УДК: 623.46; 629.7; 623.946.082

# АКТИВНАЯ ЗАЩИТА МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАКЕТ МАЛОГО КАЛИБРА И ШТАТНЫХ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ

## ACTIVE PROTECTION OF MOBILE OBJECTS FROM WEAPONS OF DESTRUCTION USING SMALL-CALIBER MISSILES AND STANDARD LAUNCHERS

Д-р техн. наук М.В. Сильников, д-р техн. наук В.И. Лазоркин

D.Sc. M.V. Silnikov, D.Sc. V.I. Lazorkin

АО «НПО Спецматериалов»

Рассматривается проблема защиты мобильных объектов от переносных средств поражения управляемыми и неуправляемыми ракетами малого калибра со штатных пусковых устройств.

Приводятся сведения о принятии на вооружение «мини-ракет» в армиях зарубежных стран. Предлагается приближённый метод расчёта массогабаритных характеристик ракет малого калибра, оснащённых боевыми частями направленного действия. Приводятся примеры расчёта.

**Ключевые слова:** «мини-ракета», атакующий боеприпас, защитный боеприпас, боевая часть, поражающие элементы, ударное ядро.

The problem of protection of mobile objects from portable weapons of destruction by guided and unguided small-caliber missiles from standard launchers is considered. The article provides information about the adoption of «mini-miss iles» in the armies of foreign countries. An approximate method for calculating the mass and size characteristics of small-caliber missiles equipped with directional warheads is proposed. Examples of calculation are given.

*Keywords*: «mini-missile», attacking munition, protective munition, warhead, striking elements, impact core.

В последнее время на вооружение армий ряда зарубежных стран поступили, так называемые, управляемые «мини-ракеты», характеризующиеся небольшими массогабаритными характеристиками (МГХ), небольшой дальностью действия, простотой боевого применения и сравнительно небольшой стоимостью серийных образцов. Основной способ поражения цели «мини-ракетой» — прямое попадание (Hit-to-Kill), хотя некоторые образцы оснащены осколочно-фугасной или кумулятивной бо-

евой частью (БЧ) с дистанционными взрывателями.

Появление «мини-ракет» обусловлено необходимостью повышения эффективности защиты различных объектов от самонаводящихся средств поражения в ближней зоне защиты [1].

Наиболее широкое применение нашли «мини-ракеты» в вооружённых силах США, Израиля, Великобритании и ряда других стран для защиты от неуправляемых ракет, противотанковых и миномётных боеприпасов, ракет ПЗРК, артил-

лерийских снарядов и малых беспилотных летательных аппаратов [2].

Примерные характеристики «мини-ракет»: длина — 400–700 мм, диаметр — 40–75 мм, стартовая масса — 1–4 кг, дальность перехвата — от 200 до 2500 м, стоимость серийного образца — 15–16 тыс. долл. [3, 4].

Внешний вид «мини-ракеты» МНТК (Miniature Hit-to-Kill), разработанной американской компанией Lockheed Martin, рядом со сбитой ею миной представлен на рис. 1.

Необходимо отметить особое внимание, которое США уделяют созданию «мини-ракет» для защиты летательных аппаратов от неуправляемых и управляемых ракет. Так Американская компания Raytheon стала победителем конкурса на создание «мини-ракет» для самозащиты истребителей (MSDM — Miniature Self Defense Missile) [5]. Ракета должна быть создана к октябрю 2023 года. Предполагаемая её длина — порядка 1 м. Сравнительные габариты перспективной ракеты MSDM и серийных ракет США класса «воздух-воздух» приведены на рис. 2.

В США на конференции SOFIC 2015 американская компания Orbital ATK продемонстрировала систему активной защиты (CA3) вертолётов от выстрелов к ГК и ракет ПЗРК «HASP» (Helicopter Active Protection System) [6]. «HAPS» 0000000000 состоит из модуля управления и перехватчиков Kill Vehicle (KV), которые запускаются из стандартных пусковых устройств ложных тепловых целей (ЛТЦ) ALE-47, используемых на всех боевых вертолётах США (рис. 3, 4).

