



УДК 623.125:623.451.7
ГРНТИ 78.25.07.53

МОДЕЛЬ ПОРАЖЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ С ПОЛУАКТИВНОЙ ЗАЩИТОЙ

*Н.А. ОЗЕРНОЙ, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
А.В. КРЫМОВ
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
В.В. ДРОНОВ
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье рассмотрена модель поражения защищенного пункта управления, состоящая из трех частей. В первой части оценивается вероятность попадания высокоточного боеприпаса в площадь защитного сооружения, во второй части оценивается ударное (пробивное) и кумулятивное воздействие боеприпаса, и влияние полуактивной защиты, а в третьей части оценивается фугасное воздействие боеприпаса. На выходе модели определяется вероятность и количество оборудования и агрегатов системы жизнеобеспечения, получивших безвозвратные и сильные степени боевых повреждений высокоточным оружием противника.

Ключевые слова: высокоточное оружие; защищенный пункт управления; ударная волна; высокоточный боеприпас; продукты взрыва; полуактивная защита.

THE DAMAGE MODEL OF A PROTECTED CONTROL ROOM WITH SEMI-ACTIVE PROTECTION

*N.A. OZERNOY, Candidate of Technical Science, Associate professor
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
A.V. KRYMOV
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
V.V. DRONOV
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The article deals with the model of defeat of a protected control command centre, and this model consists of three parts. In the first part, the probability of hitting a precision ammunition in the area of a protective structure is assessed, the second part deals with the assessment of percussion fuze and cumulative effect of ammunition, as well as the effect of semi-active protection, the third part assesses the effect of high-explosive projectile. As a result, the probability and quantity of equipment and aggregates of the life support system having been irreversibly and badly damaged with high-precision weapons of enemy are assessed in this article.

Keywords: high-precision weapons, secure control command centre, shock wave, precision ammunition, products of explosion, semi-active protection.

Введение. Поражение системы жизнеобеспечения в подземных защищенных пунктах управления (ЗПУ) происходит в результате сквозного пробивания высокоточными боеприпасами (ВБ) защитных слоев грунта и плит перекрытия сооружения, с по-



следующей их детонацией внутри сооружения и возникающего разрушающего действия кинетической энергии продуктов взрыва (ПВ) и ударной волны (УВ).

Ударная волна взрыва (фугасное воздействие) не является основным поражающим фактором при воздействии высокоточного оружия (ВТО) по укрепленным ЗПУ, а к таковым относятся кинетическое (за счет кинетической энергии боезаряда) и кумулятивное воздействие. При достаточной кинетической энергии боезаряда, мощности его кумулятивной струи, либо совокупного эффекта от этих факторов возможно сквозное пробивание защитного слоя грунта и железобетонного перекрытия, что приведет к повреждению сооружения и инженерных коммуникаций, так что эксплуатация сооружения будет невозможной. Сооружение может быть выведено из строя также и в результате попадания боезаряда в критически важные узлы [1]. К примеру, воздействие ВТО может быть не столь сильным для того, чтобы пробить защитные перекрытия, но достаточным для того, чтобы вызвать повреждение систем жизнеобеспечения, что также приведет к невозможности эксплуатации всего сооружения.

В связи с вышесказанным, появляется проблема обеспечения живучести подземных защитных сооружений (пунктов управления, узлов связи) в условиях воздействия ВТО противника [2].

Актуальность. Модель влияния характеристик защитных укрытий на боевые повреждения систем жизнеобеспечения, предназначена для определения вероятностей получения техническими системами жизнеобеспечения боевых повреждений различной степени тяжести от ВБ с боевыми частями фугасного, проникающего (бетонобойного) и кумулятивно-фугасного типа, а также для определения параметров защитных конструкций укрытий и выбора рационального типа объемно-конструктивного решения, обеспечивающего выполнение тактико-технических требований, предъявляемых к специальным фортификационным сооружениям.

