УДК 623.454

А. Е. Курепин, С. Н. Мансуров, И. В. Воротынцева,
А. А. Краснов, Г. Ш. Исаев, А. Я. Чернов

Определение характеристик низкоскоростных (до 300 м/с) осколочных полей поражения

Стандартный метод определения характеристик осколочных полей поражения, основанный на оптической регистрации процесса пробития щитов мишенной обстановки, не предназначен для низкоскоростных полей поражения (до 300 м/с). В то же время существуют боеприпасы, поля поражения которых представляют собой поток осколков, двигающихся с низкими скоростями. Проанализированы методы регистрации характеристик низкоскоростных (до 300 м/с) осколочных полей поражения. Рассмотрены недостатки и преимущества каждого метода.

Ключевые слова: боевая часть, низкоскоростной поток осколков, поле поражения, методы испытаний.

Для определения характеристик осколочных полей поражения (ПП), имеющих скорость разлета выше 300 м/с, применяется оптический метод измерения скорости, при котором момент соударения поражающих элементов (ПЭ) со щитом мишенной обстановки (МО) определяется по характерным световым вспышкам, возникающим при его пробитии. Скорость ПЭ и функция распределения их количества по экваториальному и меридиональному углам разлета определяются по моменту возникновения и расположению пробоин в щитах, выполненных из стальных листов толщиной 2–3 мм. Для регистрации характеристик низкоскоростных (до 300 м/с) осколочных ПП, максимальная скорость движения которых ниже скорости звука, оптическим методом приходится применять более тонкие листы из материалов меньшей прочности, которые обладают низкой стойкостью к действию воздушной ударной волны (ВУВ), приходящей на щит раньше, чем поток ПЭ. Сохранность такой МО до момента прихода на щит всего потока ПЭ от разрушающего действия ВУВ обеспечивается большим количеством силовых рам и опор. Из-за этого скоростные характеристики значительного (до 20–30 %) количества ПЭ, попадающих в эти элементы крепления, при обработке кинорегиограмм процесса пробития щита определить не удается. Уменьшение количества силовых элементов приводит к росту разрушений щитов МО под действием ВУВ еще до прихода потока ПЭ на щит.

Пример процесса разрушения щита МО показан на рис. 1. Свечение, возникающее в местах разрушения щита (отрыва листов от элементов крепления), вызвано наличием за щитом импульсных пиротехнических источников, обеспечивающих подсветку процесса пробития щита осколочными ПЭ, скорость движения которых недостаточна для создания яркой вспышки в момент пробития щита. Изображения (см. рис. 1) получены при использовании в испытаниях щитов МО, имеющих разную прочность к воздействию ВУВ.

а

б

Рис. 1. Кадры высокоскоростной видеорегистрации характеристик низкоскоростных ПП, полученные при использовании щитов меньшей (а) и большей (б) прочности:

1 – места отрыва листов щита от вертикальных стоек МО; 2 – лист щита МО; 3 – места пробития щита лидирующими в потоке ПЭ; 4 – засветка кадра излучением импульсного пиротехнического источника света

© Курепин А. Е., Мансуров С. Н., Воротынцева И. В., Краснов А. А., Исаев Г. Ш., Чернов А. Я., 2016

Повышение прочности щита за счет увеличения количества элементов крепления снижает процент регистрируемых ПЭ. Повышение прочности щита, например, за счет применения листов большей толщины, ограничивает возможность регистрации характеристик части ПЭ, имеющих минимальную, порядка 20–30 м/с, скорость в потоке. Качество регистрограмм при этом улучшается (см. рис. 1, б). Регистрация распределения количества ПЭ по меридиональному углу разлета этим методом дает удовлетворительные результаты, если конструкция щита позволяет учитывать ПЭ, попадающие в элементы крепления. Точность регистрации средней скорости движения ПЭ таким методом определяется точностью измерения расстояния от боевой части (БЧ) до щита и частотой высокоскоростной съемки. Так, при дальности от БЧ до щита 5 м, точности измерения расстояния 0,01 м и частоте регистрации 2000 кадр/с величина ошибки измерения составит для ПЭ, имеющих скорость ~300 м/с, около 3,7 %, а для ПЭ со скоростью 30 м/с – около 0,6 %. Повышение частоты регистрации уменьшит ошибку измерения скорости, минимальное значение которой (~0,2 %) будет определяться точностью измерения расстояния.