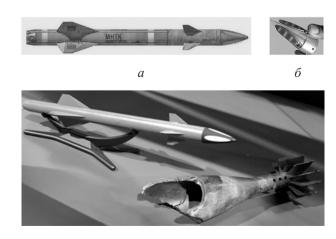


Рис. 1. Внешний вид «мини-ракеты» МНТК (а), её головной части (б) рядом со сбитой миной (в)

По заявлению разработчиков KV является маневрирующим и, судя по внешнему виду, имеет газодинамическое управление.

Судя по размерам перехватчика KV, поражение атакующего боеприпаса осуществляется по принципу Hit-to-Kill.

CA3 «HASP» успешно продемонстрировала уничтожение реактивной гранаты на безопасном удалении от вертолёта [6].

Исходной точкой расчёта характеристик защитного боеприпаса (3Б) является определение МГХ его БЧ [6]. На рис. 5 приводится блок-схема алгоритма и вывод основных расчётных соотношений для определения МГХ БЧ ЗБ малого калибра.

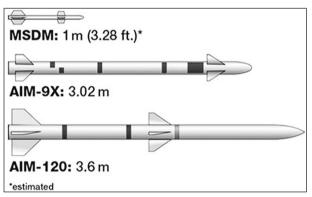


Рис. 2. Сравнительные габариты перспективной «мини-ракеты» MSDM и серийных ракет США класса «воздух-воздух»



 $Puc.\ 3.\ Пусковое\ устройство\ (кассета)\ для\ пуска$   $nepexватчиков\ KV$ 

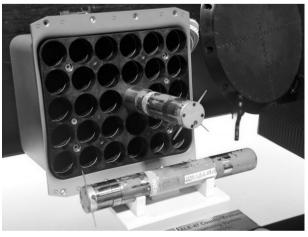


Рис. 4. Внешний вид перехватчика KV

Вероятность поражения атакующего боеприпаса (АБ) в значительной мере зависит от дистанции промаха ( $D_{\rm пр}$ ) ЗБ, которая в свою очередь зависит от параметров неконтактного взрывательного устройства (НВУ), а именно дальности действия НВУ ( $D_{\rm нву}$ ) и угла наклона главного максимума диаграммы направленности НВУ к продольной оси ЗБ ( $\theta$ ).

Под дистанцией промаха понимается длина траектории поражающего элемента (ПЭ), находящейся на оси поля ПЭ и направленной в точку встречи с АБ. Знание дистанции промаха необ-

ходимо для определения расчётной плотности ПЭ, через которую определяется необходимое количество ПЭ в БЧ ЗБ.

Принимая в качестве точки встречи пересечение оси поля ПЭ и траектории АБ, выведем расчётные соотношения для определения параметров  $\theta$  и  $D_{\mbox{\tiny Inn}}$ .

Расчётная схема срабатывания НВУ ЗБ, оснащённого БЧ с полем ПЭ направленного действия, и схема поражения АБ приведены на рис. 6.

На рисунке используются следующие обозначения:

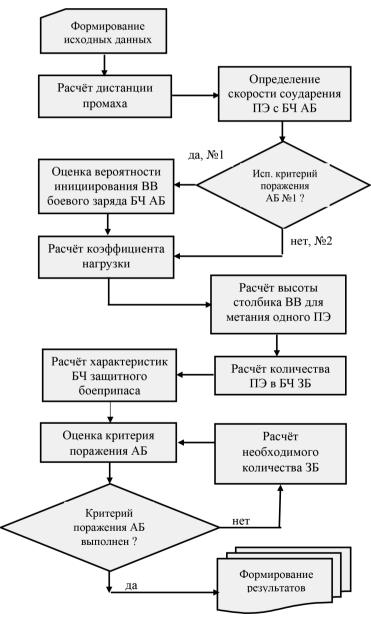


Рис. 5. Блок-схема алгоритма определения массогабаритных характеристик боевой части защитного боеприпаса малого калибра

