

---

УДК 623.56

## **Методика автоматизации процесса испытаний авиационных боеприпасов**

**Шутов П.В.\*, Ефанов В.В.\*\***

*Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина,  
ул. Старых большевиков, 54а, Воронеж, 394064, Россия*

*\*e-mail: petr81-26@mail.ru*

*\*\*e-mail: efanov55@mail.ru*

### **Аннотация**

В работе рассматривается современное состояние вопроса по методическому обеспечению испытаний осколочных боеприпасов, проводится анализ существующих теоретических и экспериментальных методик получения данных о параметрах осколочных полей. Для устранения выявленных недостатков предлагается методика определения параметров осколочных полей дистанционных боеприпасов, которая может быть реализована при условии наличия испытательного комплекса. Основным преимуществом испытательного комплекса является использование бесконтактных датчиков состоящих из набора секторов выполненных в виде перпендикулярно размещенных линеек фотоприемников и излучателей.

Моделирование процесса разлета осколков позволяет произвести проверку работоспособности системы автоматизированного сбора и обработки данных о параметрах осколочного поля, а также рассчитать влияние получаемых исходных

данных на изменение координатного закона поражения цели при заданных условиях.

**Ключевые слова:** испытания, осколочное поле, боеприпас, методика определения параметров.

### **Современное состояние вопроса**

Авиационные средства поражения в той или иной мере обладают осколочным поражающим действием, которое иногда называют осколочностью боеприпасов. Знание осколочности боеприпасов необходимо для оценки эффективности поражающего действия по типовым целям и определения безопасных условий их боевого применения.

В настоящее время для определения параметров осколочных полей используются теоретические и экспериментальные методики. Теоретические методики позволяют расчетным путем определить основные параметры осколочного поля боеприпаса, такие как общее число осколков, закон распределения осколков по массе, начальную скорость осколков, закон разлета осколков по направлениям. Однако, при проведении расчетов используется идеализированная схема дробления оболочки, которая не позволяет учитывать ее структурные дефекты и неоднородности, что обуславливает ее применение только для получения общих количественных закономерностей на начальных этапах разработки новых боеприпасов.

К экспериментальным можно отнести такие методики определения параметров поражающих элементов боеприпаса как подрыв его в щитовой

мишенной обстановке, подрыв в бронеканере (яме) [1], а также применение рентгеноимпульсной съемки процесса подрыва [2].

Методика определения параметров поражающих элементов боеприпаса путем подрыва его в бронеканере (яме) предназначена для определения закона распределения осколков по массе и заключается в установке боевых частей (БЧ) или их макетов в специальных ямах или бронеканерах, заполненных ловителями осколков, с последующим их подрывом. Собранные после подрыва БЧ осколки взвешиваются и сортируются по интервалам масс на всей непрерывной шкале от минимального значения до максимального. Недостатками данной методики являются получение искаженных данных из-за долома (вторичного дробления) осколков при ударе о тормозящую среду, а также высокие трудозатраты при обработке данных.

Методика определения параметров поражающих элементов боеприпаса путем подрыва его в щитовой мишенной обстановке предназначена для определения распределения осколков и их скоростей по меридиональному углу разлета. Щитовая (мишенная) обстановка выполняется в виде полуцилиндрической вертикальной стенки, обшитой металлическим (дюралевым или стальным) листом. Боеприпас устанавливается в центре полуцилиндра в горизонтальном положении. На внутренней стенке полуцилиндра нанесены контуры проекции части сферы, ограниченной двумя меридиональными сечениями с углом  $\Delta O$  между ними, а также линии границ угловых секторов. Испытуемый боеприпас или стандартный осколочный цилиндр устанавливается на высоте средней линии. В результате опыта

определяется число счетных осколков, попавших в каждый угловой сектор «линзы» АВ и общее число счетных осколков, попавших в площадь «линзы». Отбор счетных осколков, например, с массой, большей 0,5 г на щите проводится по площади отверстий. Недостатки: большие временные затраты; погрешность в определении масс и скоростей осколков.

Рентгеноимпульсная съемка может проводиться на всех стадиях процесса подрыва. Защита от осколков рентгеновских трубок и кассет с пленкой осуществляется с помощью толстых (10...15 мм) дюралюминиевых листов, что ухудшает качество регистрации. Недостатки: ограниченное число кадров (до 4); ограничены размеры снимков; затруднено испытание боеприпасов больших калибров.