В случае регистрации характеристик низкоскоростного осколочного ПП, создаваемого БЧ с однослойной осколочной оболочкой, хорошо зарекомендовал себя метод рентгеноимпульсной регистрации процесса разлета ПЭ [1, 2]. Испытания таким методом БЧ с многослойной (по радиусу) осколочной оболочкой усложняет процесс обработки результатов испытаний, поскольку наличие на рентгенограмме ПЭ, входивших в разные ряды многослойной оболочки, может привести к ошибке в определении их принадлежности к рассматриваемому ряду и внести погрешность в величину определяемой скорости. В этом случае для повышения точности определения зависимости скорости ПЭ от меридионального угла разлета при проведении испытаний целесообразно ограничивать экваториальный угол разлета одним рядом ПЭ путем установки прочных экранов.

Упростить процесс обработки рентгенограмм при некоторой потере информации

о характеристиках ПЭ, входящих в разные слои осколочной оболочки, можно, заменив один многослойный ряд мелких ПЭ на однослойный ряд, выполненный из крупных ПЭ. Это позволит определить среднюю по всем слоям ПЭ скорость их движения.

Пример рентгеновской регистрации характеристик осколочных ПП, образованных при срабатывании БЧ с трехслойной (по радиусу) осколочной оболочкой, в которой один ряд выполнен из крупных ПЭ высотой, равной суммарной толщине трехслойной оболочки, показан на рис. 2, а (номерами 1–12 отмечена последовательность расположения крупных ПЭ в ряду; самый высокоскоростной ПЭ,

а

б

Рис. 2. Регистрация рентгеноимпульсным методом процесса метания взрывом осколочных оболочек БЧ, содержащих три (а) и один (б) слой ПЭ: 1 – ПЭ; 2, 3 – реперы; 4 – преграда, закрывающая кассету с рентгенопленкой от удара ПЭ; стрелкой обозначено направление по нормали от оси БЧ

имеющий номер 4, находится вне зоны регистрации).

Рентгенограмма процесса разлета части однослойной осколочной оболочки, содержащей несколько рядов, приведена на рис. 2, б. Этот пример наглядно демонстрирует сложность определения, к какому ряду ПЭ принадлежит рассматриваемое изображение.

Для регистрации распределения количества ПЭ по меридиональному углу разлета при использовании рентгеновского метода целесообразно устанавливать дополнительный щит, места прихода ПЭ на который фиксируются пробитыми в нем отверстиями.

Точность измерения скорости ПЭ при использовании рентгеноимпульсного метода регистрации определяется точностью методики, зависящей от размеров источника рентгеновского излучения и от ошибок определения положения реперных меток, масштаба изображения и времени выдачи импульса рентгеновского излучения. Относительная погрешность измерения скорости ПЭ этим методом, оцененная при проведении испытаний БЧ с высокоскоростным осколочным ПП [2], может составлять 3...7 %.

Приведенные примеры служат подтверждением тому, что и этот рентгеноимпульсный метод не позволяет решить все возникающие проблемы. В частности, его применение для определения характеристик низкоскоростных осколочных ПП, образованных БЧ с многослойными (по радиусу) осколочными оболочками, не обеспечивает достоверной регистрации скоростных характеристик ПЭ.