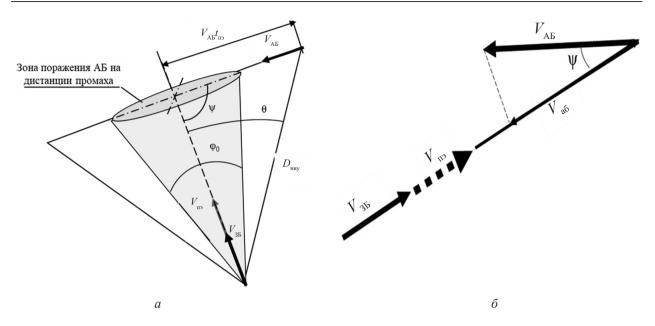


Рис. 6. Расчётная схема срабатывания НВУ ЗБ, оснащённого БЧ с полем ПЭ направленного действия (а), и схема поражения АБ (б)

 угол встречи малой управляемой ракеты (МУР) с АБ;

 $V_{\scriptscriptstyle{\mathrm{A}\mathrm{B}}}$  — величина вектора скорости АБ;

 $V_{35}$  — величина вектора скорости 3Б;

 $V_{_{\Pi 3}}$  — величина вектора скорости ПЭ;

 $t_{_{\rm HS}}^{---}$  время полёта ПЭ до встречи с АБ;  $v_{_{\rm AG}}^{--}$  проекция вектора скорости АБ на вектор скорости ПЭ;

ф — укол рассеивания ПЭ (для БЧ с полем ПЭ направленного действия).

Определим скорость соударения ПЭ с БЧ гиперзвукового АБ МУР, оснащённой БЧ с радиально-кольцевым полем ПЭ.

Проекция вектора скорости ЗБ на вектор скорости ПЭ:

$$v_{_{36}} = V_{_{36}} \cdot \cos(\varphi_{_{cp}}).$$

Средний угол соударения ПЭ с БЧ АБ:

$$\alpha = \pi - \left(\phi_{cp} + \psi\right).$$

Проекцию вектора скорости АБ на вектор скорости ПЭ получим, применяя формулы преобразования в тригонометрии:

$$v_{\rm ab} = V_{\rm Ab} \cdot \cos(\varphi_{\rm cp} + \psi).$$

Скорость соударения ПЭ с БЧ АБ с учётом сопротивления воздуха:

$$V_{\text{no}} = v_{\text{a6}} + v_{\text{a6}} + V_{\text{Mer}} \cdot \exp\left\{-0.09 \cdot \frac{h^2 \cdot D_{\text{np}}}{m_{\text{no}}}\right\},$$

где  $V_{_{\!\!\!\text{MET}}}$  — скорость метания ПЭ боевой частью МУР:

 $h_{_{\Pi 2}}$  — характерный размер ПЭ, см;

 $m_{_{\Pi 9}}$  — масса одного ПЭ, г;  $D_{_{\Pi 9}}$  — длина траектории ПЭ до встречи с целью, м.

Определим скорость соударения ПЭ с БЧ гиперзвукового АБ МУР, оснащённой БЧ с полем ПЭ направленного действия.

