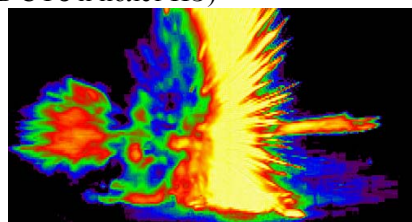
На рис. 3 приведены изображения, зарегистрированные термовизором со скоростью 2000 кадров в секунду, в режиме термовизора (слева) и обработанные с целью получения температурных оценок (справа). Время указано от момента подрыва.

Исходные кадры

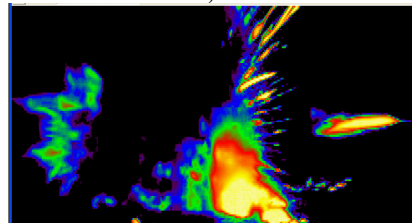
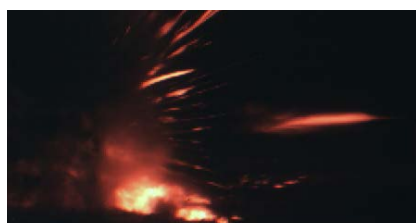
Термоизображения, полученные
после обработки исходных кадров
направление выстрела



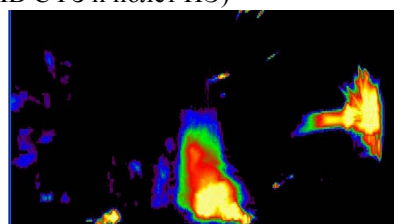
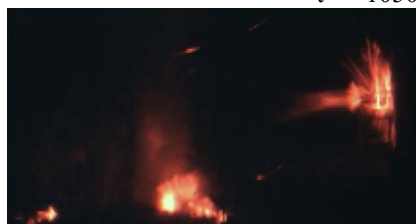
$t \approx 50\text{мкс}$ (разлет ПВ СФЗ и полет ПЭ)



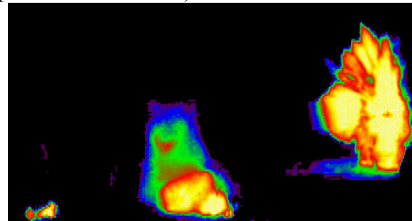
$t \approx 550\text{мкс}$ (разлет ПВ СФЗ и полет ПЭ)



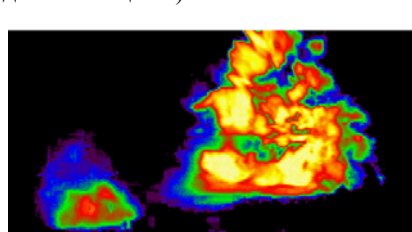
$t \approx 1050\text{мкс}$ (разлет ПВ СФЗ и полет ПЭ)



$t \approx 1550\text{мкс}$ (соударение с защитой)



$t \approx 2050\text{мкс}$ («взведение» защиты)



$t \approx 3050\text{мкс}$ (разлет ПВ элементов защиты)

Рис. 3. Кадры скоростной видеосъемки и их термоизображения.

На термоизображении следующие цвета соответствуют температурному диапазону:

желто-белый	2200 ÷ 2400 °С;	синий	1500 ÷ 1750 °С;
красный	1800 ÷ 2250 °С;	фиолетовый	1300 ÷ 1550 °С;
зелёный	1700 ÷ 1850 °С;	чёрный	ниже 1350 °С.

При этом, следует отметить, что в области поражающего элемента мы оцениваем температуру не самого ПЭ, а головной воздушной ударной волны, возникающей при сверхзвуковом движении тела в воздухе. При скоростях ПЭ порядка 3 км/с температура воздушной головной ударной волны, экранирующей поражающий элемент, может достигать 3000 °К [5].

Использование термовизора делает возможным наблюдение за изменением температуры в интересующих точках пространства на протяжении длительного времени либо отслеживание перемещения наиболее нагретой зоны. Пример отслеживания изменения температуры в зоне поражения брони для трёх проведённых экспериментов приведён на рис. 4.