В то же время существуют технические решения, позволяющие придать потоку низкоскоростных ПЭ, образованному при подрыве заряда БЧ, дополнительную скорость движения, достаточную для применения оптического метода регистрации с использованием МО, изготовленных из прочных листов стали толщиной 2–3 мм. Один из таких способов – создание дополнительной скорости движения БЧ с помощью ракетного трека. Согласно работе [3], такой способ для определения характеристик низкоскоростных полей поражения с активными ПЭ был применен при отработке БЧ противоракеты В-1000.

При использовании способа искусственного увеличения скорости ПЭ в расчетные зависимости, применяемые для определения характеристик движения ПЭ, вводится дополнительная величина – скорость движения по треку содержащего БЧ экспериментального устройства (ЭУ) в момент подрыва заряда БЧ. Ошибка определения скорости ЭУ также вносит свой вклад в ошибку измерения скорости ПЭ.

Предположим, что испытываемая БЧ закреплена осесимметрично с ЭУ. Тогда, зная скорость ЭУ, по расстоянию R от точки пересечения оси БЧ со щитом до места попадания ПЭ в щит, определенной с учетом размеров осколочной оболочки, можно определить радиальную составляющую V_R скорости его движения:

$$V_R = \frac{R}{t_0} = \frac{R}{L} V_P. \quad (1)$$

В случае если дополнительно производится оптическая регистрация процесса пробития щита потоком ПЭ, по разности величин времени t_i появления пробоины и расчетного времени $t_0 = L / V_P$ (L – расстояние от места подрыва БЧ до щита, V_P – скорость движения экспериментального устройства (центра масс БЧ) в момент подрыва) движения центра масс БЧ до щита можно определить и осевую составляющую скорости V_X :

$$V_X = V_P \frac{(t_0 - t_i)}{t_0}. \quad (2)$$

Используя значения составляющих скорости (1) и (2), производим расчет меридионального угла движения ПЭ:

$$\varphi_i = \frac{\pi}{2} - \arctg \left(\frac{V_X}{V_R} \right). \quad (3)$$

Когда $V_X > 0$, меридиональный угол $\varphi_i < \pi/2$, это означает, что ПЭ движется в направлении передней полусферы, и, наоборот, при $V_X < 0$ угол $\varphi_i > \pi/2$ (φ_i отсчитывается от направления вектора скорости движения ЭУ). Ошибки измерения радиальной скорости зависят от точности измерения величин R , L и скорости ЭУ в момент подрыва. При ско-

рости ЭУ ~ 500 м/с, расстояниях $L = 10$ м и $R = 1$ м, точности их определения 0,05 и 0,02 м соответственно, точности измерения скорости ЭУ, равной 2 %, относительная ошибка определения величины V_R составит $\sim 4,5$ %.

Точность регистрации осевой составляющей скорости V_x ПЭ зависит от удаления точки подрыва от щита, точности регистрации скорости ЭУ, частоты съемки и абсолютного значения V_x . Так, при частоте съемки 2000 кадр/с время между кадрами будет составлять $\delta t = 5 \cdot 10^{-4}$ с. При скорости ЭУ 500 м/с и расстоянии $L = 10$ м время t_0 движения ЭУ от точки подрыва до щита составит 0,02 с. Попавший на следующий кадр ПЭ пройдет это расстояние за 0,0205 с со скоростью 487,8 м/с. В результате все ПЭ, значение осевой составляющей скорости которых отличается менее чем на 12,2 м/с, появятся на кадре регистрограммы одновременно. Значит, абсолютная величина ошибки измерения V_x в этом примере составит 12,2 м/с, и для ПЭ, имеющих радиальную скорость вблизи верхней границы измеряемого диапазона – 300 м/с, относительная ошибка определения величины меридионального угла φ_i составит $\sim 2,5^\circ$, а для ПЭ, имеющих скорость на порядок меньше, величина ошибки увеличится примерно до 20° .