Проекция вектора скорости АБ на вектор скорости ПЭ:

$$v_{ab} = V_{Ab} \cdot \cos(\psi).$$

Скорость соударения ПЭ с БЧ АБ с учётом сопротивления воздуха:

$$V_{_{\Pi 9}} = V_{_{3B}} + v_{_{a6}} + V_{_{\text{MeT}}} \cdot \exp \left\{ -0.09 \cdot \frac{h_{_{\Pi 9}}^2 \cdot D_{_{\Pi p}}}{m_{_{\Pi 9}}} \right\}.$$

Коэффициент нагрузки β для используемого взрывчатого вещества (ВВ) определяется соотношениями:

$$\beta = \frac{\Omega}{0.9 - \Omega},$$

$$\Omega = \begin{cases} \frac{V_{_0}}{3000}, \text{ если } V_{_0} \leq 1500 \text{ м/c;} \\ \left(\frac{V_{_0}}{3000}\right)^{0.863}, \text{ если } V_{_0} > 1500 \text{ м/c,} \end{cases}$$
 
$$V_{_0} = V_{_{\text{MCT}}} \cdot \frac{D_{_0}}{D},$$

где  $V_{_{0}}$ ,  $D_{_{0}}$  — скорость ПЭ и скорость детонации эталонного ВВ (ТГ-50);

D — скорость детонации BB, используемого для метания ПЭ.

Высота столбика ВВ, предназначенного для метания одного ПЭ, рассчитывается по формуле:

$$h_{\text{BB}} = \frac{n_{\text{II3}} \cdot m_{\text{II3}} \cdot \beta}{\rho_{\text{RB}} \cdot \left(h_{\text{II3}} + 2 \cdot \delta_{\text{II3}}\right)^2},$$

где  $n_{_{\rm п9}}$  — число рядов ПЭ в БЧ ЗБ;

 $m_{_{\rm II}}^{^{\rm II}}$  — масса одного ПЭ;  $\rho_{_{\rm BB}}$  — плотность ВВ, используемого для

 $\delta_{_{\Pi 9}}$  — величина промежутка между сосед-

Количество ПЭ в БЧ ЗБ рассчитывается по формуле путём округления результата до ближайшего целого:

$$N_{\text{II3}} = 0,785 \cdot \left( \frac{d_{\text{BY}}}{\left( h_{\text{II3}} + 2 \cdot \delta_{\text{II3}} \right)} \right)^2,$$

где  $d_{\text{БЧ}}$  — внутренний диаметр БЧ 3Б:

$$d_{_{\rm BY}}=D_{_{\rm BY}}-2\cdot\delta_{_{\rm BY}},$$

 $\delta_{_{\rm FY}}$  — толщина корпуса БЧ 3Б.

МГХ БЧ ЗБ рассчитывается в следующей последовательности:

– определяется масса ПЭ в БЧ ЗБ:

$$M_{\Pi \ni} = N_{\Pi \ni} \cdot m_{\Pi \ni};$$

– определяется масса ВВ в БЧ ЗБ:

$$M_{\rm pp} = M_{\rm pp} \cdot \beta;$$

- определяется масса БЧ ЗБ:

$$M_{_{\rm BH}} = 1.1 \cdot (M_{_{\rm HP}} + M_{_{\rm BB}});$$

– определяется длина БЧ 3Б:

$$L_{_{\rm BY}}=l_{_{\rm HBY}}+2\cdot\delta_{_{\rm KP}}+h_{_{\rm BB}}+n_{_{\rm II3}}\cdot h_{_{\rm II3}},$$

где  $\begin{array}{ccc} I_{\mbox{\tiny HBY}} & -- & \\ \delta_{\mbox{\tiny кр}} & -- & \\ & & \delta_{\mbox{\tiny кр}} & -- & \\ \end{array}$ толщина крышки БЧ 3Б.

В соответствии с принятым критерием поражения АБ оценивается его выполнение.