Таким образом, проведенный анализ показывает необходимость в повышении достоверности получаемых исходных данных по осколочности, увеличении информативности существующих методов испытаний боеприпасов и автоматизации процесса сбора и обработки получаемых исходных данных.

### **Предлагаемая методика испытаний**

Для устранения указанных недостатков, предлагается методика испытания осколочных боеприпасов [3, 4], заключающаяся в:

– установке боеприпаса в центре щитовой мишенной обстановки, выполненной в виде двух неконтактных датчиков полуцилиндрической формы, которые размещены относительно друг друга на заданном расстоянии и состоят из N – секторов, выполненных в виде перпендикулярно размещенных матриц

фотоприемников и излучателей, причем каждому фотоприемнику соответствует свой излучатель с минимальной расходимостью светового потока (например пара фотодиод ФД-265А – лазерный диод LD-63058TL);

– размещении боеприпаса в горизонтальном положении на стойке с высотой, равной половине высоты стенки;

– фиксации пространственных положений сработавших чувствительных элементов матриц фотоприемников в трех плоскостях в момент пролета осколков боеприпасов (рис. 1);

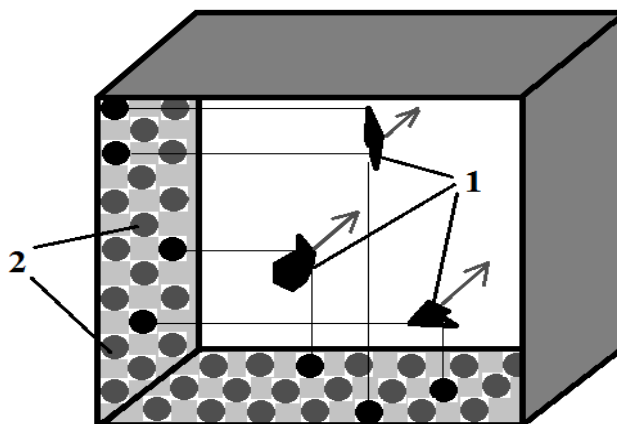


Рис. 1. Сектор бесконтактного датчика: 1 – поражающие элементы; 2 – фотоприемники

– определении координат движения осколков снаряда на основе информации о пространственных положениях сработавших чувствительных элементов матриц фотоприемников;

– определении скорости движения осколков снаряда в виде выражения

$$V_{ni} = \frac{d_{ni}}{\Delta t_i}, \quad (1)$$

где  $d_{ni}$  – расстояние между осколками относительно первого и второго датчиков

$$d_{ni} = \sqrt{(x_{2i} - x_{1i})^2 + (y_{2i} - y_{1i})^2 + (z_{2i} - z_{1i})^2}; \quad (2)$$

$\Delta t_i$  – время движения осколков снаряда относительно третьего и четвертого датчиков;  $x_{2i}, x_{1i}, y_{2i}, y_{1i}, z_{2i}, z_{1i}$  – координаты осколков относительно третьего и четвертого датчиков в трех плоскостях;

– фиксации количества одновременно сработавших чувствительных элементов матриц фотоприемников в трех плоскостях;

– определении геометрических размеров осколков боеприпаса в виде выражений

$$l_{xi} = n_{xi} \cdot a, \quad l_{yi} = n_{yi} \cdot b, \quad l_{zi} = n_{zi} \cdot c, \quad (3)$$

где  $n_{xi}, n_{yi}, n_{zi}$  – количество одновременно сработавших элементов в трех плоскостях;  $a, b, c$  – линейные размеры чувствительных элементов матриц фотоприемников в трех плоскостях;

– определении массы осколков в виде выражения

$$m_i = \rho \cdot (l_{xi} \cdot l_{yi} \cdot l_{zi}), \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность материала корпуса боеприпаса;

– фиксации изменения координат движения осколков относительно первого и второго датчиков и на основе полученных данных определении координат  $X_i, Y_i, Z_i$  векторов движения осколков боеприпаса в виде выражения

$$X_i = x_{1i} - x_{2i}, Y_i = y_{1i} - y_{2i}, Z_i = z_{1i} - z_{2i}; \quad (5)$$

– определении углов подхода осколков к мишени в виде выражений

$$\cos \alpha_i = \frac{x_i}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}}, \cos \beta_i = \frac{y_i}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}}; \quad (6)$$

– осуществлении записи полученных данных в блок памяти, и передачи их по линии неконтактной связи на микроЭВМ.