Поражение технических систем в защитных укрытиях (шахты воздухозабора, газоздушный тракт дизель-электрической станции, коммуникационные вводы, паттерны входа выхода) происходит в результате сквозного пробивания ВБ защитной конструкции укрытия, с последующей их детонацией внутри сооружения, или разрушения защитной конструкции укрытия, за счет совместного действия проникающего (бетонобойного, кумулятивного) и фугасного воздействия ВБ с последующим поражением технических систем разрушающей кинетической энергией ПВ и УВ. При взрыве боеприпаса в замкнутом пространстве УВ взрыва многократно отражается от внутренних стен объема сооружения. В результате чего каждый жизненно важный агрегат технических систем внутри сооружения испытывает серию УВ, суммарный импульс которых в 5-6 раз превосходит импульс УВ взрыва в неограниченном пространстве. Подобная картина взрыва приводит к сильной и безвозвратной степени боевого повреждения технических систем [3].

Данная модель состоит из трех частей, в первой части оценивается вероятность попадания ВБ в площадь защитного сооружения, во второй части оценивается ударное (проникающее, пробивное) и кумулятивное воздействие ВБ, а в третьей части оценивается фугасное воздействие ВБ (рисунок 1).

Характер и размеры разрушений защитных сооружений зависят от следующих факторов: количества, калибра, массы, формы и поперечного сечения боеприпасов; скорости в момент встречи боеприпаса с защитной конструкцией защитного сооружения; угла встречи боеприпаса с преградой; мощности заряда взрывчатого вещества применяемых боеприпасов; физико-механических свойств материалов защитной толщи укрытия, ее размеров и конструкции [4].

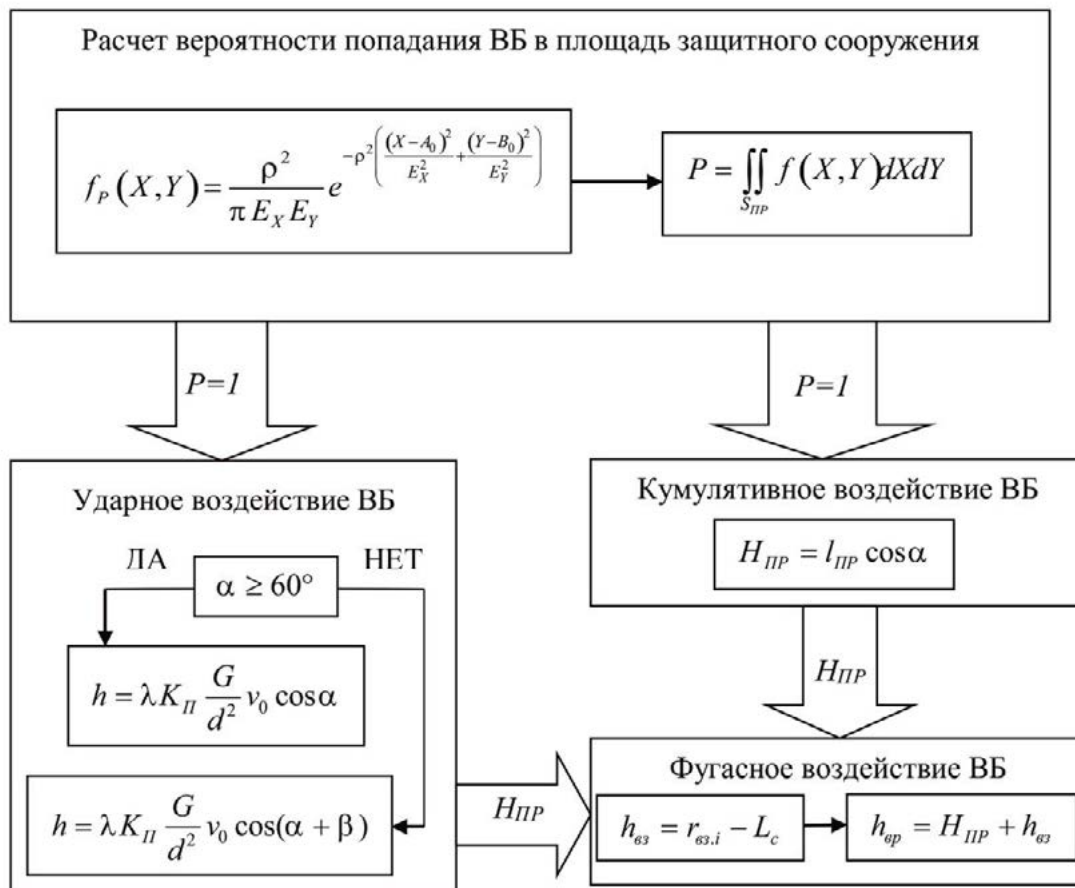


Рисунок 1 – Структура модели поражения ЗПУ

Рассмотрим первую часть представленной модели. Вероятность попадания ВБ в приведенную площадь поражения защитного сооружения определяется ошибками наведения авиационного боеприпаса, которые характеризуются плотностью рассеивания точек разрыва боевой части ВБ на плоскости земли. Выражение для плотности распределения ошибок наведения ВБ (с учетом случайных и систематических ошибок) в канонической форме имеет вид:

$$f_p(X, Y) = \frac{\rho^2}{\pi E_x E_y} e^{-\rho^2 \left(\frac{(X-A_0)^2}{E_x^2} + \frac{(Y-B_0)^2}{E_y^2} \right)}, \quad (1)$$

где E_x, E_y – вероятные отклонения рассеивания ВБ по осям; ρ – коэффициент, применяемый при переходе от вероятного отклонения к среднему квадратическому и обратно; A_0, B_0 – отклонения центра рассеивания.

Тогда формула для определения вероятности попадания одним ВБ в площадь защитного сооружения $S_{\text{пр}}$ примет вид

$$P = \iint_{S_{\text{пр}}} f(X, Y) dXdY. \quad (2)$$



Рассмотрим вторую часть представленной модели. Расчет разрушения защитного заглубленного сооружения осуществляется последовательно. Сначала определяется полная глубина проникания боеприпаса – для боеприпасов, обладающих ударным действием, или глубина образования кумулятивного кратера – для боеприпасов, обладающих кумулятивным действием, а также тип слоя защитной конструкции укрытия, в котором остановился боеприпас.

Формула для определения глубины проникания боеприпаса в грунт, бетон, железобетон, скальный грунт, бутовую и каменную кладки имеет вид :

$$h = \lambda K_{\Pi} \frac{G}{d^2} v_0 \cos \alpha, \quad (3)$$

где λ – коэффициент, характеризующий относительное влияние формы боеприпаса; K_{Π} – коэффициент проникания, характеризующий прочностные свойства материала преграды, м²с/кг; G – масса боеприпаса в момент встречи с преградой, кг; d – максимальный диаметр боеприпаса, м; v_0 – скорость встречи боеприпаса с преградой, м/с; α – угол встречи боеприпаса с преградой, то есть угол между касательной к траектории боеприпаса в точке встречи и нормалью к преграде, град.

Защитные конструкции укрытий, в которые происходит проникание боеприпасов, неоднородны и состоят из нескольких слоев, имеющих каждый толщину δ_i и состоящих из материалов, которые характеризуются коэффициентами $K_{\Pi i}$.

Расчет глубины проникания в защитную конструкцию укрытия производится последовательно. Сначала определяется глубина проникания в сплошную среду из материала первого слоя h_1 , которая сравнивается с действительной толщиной первого слоя δ_1 . При $h_1 > \delta_1$ определяется скорость боеприпаса v_1 в момент его встречи со вторым слоем, считая скорость v_1 за начальную скорость проникания во второй слой, вычисляется глубина проникания в сплошную среду из материала второго слоя h_2 . При $h_2 < \delta_2$ второй слой не пробит и полная глубина проникания $H_{\text{пр}} = \delta_1 + h_2$. В противном случае определяется скорость, которую будет иметь боеприпас на входе в третий слой v_2 , аналогичным образом оценивается возможность его пробития и т.д. Подобные расчеты проводятся для каждого слоя защитной толщи укрытия, характеризуемого коэффициентом проникания $K_{\Pi i}$ пока, наконец, не будет выполнено условие $h_i < \delta_i$. Это свидетельствует о том, что боеприпас остановился в i -том слое на глубине h_i .

Полная глубина проникания $H_{\text{пр}}$ определяется по формуле:

$$H_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^{i-1} \delta_j + h_i. \quad (4)$$

Скорость встречи проникающего боеприпаса с очередным i -тым слоем защитной толщи укрытия v_i определяется зависимостью:

$$v_i = v_{i-1} \sqrt{1 - \left(\frac{\delta_{i-1}}{h_{i-1}} \right)^2}, \quad (5)$$

где v_{i-1} – скорость встречи с предыдущим (i -тым) слоем.