Если принят критерий № 1 (инициирование взрыва ВВ боевого заряда БЧ АБ) рассчитывается вероятность попадания в БЧ АБ не менее одного ПЭ по формуле:

$$P = 1 - \exp \left\{ -S_{_{\Pi}} \cdot \frac{N_{_{\Pi \ni}}}{S_{_{\Pi \Pi}}} \cdot \sin(\psi) \right\},\,$$

где  $S_{_{\Pi}}$  — площадь проекции БЧ АБ;  $S_{_{\Pi\Pi}}$  — площадь поля ПЭ на заданной дистанции промаха:

$$S_{\text{IIII}} = 0.785 \cdot \left( d_{\text{BY}} + 2 \cdot D_{\text{III}} \cdot \text{tg} \left( 0.5 \cdot \phi_0 \right) \right).$$

Если  $P \leq P_{TD}$ , определяется необходимое количество ЗБ в залпе:

$$M_{3B} = \frac{-\ln(1 - P_{TP}) \cdot S_{\Pi\Pi}}{S_{\Pi} \cdot N_{\Pi \cap 2} \cdot \sin(\Psi)}.$$

Если принят критерий № 2 (механическое разрушение БЧ АБ с диспергированием ВВ боевого заряда), определяется плотность поля ПЭ:

$$\lambda = \frac{N_{\Pi \ni}}{S_{\Pi \Pi}}.$$

Если  $\lambda \leq \lambda_{\text{тр}}$ , определяется необходимое количество ЗБ в залпе:

$$M_{3B} = \frac{\lambda_{\text{\tiny TP}}}{\lambda}.$$

Боевыми частями, рассчитанными вышеизложенным методом, могут оснащаться как управляемые, так и неуправляемые ЗБ малого калибра.

Управляемые и неуправляемые ЗБ, предназначенные для применения на сравнительно больших дистанциях (не менее нескольких сотен метров) целесообразно оснащать ракетными двигателями твёрдого топлива (РДТТ) и НВУ.

Неуправляемые ЗБ, предназначенные для применения на коротких дистанциях (до сотни метров), целесообразно оснащать вышибными зарядами, замедлителем срабатывания БЧ и контактным взрывателем (на случай прямого попадания в цель).

Оценим возможности защиты вертолёта от реактивной гранаты ПГ-7В неуправляемыми и управляемыми 3Б калибра 50 мм, руководствуясь методическим аппаратом [7].

В качестве критериев поражения гранаты будем использовать инициирование взрыва BB

боевого заряда БЧ (критерий № 1) и механическое разрушение БЧ гранаты с диспергированием ВВ боевого заряда (критерий № 2).

В качестве ВВ боевого заряда БЧ ЗБ используется Окфол-П (скорость детонации D=9124 м/с, плотность  $\rho=1,84$  г/см³), в качестве ВВ вышибного заряда — бездымный порох (D=6000 м/с,  $\rho=1,37$  г/см³).

Результаты расчётов приведены в табл. 1–4 и на рис. 7.

В табл. 4 используются следующие обозначения:

Таблица 1 Массогабаритные характеристики боевой части защитного боеприпаса

Критерий	Характеристики ПЭ			Характеристики боевой части						
поражения АБ	<i>h</i> , мм	т, г	$V_{\text{MeT}}$ , KM/c	$N_{{}_{{}_{{}^{1}}{}^{3}}}$ , шт	$M_{_{ m H9}}$ , г	$M_{_{ m BB}}$ , $\Gamma$	$M_{{}_{\mathrm{Б}\mathrm{Y}}}$ , г	$D_{\scriptscriptstyle{ ext{BY}}}$ , мм	$L_{{}_{\mathrm{E}\mathrm{Y}}}$ , мм	
1	10	7,8	1,55	10	78	70	165	50	84	
2	4	0,5	1,10	35	17	7	27	50	59	

Массогабаритные характеристики неуправляемого защитного боеприпаса

Критерий поражения АБ		истики ВВ ого заряда	Характеристики защитного боеприпаса						
	масса, г	длина, мм	масса, г	калибр, мм	длина, мм	стартовая скорость 3Б, м/с	кол-во ЗБ в залпе, шт		
1	8,24	3,5	372	50	140	100	1		
2	1,35	1,0	177	50	111	100	6		