### Структура и функционирование испытательного комплекса

Реализация предлагаемой методики возможна при условии наличия испытательного комплекса состоящего из пульта управления подрывом (ПУ), двух разнесенных в пространстве неконтактных датчиков, n - блоков измерений, аналого-цифрового преобразователя (АЦП), блока памяти, передающего и приемного устройств, микроЭВМ (рис. 2).

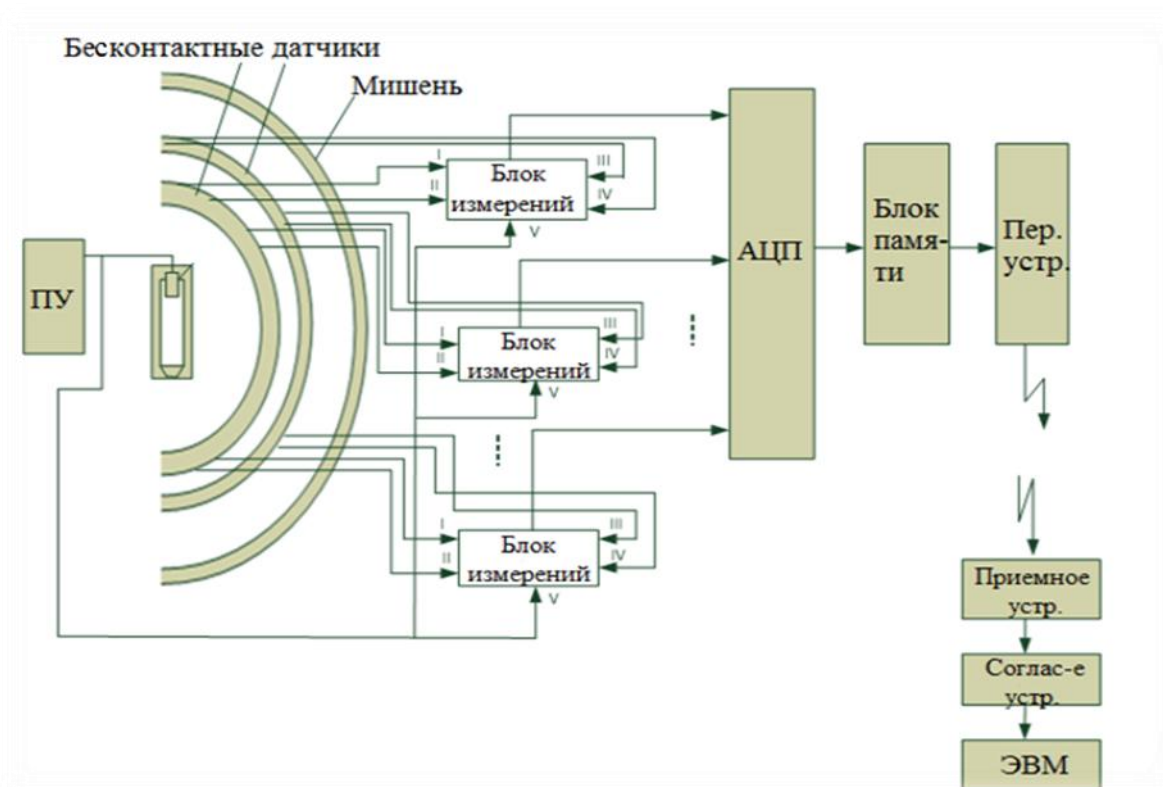


Рис. 2. Структурная схема испытательного комплекса

При подрыве боеприпаса поток осколков движется в направлении датчиков, где фиксируются координаты пролета осколков, которые поступают с каждого сектора датчика в соответствующий ему блок измерений. Блоки измерений определяют распределение осколков по скорости, углам разлета и массе, а также количество эшелонов осколков, углы их подхода к преграде. Далее сигналы с выхода n-блоков измерений поступают на входы АЦП, преобразовываются в цифровой вид, запоминаются в блоке памяти, передаются с выхода блока памяти через приемное устройство, согласующее устройство на микроЭВМ, в которой по полученным исходным данным производится оценка эффективности поражающего действия испытуемого боеприпаса.