В том случае, если полная глубина проникания $H_{\text{пр}}$ в защитную конструкцию укрытия больше ее толщины $H_{\text{пр}} > H_k$ (условие сквозного пробивания боеприпаса), то



вероятность безвозвратных повреждений техники в защитном укрытии принимается равной единице $P_1=1$.

Как видно из формулы (3) значительное влияние на условие сквозного пробивания боеприпаса, оказывает угол α – угол встречи боеприпаса с преградой. Данный угол α можно определить в связанной системе координат $OXYZ$, начало которой находится в центре масс боеприпаса [5]. Угол α находится по формуле:

$$\alpha = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2}; \quad (6)$$

$$\alpha_1 = -\text{arctg}(V_y / V_x); \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \text{arctg}(V_z / V_x), \quad (8)$$

где V_x, V_y, V_z – составляющие воздушной скорости (проекции вектора воздушной скорости на связанные оси $OXYZ$); α_1, α_2 – углы атаки в каналах управления, расположенные соответственно в связанных плоскостях OXY и OXZ . Ось OX совпадает с продольной осью симметрии боеприпаса и направлена к его передней части, а оси OY и OZ лежат во взаимно-перпендикулярных плоскостях каналов управления, совпадающих с плоскостями крыльев, дестабилизаторов и рулей.

Предельное значение угла встречи α , при котором возможно рикошетирующее высокоточное боеприпаса для бетона и железобетона составляет 60° , то есть при выполнении условия $\alpha \geq 60^\circ$ будет безусловный рикошет.

Статичность защитных слоев и постоянная их ориентация в пространстве существующих конструкций ЗПУ не способны в полной мере противодействовать воздействию современных высокоточных боеприпасов. Для выполнения условия безусловного рикошета, необходима полуактивная защита ЗПУ. В качестве полуактивной защиты могут быть использованы подвижные отражатели, выполненные в виде железобетонных плит, находящиеся в дополнительном этаже над ограждающими конструкциями сооружения под слоями грунтовой обсыпки, поворачиваемые электроприводом на угол β , способствующему безусловному рикошету боеприпаса (рисунок 2).

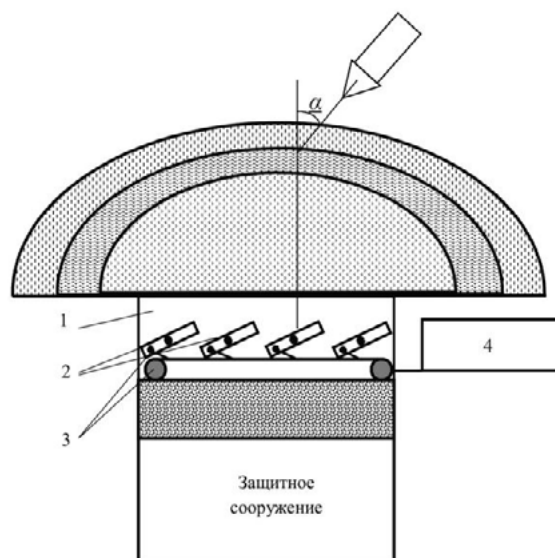


Рисунок 2 – Устройство полуактивной защиты ЗПУ

1 – дополнительный этаж над ограждающими конструкциями сооружения; 2 – отражатели; 3 – электропривод с механизмом поворота отражателей; 4 – блок управления электроприводом и механизмом поворота.



Из условия вытекает что $\beta \geq 60^\circ - \alpha$. Тогда с учетом угла β формула (3) примет вид:

$$h = \lambda K_{II} \frac{G}{d^2} v_0 \cos(\alpha + \beta). \quad (9)$$

Таким образом мы исключаем сквозного пробивания высокоточным боеприпасом ограждающей конструкции сооружения, способствуя рикошетированию боеприпаса.

Действие взрыва кумулятивных боеприпасов на конструкции защитных сооружений характеризуется прониканием кумулятивной струи, длина пути которой определяется по формуле:

$$l_{np} = \varphi l_{эф} \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_n}}, \quad (10)$$

где φ – коэффициент, учитывающий свойства материала преграды; $l_{эф}$ – эффективная длина кумулятивной струи, м; ρ_c и ρ_n – плотности материалов кумулятивной струи и конструкции кг c^2/m^4 .