Учет торможения ПЭ на траектории можно выполнить, зная величину баллистического коэффициента α ПЭ. При $\alpha R \ll 1$ и $\alpha X \ll 1$,

а

б

Рис. 3. Кадры высокоскоростной видеосъемки процесса срабатывания БЧ:

а – начальный момент подрыва разрывного заряда БЧ;
б – момент подхода к щиту неразрушенной части двигателя и лидирующей части потока ПЭ

используя разложение показательной функции по малому параметру, величины средних скоростей ПЭ можно выразить как

$$V_{R, \text{cp}} = V_R \left(1 - \frac{\alpha R}{2} \right), \quad V_{x, \text{cp}} = V_x \left(1 - \frac{\alpha X}{2} \right).$$

Кадры, полученные в результате высокоскоростной съемки процесса испытаний, приведены на рис. 3 и 4. Начальный момент подрыва разрывного заряда БЧ (небольшая вспышка в головной части ЭУ, расположенного в левой части кадра) показан на рис. 3, а. В правой части кадра хорошо виден щит МО, центральная часть которого закрыта листом фанеры для обеспечения прохода через щит двигателя ЭУ. Кадр на рис. 3, б демонстрирует момент подхода к щиту неразрушенной части двигателя и лидирующей части потока ПЭ.

На рис. 4 приведены два кадра высокоскоростной съемки процесса пробития МО головной частью обтекателя (большое яркое пятно в левой части изображения) и осколоч-

а

б

Рис. 4. Кадры высокоскоростной видеосъемки процесса пробития щита МО, полученные в момент удара по щиту головной части обтекателя ЭУ (а) и осколочного потока (б)

а

б

Рис. 5. Вид мишенной обстановки до (а) и после (б) испытаний:

- 1 – экран; 2 – нож, обеспечивающий разрыв шунта и подачу сигнала на подрыв БЧ; 3 – центральная часть щита, выделенная для пролета остатков ЭУ;
- 4 – песчаная ловушка для торможения остатков ЭУ;
- 5 – стальной щит для регистрации характеристик потока ПЭ; 6 – отверстия в щите от осколков корпуса БЧ и ЭУ; 7 – отверстия в щите, образованные ПЭ

ным потоком (центральная часть изображения), выполненной с тыльной стороны щита.

На рис. 5 показан вид мишенной обстановки до и после проведения эксперимента.

Крупные отверстия в щите, обозначенные на рис. 5, б позицией 6, образованы ударом осколков корпуса БЧ и конструктивных элементов, которые обеспечивали крепление БЧ в составе ЭУ. Наличие таких отверстий снижает количество регистрируемых ПЭ. Наряду с ограничениями по возможности регистрации характеристик ПЭ, радиальная скорость разлета которых не обеспечивает им выход из

зоны разрушения центральной части щита, образуемого при пролете ЭУ, это также является недостатком такого варианта реализации методики измерения характеристик низкоскоростных осколочных ПП.

Конечный участок трека может быть оснащен тормозным устройством, что позволит остановить остатки ЭУ до момента его соударения со щитом. Это позволит избежать больших разрушений в центральной части щита и определить места попадания в эту часть щита ПЭ, имеющих самые низкие радиальные скорости движения. Кроме того, это позволит избежать засветки изображения на кадрах высокоскоростной видеосъемки, возникающей от продуктов горения топлива двигателя.

Краткий анализ существующих методов регистрации характеристик низкоскоростных (до 300 м/с) осколочных ПП показал, что все рассмотренные методы имеют недостатки, в разной степени создающие сложности в проведении испытаний и обработке их результатов. Наиболее информативным методом следует считать применение дополнительного разгона испытываемой БЧ с помощью ракетного трека с регистрацией характеристик ПП в мишенной обстановке оптическим методом.