Конструкция неконтактных датчиков должна обеспечивать защиту матриц фотоприемников и излучателей от разрушения поражающими элементами боеприпасов, тем самым позволить многократное применение предлагаемой структуры испытательного комплекса.

### **Моделирование процесса работы испытательного комплекса**

Проверка функционирования испытательного стенда возможна при помощи метода математического моделирования. Для чего была разработана модель процесса подрыва боеприпаса и определения параметров его осколочного поля неконтактными датчиками (рис. 3).



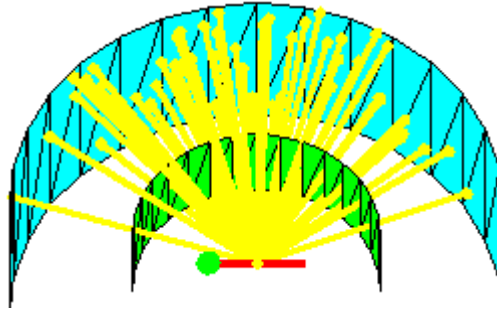


Рис. 3. Моделирование процесса подрыва боеприпаса

Принимая допущение о том, что траекторией осколка является прямая и задаваясь законом распределения осколков по направлениям, определенным по экспериментальным данным в ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, моделируем вектор начальной скорости в связанной системе координат. Каждый сектор неконтактного датчика находится под разным направлением по отношению к оси БЧ. Для решения нашей задачи необходимо рассматривать осколок в системе координат (СК) отдельного сектора датчика. Для перехода от связанной системы координат к системе координат каждого сектора используется матрица перехода:

$$A_c^1 = \begin{vmatrix} \cos \psi \cos \vartheta & -\cos \psi \sin \vartheta & \sin \psi \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta & 0 \\ -\sin \psi \cos \vartheta & \sin \psi \sin \vartheta & \cos \psi \end{vmatrix}. \quad (7)$$

где  $\psi$  и  $\vartheta$  - углы поворота, задающие угловое положение боевой части (осей связанной СК) относительно сектора датчика (осей стартовой СК).

Для определения сработавших чувствительных элементов датчика находим точки пересечения траектории осколка с плоскостью сектора, для чего определяем координаты точки пересечения прямой (траектории осколка) и плоскости заданной тремя точками (вершинами треугольника) решая следующую систему уравнений:

$$\begin{vmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} x + \begin{vmatrix} z_1 & x_1 & 1 \\ z_2 & x_2 & 1 \\ z_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix} y + \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} z + \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix} = 0, \quad (8)$$

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}. \quad (9)$$

Данные о массах и скоростях осколков записываются в виде двумерных матриц

$$N_{ij} = \begin{vmatrix} N_{11} & N_{12} & \dots & N_{1j} \\ N_{21} & N_{22} & \dots & N_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{i1} & N_{i2} & \dots & N_{ij} \end{vmatrix}, \quad V_{ij} = \begin{vmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1j} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{i1} & V_{i2} & \dots & V_{ij} \end{vmatrix} \quad (10)$$

где  $N_{ij}$  – число осколков  $i$ -ой массовой группы в  $j$ -ой угловой зоне;  $V_{ij}$  – скорость  $i$  эшелона осколков в  $j$ -ой угловой зоне.

Разлет осколков по направлениям определяется по формуле:

$$f^*(\varphi_j) = \frac{\Delta N_j}{N_0 \Delta \varphi_j}, \quad j=1,2,\dots,n \quad (11)$$

где  $\Delta N_j$  – количество осколков по направлениям,  $N_0$  – общее количество осколков,  $j$  – угловой сектор разлета осколков.

Оригинальная конструкция датчиков позволяет определять коэффициент формы осколка  $k_\phi$ , баллистическую характеристику  $C_H$  и начальную скорость осколков  $V_0$  по следующим формулам:

$$k_\phi = \frac{\alpha\beta + \alpha + \beta}{2(\alpha\beta)^{2/3}}, \quad (12)$$

где  $\alpha = \frac{a}{c}, \beta = \frac{b}{c}; a, b, c$  геометрические размеры осколка, причем  $a \geq b \geq c$ .

$$C_H = \frac{1}{X_{B1}} \ln \left( \frac{t_{B1}}{t_{B2}} - 1 \right), \quad (13)$$

$$V_0 = \frac{X_{B1}}{t_{B1}} \cdot \frac{\frac{t_{B1}}{t_{B2}} - 2}{\ln \left( \frac{t_{B2}}{t_{B1}} - 1 \right)}, \quad (14)$$

где  $X_{B2} = 2X_{B1}$  – расстояния до датчиков;  $t_{B1}, t_{B2}$  – время пролета датчиков.