При проникании кумулятивной струи в конструкцию двухслойной преграды величина l_{np} определяется по формуле:

$$l_{np} = \varphi_2 l_{эф} \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_2}} + \frac{\delta_1}{\cos \alpha} \left(1 - \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \right), \quad (11)$$

где φ_1 и φ_2 – коэффициенты, соответственно для материалов первого и второго слоя; δ_1 – толщина первого слоя, м; ρ_1 и ρ_2 – плотности материалов первого и второго слоев преграды кг c^2/m^4 ; α – угол встречи, град.

Глубина проникания кумулятивной струи в преграду определяется по формуле:

$$H_{np} = l_{np} \cos \alpha. \quad (12)$$

Таким образом, если в результате проникающего или кумулятивно-фугасного (тандемного) действия $H_{np} < H_k$, то в результате проникания боеприпас остановился в i -том слое конструкции, и в этом случае осуществляется расчет фугасного действия боеприпаса в защитной толще сооружения.

Рассмотрим фугасное действие боеприпаса в третьей части представленной модели.

Глубина суммарной воронки, образованной ударным и последующим за ним фугасным действием, складывается из полной глубины проникания H_{np} в защитную конструкцию укрытия и глубины взрывной воронки $h_{вз}$:

$$h_{вп} = H_{np} + h_{вз}. \quad (13)$$

Глубина взрывной воронки, может быть выражена формулой:

$$h_{вз} = r_{вз} - L_c, \quad (14)$$

где L_c – расстояние от центра тяжести боевой части боеприпаса до наиболее углубившейся в слой части боеприпаса.



Определения радиуса взрыва в слоистой среде защитной толщии укрытия, состоящей из различных материалов, применяется, по существу, тот же прием, что и при определении глубины проникания боеприпаса в слоистую среду защитной толщии. Определяется радиус взрыва $r_{\text{вз.}i}$ для i -того слоя конструкции защитной толщии в котором остановился боеприпас. Если $r_{\text{вз.}i} > (\delta_i - h_i) + L_c$, следовательно, действие взрыва распространяется и на нижележащие слои, а разность $r_{\text{вз.}i} - (\delta_i - h_i) + L_c$ приводят к материалу нижележащего слоя. Для этого ее умножают на отношение коэффициентов $K_{\text{вз.}i+1}$ и $K_{\text{вз.}i}$ податливости среды взрыву нижележащего слоя и слоя, в котором остановился боеприпас. То есть в рассмотренном случае действие взрыва распространяется на двухслойную среду. Если полученная величина $r_{\text{вз.}i+1}$ окажется больше толщии нижележащего слоя δ_{i+1} , ($r_{\text{вз.}i+1} > \delta_{i+1}$) то разность между ними $r_{\text{вз.}i+1} - \delta_{i+1}$ приводит к распространению взрыва на трехслойную среду. Далее расчеты выполняются до тех пор. Пока разность $r_{\text{вз.}i+n} - \delta_{i+n}$ для n -го слоя не получит отрицательного значения. Таким образом, радиус взрыва для двухслойной среды может быть выражен формулой:

$$r_{\text{вз.}i+1} = (\delta_i - h_i) + L_c + (r_{\text{вз.}i} - (\delta_i - h_i) + L_c) \cdot \frac{K_{\text{вз.}i+1}}{K_{\text{вз.}i}}. \quad (15)$$

Для трехслойной среды имеем:

$$r_{\text{вз.}i+2} = (\delta_i - h_i) + L_c + \delta_{i+1} + \left[(r_{\text{вз.}i} - (\delta_i - h_i) + L_c) \cdot \frac{K_{\text{вз.}i+1}}{K_{\text{вз.}i}} - \delta_{i+1} \right] \frac{K_{\text{вз.}i+2}}{K_{\text{вз.}i+1}}. \quad (16)$$

Для трехслойной среды, с учетом полуактивной защиты, в формулу (16) вводим величину s_3 , зависящую от высоты дополнительного этажа над ограждающими конструкциями сооружения. Следовательно, формула примет следующий вид:

$$r_{\text{вз.}i+2} = (\delta_i - h_i) + L_c + \delta_{i+1} + \left[(r_{\text{вз.}i} - (\delta_i - h_i) + L_c) \cdot \frac{K_{\text{вз.}i+1}}{K_{\text{вз.}i}} - \delta_{i+1} \right] \frac{K_{\text{вз.}i+2}}{K_{\text{вз.}i+1}} - s_3. \quad (17)$$

