

$$a_5 = \frac{1}{21609} (216a_1^4 - 588a_1^2a_2 + 196a_2^2) \sqrt{9a_1^2 - 21a_2} - \frac{72}{2401} a_1^5 + \frac{40}{343} a_1^3 a_2 - \frac{5}{49} a_1 a_2^2,$$

$$a_6 = \frac{1}{453789} (576a_1^5 - 1848a_1^3 a_2 + 1176a_1 a_2^2) \sqrt{9a_1^2 - 21a_2} -$$

$$-\frac{64}{16807} a_1^6 + \frac{40}{2401} a_1^4 a_2 - \frac{20}{1029} a_1^2 a_2^2 + \frac{5}{1323} a_2^3,$$

$$a_7 = \frac{1}{22235661} (1440a_1^6 - 5376a_1^4 a_2 + 4998a_1^2 a_2^2 - 686a_2^3) \sqrt{9a_1^2 - 21a_2} -$$

$$-\frac{160}{823543} a_1^7 + \frac{16}{16807} a_1^5 a_2 - \frac{10}{7203} a_1^3 a_2^2 + \frac{5}{9261} a_1 a_2^3.$$

При этом,

$$z_1 = -\frac{1}{7} a_1 + \frac{1}{21} \sqrt{9a_1^2 - 21a_2}, \quad z_2 = -\frac{1}{7} a_1 - \frac{2}{7} \sqrt{9a_1^2 - 21a_2}.$$

**Заключение.** Таким образом, в виде теорем сформулированы необходимые и достаточные условия разложения алгебраических полиномов шестой и седьмой степеней на два биномиальных множителя. Также представлены точные аналитические формулы для вычисления корней этих множителей.

1. Alekseev, V.B. Abel's Theorem in Problems and Solutions / V.B. Alekseev. – New York: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 285 p.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРЕЛЬБЫ ЗЕНИТНОГО (КРУПНОКАЛИБЕРНОГО СТРЕЛКОВОГО) ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ПРОТИВОДЕЙСТВИИ МАЛОГАБАРИТНЫМ БЛА

**Чигирь И.В.<sup>1</sup>, Курейчик А.Е.<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>преподаватель кафедры автоматики, радиолокации и приемо-передающих устройств УО «ВА РБ», г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>магистрант УО «ВА РБ», г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители – **Солонар А.С.**, канд. техн. наук, доцент;

**Горшков С.А.**, канд. техн. наук, доцент

Одним из путей повышения эффективности стрельбы зенитным артиллерийским (крупнокалиберным стрелковым) вооружением (ЗАКСВ) по малогабаритным целям является применение шрапнельных снарядов [1, 2]. Применение шрапнели обеспечивает увеличение радиуса эффективного действия его боевой части (БЧ). Целью доклада является проведение расчета вероятности поражения малогабаритного БЛА (МБЛА) ЗАКСВ при использовании шрапнельных снарядов.

**Материал и методы.** Рассмотрим ситуацию, когда расчет ЗАКСВ ведет стрельбу по МБЛА, который завис на определенных расстоянии и высоте. Стрельба ведется шрапнельными снарядами, наведение осуществляется в штатном режиме. Программирование замедлителя на подрыв осуществляется автоматически непосредственно перед выстрелом. Будем полагать, что длина, калибр, вес БЧ шрапнели соответствуют основным параметрам штатного снаряда, баллистические свойства сохранены. Погодные условия, человеческий фактор учитываться не будут.

**Результаты и их анализ.** Зенитное орудие при стрельбе наводится не в точку, где находится цель в момент выдачи последнего определения координат, а в некоторую упрежденную точку, что должно обеспечить подрыв шрапнельного снаряда на дистанции ( $r_{\text{подр}}$ ) и поражение цели с заданной вероятностью. Для определения вероятности пора-

жения цели одним шрапнельным снарядом необходимо знать закон ошибок наведения снаряда на цель и условный координатный закон поражения цели.