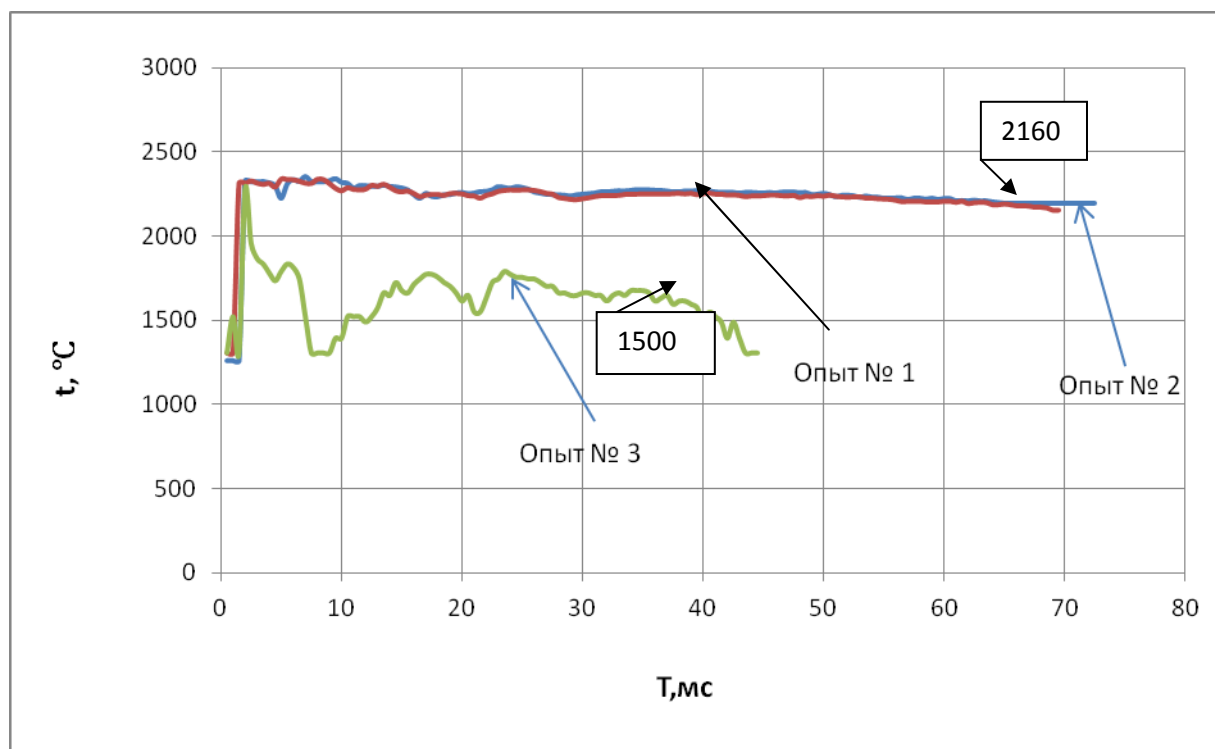


Рис. 4. Зависимости температуры от времени в «облаке» ПВ в зоне поражения брони для всех трех опытов.

Две практически совпадающие зависимости с более высокой яркостной температурой соответствуют экспериментам, в которых перед контрольной броней устанавливались элементы защиты с энергетическими материалами – в силу этого и температура в зоне поражения с $\sim 2350^\circ\text{C}$ падает до $\sim 2160^\circ\text{C}$, ($\sim 6\%$), за интервал времени ~ 70 мс. В этих экспериментах контрольная броня не была пробита, поэтому она сдерживала разлет ПВ при детонации энергетических материалов. В третьем эксперименте энергетические материалы отсутствовали, а контрольная броня была пробита, поэтому падение температуры в этом случае было более скоротечным: с $\sim 2350^\circ\text{C}$ до $\sim 1500^\circ\text{C}$, ($\sim 30\%$), за интервал времени ~ 40 мс. Провалы в зависимости температуры в этом эксперименте объясняются тем, что облако ПВ здесь было более холодным и постоянно видоизменялось, в то время, как температура отслеживалась в фиксированной точке пространства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продемонстрирована возможность использования высокоскоростной видеокамеры «VS Fast» в режиме термовизора в различных газодинамических исследованиях. Приведены конкретные примеры по регистрации температурных полей в экспериментах по отработке СФЗ и выходу детонационной волны на свободную поверхность ВВ.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВВ – взрывчатое вещество
ПЭ – поражающий элемент,
ПВ – продукты взрыва
СФЗ - снарядоформирующийся заряд

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борзиловский С.А., Караханов С.М.** / Измерение температуры полиметилметакрилата при ударном сжатии [Текст] // Вестник НГУ. Серия Физика. – 2011. – Т. 6, вып. 1. – С.116-122.
2. **Жерноклетов М.В. и др** / Методы исследования материалов при интенсивных динамических нагрузках.//ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, - 2003 - С294.
3. **Попов Е.Г., Цикулин М.А.** / Спектральная яркость ударных волн в воздухе // ЖЭТФ – 1969.- Т. 56, вып. 2, С 522.
4. **Астров Ю.А., Егоров В.В., Касымов Ш.С. и др** / Новое фотографическое устройство для исследования характеристик лазерного ИК-излучения.// Квантовая электроника – 1978.- Т.4, С.8.
5. **Черный Г.Г.** / Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью//. Государственное издательство физико-математической литературы, Москва – 1959. С. 18 – 29

Yu.B. Bazarov, V.A. Tsyganov

FSUE RFNC – VNIIEF, RUSSIA

607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira Ave, 37 E-mail: superspot2011@rambler.ru

THE TEMPERATURE MEASUREMENTS POSSIBILITY BY THE THERMAL IMAGER "VS-FAST" IN GASDYNAMIC EXPERIMENTS

The temperature measurements results of the detonation wave at the free surface exiting, in a explosion products cloud of a projectile are described. The temperature in the front of the bow shock of a flying striking element, temperatures in the region of its interaction with the armor is estimated.