Список литературы

1. Средства поражения и боеприпасы / под общ. ред. В. В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 984 с.
2. Демидов А. А., Гладцинов А. В., Ковтун А. Д. Измерение кинетических характеристик осколочного поля методом импульсной рентгенографии / Сб. мат. III науч. конф. Волжского регионального центра РАН «Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения». В 2 т. Т. 2. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2004. С. 800–804.
3. Козорезов К. И. Особенности неядерного перехвата // Воздушно-космическая оборона. URL: <http://www.vko.ru/biblioteka/osobennosti-neyadernogo-perehvata> (дата обращения 14.12.2016).

Поступила 23.11.16

Курепин Александр Евгеньевич – доктор технических наук, начальник центра теоретической и экспериментальной физики, АО «ГосНИИМаш», г. Дзержинск.

Область научных интересов: разработка средств поражения и боеприпасов.

Мансуров Сергей Николаевич – заместитель директора по НИР-начальник отделения ФКП «ГК НИПАС», пос. Белоозёрский Воскресенского района Московской области.

Область научных интересов: прочность конструкций летательных аппаратов.

Воротынцева Ирина Викторовна – кандидат технических наук, начальник лаборатории прочности конструкций, ФКП «ГК НИПАС», пос. Белоозёрский Воскресенского района Московской области.

Область научных интересов: прочность конструкций летательных аппаратов.

Краснов Андрей Александрович – ведущий инженер, АО «ОКБ «Новатор», г. Екатеринбург.

Область научных интересов: эффективность боевого снаряжения управляемых ракет.

Исаев Гамлет Шафидинович – ведущий инженер КБ-210 АО «ГосНИИМаш», г. Дзержинск.

Область научных интересов: разработка боевого снаряжения летательных аппаратов.

Чернов Александр Яковлевич – ведущий конструктор АО «НИИЭП», г. Новосибирск.

Область научных интересов: разработка электронных приборов боевого снаряжения управляемых ракет.

Measurement of low-velocity (up to 300 m/s) fragmentation target fields

The standard method for measuring fragmentation fields, based on optical detection of the process of penetrating target layout shields, is not intended for low-velocity target fields (up to 300 m/s). At the same time, there is ammunition, whose target fields are a stream of fragments moving at low velocity. The study tested the methods for recording the characteristics of low-velocity (up to 300 m/s) fragmentation target fields and described the advantages and disadvantages of each method.

Keywords: warhead, low-velocity fragmentation stream, target field, test methods.

Kurepin Aleksandr Evgenevich – Doctor of Engineering Sciences, Head of the Center Theoretical and experimental physics, Joint-stock Company “V. V. Bakhirev State Research Institute of Mechanical Engineering” (GosNIIMash JSC), Dzerzhinsk.

Science research interests: development of weapons and ammunition.

Mansurov Sergey Nikolaevich – Deputy Director for Research and Development, Head of the Department, Federal State Enterprise “State Treasury Aviation System Research and Test Site”, Beloozersky, Voskresensky District, Moscow Region.

Science research interests: aircraft structural reliability.

Vorotyntseva Irina Viktorovna – Candidate of Engineering Sciences, Head of the Structural Reliability Laboratory, Federal State Enterprise “State Treasury Aviation System Research and Test Site”, Beloozersky, Voskresensky District, Moscow Region.

Science research interests: aircraft structural reliability.

Krasnov Andrey Alexandrovich – Leading Engineer, Joint-stock Company “L. V. Lyulyev Experimental Design Bureau “Novator”, Ekaterinburg.

Science research interests: effectiveness of guided missiles combat equipment.

Isaev Gamlet Shafidinovich – Leading Engineer, Joint-stock Company “V. V. Bakhirev State Research Institute of Mechanical Engineering” (GosNIIMash JSC), Dzerzhinsk.

Science research interests: development of aircraft combat equipment.

Chernov Alexander Yakovlevich – Leading Designer, Joint-stock Company “Scientific Research Institute of Electronic Instrument”, Novosibirsk.

Science research interests: development of electronic instruments of guided missiles combat equipment.