Таблица 3 Массогабаритные характеристики управляемого защитного боеприпаса

Составные части	П	Критерий поражения АБ			
МУР	Наименование характеристики	1	2		
	Масса, кг	3,50	2,72		
MVD p warran	Длина, мм	1079	900		
МУР в целом	Калибр, мм	50	50		
	Полный размах крыла, мм	484	604		
Have carry vi cancer	Масса, кг	0,50	0,50		
Приборный отсек	Длина, мм	150	150		
ритт	Масса, кг	0,443	0,649		
РДТТ	Длина, мм	361	412		
Druganay araay	Масса, кг	1,0	0,5		
Рулевой отсек	Длина, мм	215	102		
Хвостовой отсек	Масса, кг	0,5	0,3		
ABOUTOBOU OTCER	Длина, мм	255	153		
	Площадь крыла, м <sup>2</sup>	0,078	0,122		
	Удельная нагрузка на крыло, кг/м <sup>2</sup>	44,86	22,43		
Оперение	Корневая хорда, мм	277	345		
	Бортовая хорда, мм	253	321		
	Концевая хорда, мм	46	58		

Таблица 2

Таблица 4

## Параметры перехвата

Критерий поражения АБ	V <sub>в</sub> , м/с	$\Phi_{\scriptscriptstyle 0}$ , град	Н, м	<i>r</i> <sub>0</sub> , м	<i>F</i> <sub>т</sub> , H	<i>U</i> , м	n <sub>max</sub> , ед.	α <sub>мах</sub> , град.	<i>V</i> <sub>к</sub> , м/с	<i>t</i> <sub>K</sub> , c	$\Delta_{\text{iip}}$ , M
1	27	70	300	400	1500	196	44	8,4	252	0,73	0,57
2	27	70	300	400	500	127	19	8,8	158	0,98	0,78

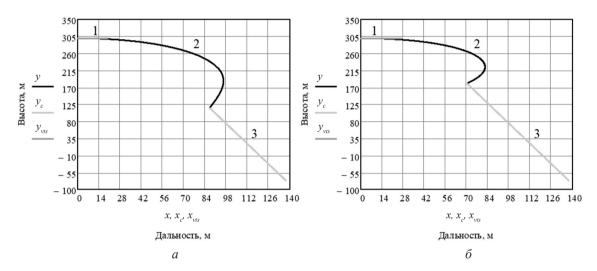


Рис. 7. Траектории вертолёта (1), гранаты (3) и защитного боепроипаса (2), боевая часть которого рассчитана по критерию № 1 (а) и № 2 (б)

 $\Phi_0$  — начальный угол наклона линии визирования;

 $V_{\_}$  — скорость вертолёта;

H — высота полёта вертолёта;

 $r_0$  — дальность пуска гранаты;

 $\tilde{F}$  — тяга РДТТ ЗБ;

 $\dot{U}$  — удаление точки перехвата гранаты от вертолёта;

 $n_{\max}$  — максимальная величина боковой перегрузки 3Б;

 $\alpha_{\text{max}}$  — максимальный угол атаки 3Б;

 $V_{_{\rm K}}$  — конечная скорость 3Б в точке перехвата гранаты;

 $t_{_{v}}$  — время полёта ЗБ;

 $\Delta_{_{\rm пp}}$  — величина промаха 3Б в точке перехвата гранаты.

Оснащение мобильных объектов защитными боеприпасами малого калибра позволит существенно повысить эффективность защиты объектов в ближней зоне при приемлемых затратах, о чём свидетельствует опыт применения аналогов как в нашей стране, так и за рубежом.

Использование штатных пусковых устройств для применения указанных средств защиты на серийных образцах вооружения позволит упро-

стить проблему их установки, боевого применения и повседневной эксплуатации.