### Результаты исследования

Моделирование процесса испытания осколочного боеприпаса показало, что использование предлагаемого испытательного комплекса позволяет не только определять основные параметры осколочных полей и повысить достоверность таких исходных данных как баллистическая характеристика и коэффициент формы осколка, но и определить процесс изменения осколочного поля во времени, называемый эшелонированием осколков.

Влияние точности определения коэффициента формы осколка на вероятность поражения цели пробивным действием можно видеть из графиков представленных на рисунке 4. На данных графиках представлена зависимость вероятности поражения цели от расстояния подрыва боеприпаса, где  $h$  – толщина преграды,  $k_{ф.сп}$  – коэффициент формы осколков полученный экспериментально,  $k_{ф.ум}$  – коэффициент формы осколков вычисленный по предлагаемой методике.

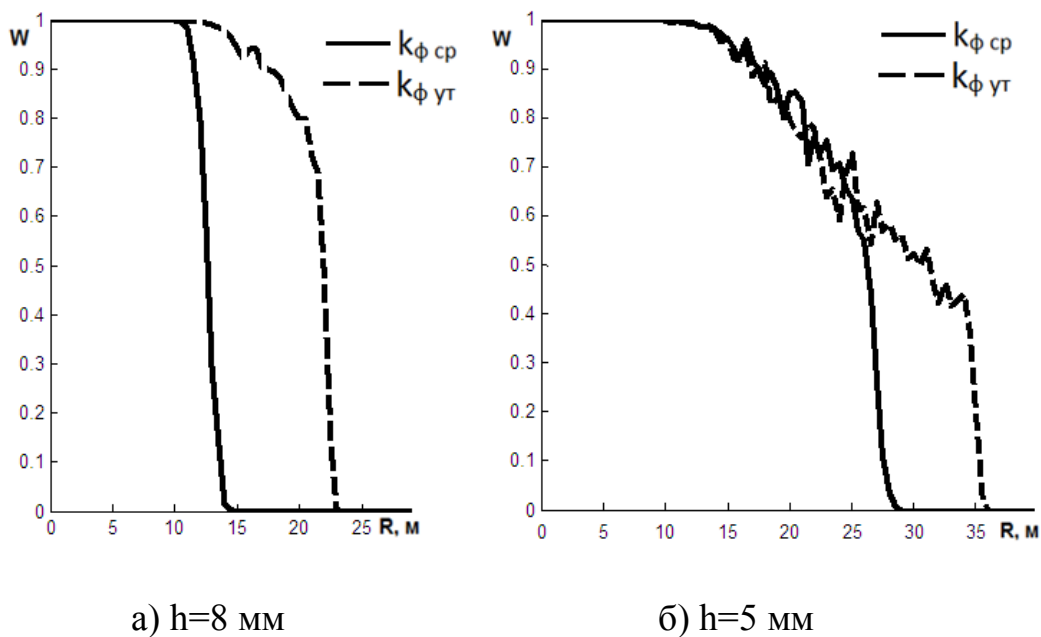


Рис. 4. Повышение точности определения вероятности поражения цели

Повышение точности определения вероятности поражения цели обусловлено тем, что параметр  $k_{ф.ср}$  является усредненной характеристикой большого числа поражающих элементов (ПЭ), входящих в одну массовую группу. Такой подход, в конечном счете, закладывает некоторую погрешность при оценке поражающего действия осколочных боеприпасов.

Для примера рассмотрим выстрел ВОФ-57, осколочно-фугасного действия с массой взрывчатого вещества 0,6 кг и заданным рациональным дроблением корпуса. Самой многочисленной для данного боеприпаса является массовая группа весом от 1 до 2 грамм имеющая следующие экспериментально определенные характеристики: количество ПЭ – 880 шт, средний мидель ПЭ –  $0,693 \text{ см}^2$ , средняя масса – 1,36 г, баллистическая характеристика ПЭ –  $0,03314 \text{ м}^2/\text{кг}$ , скорость разлета осколков – 1740 м/с. Определяем коэффициент формы по следующей формуле:

$$k_{\phi} = \frac{\bar{S}}{V^{2/3}}, \quad (15)$$

где  $\bar{S}$  и  $V^{2/3}$  - средний мидель и объем осколка,

получим  $k_{\phi,ср}=2,26$  при  $q=1,36$  г.

Как видно из приведенного примера полученная величина  $k_{\phi}$  для осколков организованного дробления довольно большая, учитывая то, что для осколков свободного дробления данная величина изменяется в пределах 1,8...2,2 и при расчетах эффективности поражающего действия боеприпасов обычно принимается равной двум.

Так же измерительно-вычислительная система позволяет получить информацию о движении поля осколков, в любом угловом секторе, на разном удалении  $R$  от точки подрыва. На рисунке 5 представлена гистограмма распределения осколков по группам в разные интервалы времени.

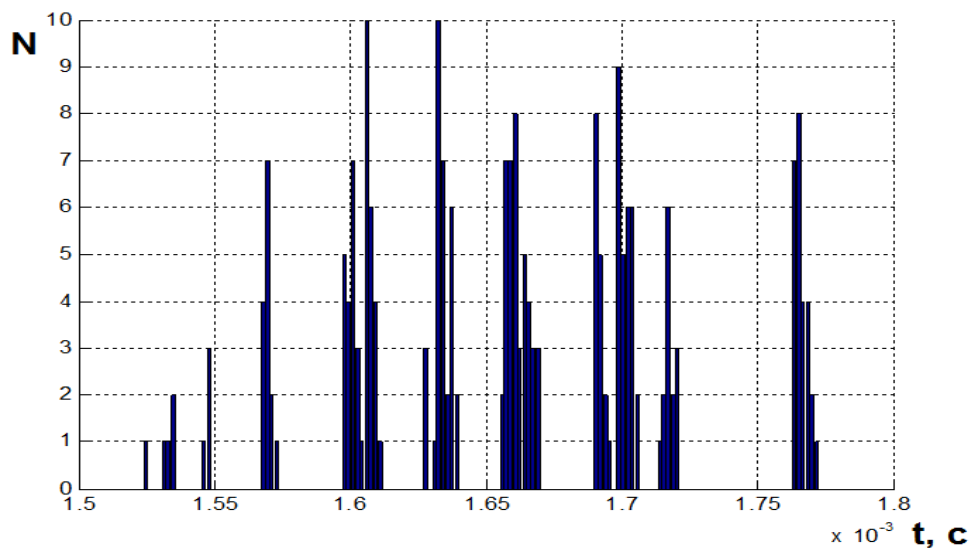


Рис. 5. Процесс эшелонирования осколочного поля на расстоянии 3 м от точки подрыва боеприпаса

## **Вывод**

Таким образом, предлагаемая методика проведения испытаний авиационных средств поражения реализованная в приведенной структуре испытательного комплекса обеспечивает:

- определение таких основных характеристик осколочных полей как распределение осколков по массе, скоростям и направлениям разлета;
- повышение достоверности таких параметров как баллистическая характеристика, коэффициент формы и начальная скорость осколков;
- получение информации о характере эшелонирования потока осколков;
- автоматизацию процесса сбора и обработки данных.

## **Библиографический список**

1. Миропольский Ф.П., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы и их исследование: учебник/ Под ред Ф.П. Миропольского. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1996. – 527с.
2. Орленко Р.П. Физика взрыва: в 2-х томах / Под ред Р.П. Орленко. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2004 – Т. 2: Физика взрыва. 2004. – 644 с.
3. Мужичек С.М., Ефанов В.В., Шутов П.В. Способ определения характеристик осколочного поля снаряда и устройство для его осуществления: патент на изобретение РФ №2482440/ Заявка: 2012104328/11, 07.02.2012. Опубликовано: 20.05.2013. – 10 с.

4. Мужичек С.М., Ефанов В.В., Шутов П.В. Способ испытаний осколочных боеприпасов и стенд для его реализации: патент на изобретение РФ №2482439/  
Заявка: 2012100255/11, 10.01.2012. Опубликовано: 20.05.2013. – 8 с.