*Расчет ошибок наведения на цель.* При стрельбе точку разрыва в картинной плоскости стремятся совместить с центром цели, но вследствие ошибок происходит рассеивание. Закон рассеивания нормальный, рассеивание круговое [1]. При этом зная дистанцию подрыва ( $r_{\text{подр}}$ ) и угол разлета ( $\alpha$ ) поражающих элементов (ПЭ) вероятность попадания снаряда в круг заданного радиуса  $R_{\text{разл}} = r_{\text{подр}} \text{tg}(\alpha/2)$  у цели при отсутствии систематических ошибок определяется выражением [2].

$$P(r < R_{\text{разл}}) = 1 - \exp(-r_{\text{подр}}^2 (2\sigma^2)^{-1} \text{tg}^2(\alpha/2)). \quad (1)$$

*Расчет условного координатного закона поражения.* В картинной плоскости цель площадью  $S_{\text{ц}}$  накрывается диском ПЭ, при этом число ПЭ, попадающих в нее, можно считать распределенным по закону Пуассона [1]. Для оценки возможности поражения МБЛА следует условно разбить цель на так называемые уязвимые отсеки (УО). Вероятность попадания ПЭ в  $i$ -ый УО есть функция площади проекции УО на картинную плоскость ( $S_{\text{отс}_i}$ ) Вероятность поражения  $i$ -го УО при попадании в него  $m$  ПЭ определяется вероятностью поражения  $i$ -го УО при попадании в него одного ПЭ  $G_{i1}$ . При количестве УО  $N_{\text{yo}}$  условный координатный закон поражения цели определяется выражением

$$P = 1 - \prod_{i=0}^{N_{\text{yo}}} (1 - P(A_i)) = 1 - \prod_{i=0}^{N_{\text{yo}}} \exp\left(-\frac{N_{\text{пэ}}}{\pi r_{\text{подр}}^2 \text{tg}^2(\alpha/2)} S_{\text{отс}_i} G_{i1}\right). \quad (2)$$

Таким образом, с учетом (1) – (2) вероятность поражения одним шрапнельным снарядом определяется выражением

$$p_1 = \left[ 1 - \exp\left(-\frac{r_{\text{подр}}^2 \text{tg}^2(\alpha/2)}{2\sigma^2}\right) \right] \left( 1 - \prod_{i=1}^{N_{\text{yo}}} \exp\left[-N_{\text{пэ}} S_{\text{отс}_i} G_{i1} (\pi r_{\text{подр}}^2 \text{tg}^2(\alpha/2))\right] \right). \quad (3)$$

Вероятность поражения МБЛА при стрельбе очередью из  $n$  шрапнельных снарядов рассчитывается с использованием выражения

$$p_n = 1 - (1 - p_1)^n. \quad (4)$$

Для расчета вероятности поражения МБЛА ЗАКСВ с использованием шрапнельных снарядов будем полагать, что стрельба осуществляется расчетом ЗУ-23-2 из соответствующей установки, целью является МБЛА самолетного типа «Supercam S100», дальность до цели 1200 м, высота полета составляет 100 м. Стрельба ведется шрапнельными 23 мм снарядами. С учетом заданных значений, на рисунке 1 представлена зависимость вероятности поражения МБЛА от количества выстрелов в очереди при стрельбе шрапнельными снарядами для дистанций подрыва  $r_{\text{подр}_1} = 10$ ,  $r_{\text{подр}_2} = 20$ ,  $r_{\text{подр}_3} = 30$  метров и углов разлета ПЭ  $\alpha_1 = 10$ ,  $\alpha_2 = 20$ ,  $\alpha_3 = 30$  град. Как видно из рисунка 1, применение шрапнельных снарядов позволяет более чем в три раза увеличить вероятность поражения МБЛА в зависимости от дистанции подрыва и угла разлета ПЭ. Так при угле разлета ПЭ 20 град и дистанции подрыва 20 м стрельбы очередью из 5 выстрелов позволяет достичь вероятности поражения более чем 0,9. Значение дистанции подрыва, при котором достигается максимально возможная для выбранных условий (угол разлета ПЭ, количе-

ство и размеры БЧ снаряда) вероятность поражения, определяется типом МБЛА (самолетный, вертолетный и т.п.) и его размерами. При стрельбе очередью из 10 выстрелов применение шрапнельных снарядов позволяет достичь вероятности поражения более 0,7 даже для случая неоптимального соотношения угла разлета ПЭ и дистанции подрыва.

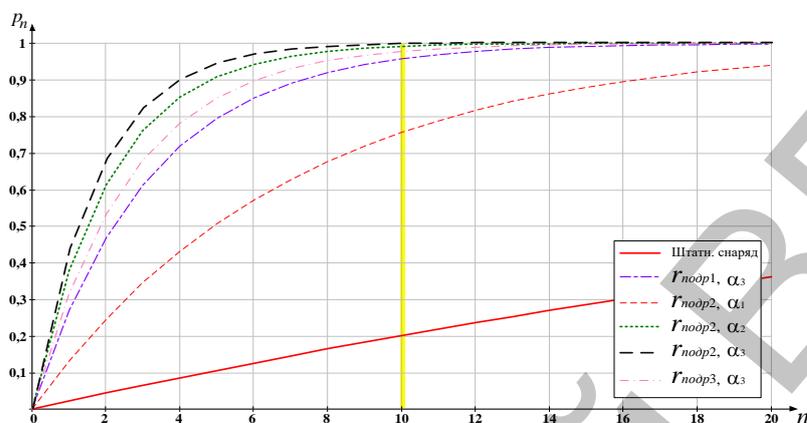


Рисунок 1. – Зависимость вероятности поражения МБЛА от количества выстрелов при стрельбе шрапнельными снарядами

**Заключение.** Основные параметры шрапнельного снаряда определяются применительно для каждого образца вооружения отдельно. Исходным параметром является размер ПЭ, он определяется задаваемой пробивной способностью материалов, из которых изготавливаются современные и перспективные МБЛА. Максимально возможное число ПЭ и угол их разлета определяются габаритами снаряда конкретного образца вооружения. Скорость ПЭ в момент встречи с поверхностью МБЛА зависит от дальности до цели и статической скорости ПЭ. Максимальная вероятность поражения для выбранных условий будет достигаться выбором оптимальной дистанции подрыва, поэтому на средстве поражения должны решаться задачи измерения дальности до цели и определения ее типа (размеров). Достоинствами шрапнельных снарядов являются существенно меньшая стоимость по сравнению с ЗУР; меньшая стоимость по сравнению с МБЛА.

1. Чигирь, И.В. Повышение эффективности стрельбы зенитного (стрелкового) вооружения по малогабаритным беспилотным летательным аппаратам за счет применения шрапнельных снарядов / И. В. Чигирь, А. Е. Курейчик, О. Р. Маврин, А. С. Солонар, С. А. Горшков // Вестник ВАРБ, 2020. – № 2. С. 66–77.

2. Колодяжный, В.В. Стрельба, боевая работа и управление огнем подразделений, вооруженных ЗПК 2К22 «Тунгуска», Учебник / В.В. Колодяжный, К. С. Рай. – Минск: ВАРБ, 2002. – 226 с.

## ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ЭМИССИОННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Шиенок Ю.В.,**

*старший преподаватель ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель – Антонович Д.А., канд. техн. наук, доцент*

Электронно-лучевые технологии занимают существенное место в ряду современных высокоэффективных методов металлообработки и получения материалов с новыми свойствами. Широкий спектр технологических возможностей электронно-лучевой термической обработки определил использование электронных пучков во многих технологических процессах [1–4], в том числе для резки, плавки, сварки и термической обработки – закалки, упрочнения и модификации поверхности.

Основу электронно-лучевых технологических установок составляют электронные пушки, которые включают электронно-оптические системы (ЭОС), обеспечивающие