Создание новых высокоэффективных средств защиты мобильных объектов на основе боеприпасов малого калибра, адаптированных к решению конкретных задач, позволит в значительной мере преодолеть проблему превышения их тактико-технических и стоимостных показателей [8–10].

### Литература

- 1. Легкий переносной ракетный комплекс Rafael Mini-Spike. 6.06.2012. Сайт: https://topwar.ru/15078-legkiy-perenosnoy-raketnyy-kompleks-rafael-mini-spike.html
- 2. Горбачёв Ю. Мини ракета-перехватчик. США. 3.07.2014. Сайт: http://guntact.ru/forums/topic/2294.
- 3. Рябов К. Малогабаритная управляемая ракета Raytheon Pike. США. 8.06.2017. Сайт: https://topwar.ru/117526-malogabaritnaya-upravlyaemaya-raketa-raytheon-pike-ssha.html
- 4. Соколов А. Мини-перехватчик МНТК. 23.06.2018. Caйт: https://www.arms-expo.ru/articles/armed-forces/mini-perekhvatchik-mntk.

- 5. ВВС США заказали разработку мини-ракет для самообороны истребителей. 22 июля 2020. Сайт: https://topwar.ru/173374-vvs-sshazakazali-razrabotku-mini-raket-dlja-samooborony-istrebitelej.html
- 6. Первый в мире комплекс активной защиты для вертолетов. Сайт: https://andrei-bt.livejournal.com/363253.html
- 7. Сильников М.В., Лазоркин В.И. Активная защита мобильных объектов. СПб. 2020. 488 с.
- 8. Сильников М.В., Лазоркин В.И. Активная защита стационарных объектов. СПб. 2021. 508 с.
- 9. Сильников М.В., Лазоркин В.И. Математическая модель определения уязвимых элементов объекта защиты при планировании антидиверсионных мероприятий // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. № 4 (114). С. 43–47.
- 10. Лузан А.Г. Система активной защиты объектов. Материал опубликован в журнале «Арсенал Отечества» № 5 (31) за 2017 г. Сайт: https://arsenal-otechestva.ru/article/1007-sistema-aktivnoj-zashchity-ob-ektov

#### References

1. Light portable missile system Rafael Mini-Spike. 06.06.2012. Website: https://topwar.ru/15078-legkiy-perenosnoy-raketnyy-kompleks-rafael-mini-spike.html

- 2. Gorbachev Yu. Mini interceptor missile, USA. 03.07.2014. Website: http://guntact.ru/forums/topic/2294
- 3. Ryabov K. Small-sized guided missile Raytheon Pike (USA). 08.06.2017. Website: https://topwar.ru/117526-malogabaritnaya-upravlyaemaya-raketa-raytheon-pike-ssha.html
- 4. Sokolov A. Mini-interceptor MNTK. 23.06.2018. Website: https://www.arms-expo.ru/articles/armed-forces/mini-perekhvatchik-mntk
- 5. The US Air Force has ordered the development of mini-missiles for self-defense fighters. July 22, 2020. Website: https://topwar.ru/173374-vvs-sshazakazali-razrabotku-mini-raket-dlja-samooborony-istrebitelej.html
- 6. The world's first active protection system for helicopters. Website: https://andrei-bt.livejournal.com/363253.html
- 7. Silnikov M.V., Lazorkin V.I. Active protection of mobile objects. St. Petersburg: 2020. 488 p.
- 8. Silnikov M.V., Lazorkin V.I. Active protection of stationary objects. SPb. 2021. 508 p.
- 9. Silnikov M.V., Lazorkin V.I. Mathematical model for determining the vulnerable elements of the object of protection when planning anti-sabotage measures // Bulletin of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2020. № 4 (114). P. 43–47.
- 10. Luzan A.G. System of active protection of objects. The material was published in the magazine «Arsenal of the Fatherland» № 5 (31) for 2017. Website: https://arsenal-otechestva.ru/article/1007-sistema-aktivnoj-zashchity-ob-ektov