При $h_{\text{вз.}} > H_k$, вероятность безвозвратных повреждений техники в защитном укрытии принимается равной единице $P_1 = 1$, что обусловлено разрушающим действием ПВ и УВ в замкнутом пространстве укрытия, то есть:

$$P_1 = \begin{cases} 1, h_{\text{вз.}} > H_k \\ 0, h_{\text{вз.}} \leq H_k \end{cases}. \quad (18)$$

При $h_{\text{вз.}} = H_k$, часть энергии взрыва затрачивается на образование пластических и хрупких деформаций в зоне разрушения конструктивного железобетонного несущего слоя защитного сооружения. В этом случае принято считать, что вероятность получения техникой в защитном укрытии боевых повреждений не менее сильных принимается равной единице $P_2 = 1$, то есть:



$$P_2 = \begin{cases} 1, h_{ep} = H_k \\ 0, h_{ep} < H_k \end{cases} \quad (19)$$

Вывод. На выходе модели формируется количество оборудования и агрегатов i -того типа, получивших безвозвратные и сильные степени боевых повреждения ВБ противника в t -тый момент времени боевых действий в z -том защитном укрытии u - того типа с помощью выражения вида:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T N_{\text{bn.it}}^{zu} = \sum_{i=1}^{N_{\text{бит}}} \sum_{t=1}^T P_{1Titk}^{zu} + \sum_{i=1}^{N_{\text{бит}}} \sum_{t=1}^T P_{2Titk}^{zu}, \quad (20)$$

где P_{1it}^{zu} и P_{2it}^{zu} – вероятность безвозвратной и не менее сильной степени боевого повреждения соответственно оборудования и агрегатов i -того типа, ВБ противника в t -тый момент времени боевых действий в z -том защитном укрытии u - того типа участка в ходе воздействия ВТО противника по площади.

Таким образом, в результате воздействия ВБ противника по ЗПУ и выполнению при этом граничных условий по ударному, кумулятивному и фугасному воздействию, техника будет получать в основном безвозвратные и сильные степени боевых повреждений. Введение полуактивной защиты позволит исключить сквозного пробития защитных конструкций сооружения, а наличие свободного объема пространства над и под поворачиваемыми отражателями, обеспечивает рассеяние энергии взрыва и кумулятивного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябинин И.А., Парфенов Ю.М. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем. СПб.: ВМА, 1997. 432 с.
2. Ашкенази В.О. Применение теории игр в военном деле. М.: Советское радио, 1961. 361 с.
3. Мясников Е.В. Высокоточное оружие и стратегический баланс, Центр по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ, Долгопрудный, ноябрь 2000. 43 с.
4. Власов Л.А. Конструкции авиационных средств поражения. Учеб. пособие / Под ред. М.Я. Водопьянова. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2004. 122 с.
5. Соловей Э.Я., Храпов А.В. Динамика систем наведения управляемых авиабомб. М.: Машиностроение, 2006. 328 с.

REFERENCES

1. Riabinin I.A., Parfenov JU.M. Nadezhnost', zhivuchest' i bezopasnost' korabel'nykh elektroenergeticheskikh sistem. SPb.: VMA, 1997. 432 s.
2. Ashkenazi V.O. Primenenie teorii igr v voennom dele. M.: Sovetskoe radio, 1961. 361 s.
3. Miasnikov E.V. Vysokotochnoe oruzhie i strategicheskii ballans, Tsentr po izucheniu problem razoruzheniia, energetiki i ekologii pri MFTI, Dolgoprudnyi, noiabr' 2000. 43 s.
4. Vlasov L.A. Konstrukcii aviacionnykh sredstv porazhenija. Ucheb. posobie / Pod red. M. JA. Vodop'janova. SPb.: Balt. gos. tekhn. un-t, 2004. 122 s.



5. Solovei E.Ya., Khrapov A.V. Dinamika system navedeniia upravliaemykh aviabomb. М.: Mashinostroenie, 2006. 328 s.

© Озерной Н.А., Крымов А.В., Дронов В.В., 2017

Озерной Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры защитных сооружений факультета инженерно-аэродромного обеспечения, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Крымов Алексей Викторович, адъюнкт кафедры защитных сооружений факультета инженерно-аэродромного обеспечения, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Дронов Владимир Владимирович, адъюнкт кафедры защитных сооружений факультета инженерно-аэродромного обеспечения, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru