

**МЕТОДИКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
УДАРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ  
И ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ**

**METHODOLOGY FOR INTEGRAL ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS  
OF STRIKE COMPLEXES OF ARMAMENTS AND MILITARY EQUIPMENT  
AND MILITARY FORMATIONS**

*А.И. Буравлев<sup>1</sup>, академик РАН Г.И. Горчица<sup>2</sup>, чл.-корр. РАН В.Д. Степанов<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> 46 ЦНИИ МО РФ, <sup>2</sup> РАН, <sup>3</sup> ОКБ Сухого ПАО «Компания «Сухой»*

*A.I. Buravlev, G.I. Gorchitsa, V.D. Stepanov*

В статье рассмотрен методический подход к формированию интегральной оценки эффективности — боевого потенциала ударных комплексов и воинских формирований. В основу подхода положены ключевые показатели боевой эффективности — вероятность и связанная с ней интенсивность поражения объектов, зависящие от тактико-технических характеристик комплекса, условий его боевого применения, уязвимости объектов поражения. Предлагается использовать интенсивность поражения объектов в качестве единого показателя боевого потенциала ударных комплексов и воинских формирований. Данный подход позволяет проводить оценку боевой эффективности ударных комплексов и воинских формирований с единых методических позиций и применять для этого известные модели исследования операций.

**Ключевые слова:** ударный комплекс, интенсивность поражения объектов, боекомплект средств поражения, боевой потенциал, воинское формирование, типаж ударных комплексов.

The article considers a methodological approach to the formation of an integral assessment of the effectiveness — of the combat potential of strike complexes and military formations. The approach is based on key indicators of combat effectiveness — the probability and associated intensity of destruction of objects, depending on the tactical and technical characteristics of the complex, the conditions of its combat use, the vulnerability of the targets. It is proposed to use the intensity of the destruction of objects as a single indicator of the combat potential of strike complexes and military formations. This approach makes it possible to evaluate the combat effectiveness of strike complexes and military formations from a single methodological position and apply well-known models of operations research for this purpose.

**Keywords:** strike complex, intensity of destruction of objects, ammunition of means of destruction, combat potential, military formation, type of strike complexes.

Основу современных систем вооружения различного назначения составляют ударные комплексы (УК), осуществляющие поражение объектов противника [1–5]. Объектами поражения выступают аналогичные комплексы воору-

жения и военной техники (ВВТ) и объекты военной инфраструктуры, а также объекты промышленного и оборонного значения противника.

Боевые возможности УК характеризуются вероятностью поражения  $W(\Delta t)$  или средним

числом пораженных целей  $\bar{N}_{Ц}(\Delta t)$  противника с заданной степенью поражения ( $A, B, C$ ) за определенный интервал боевых действий  $\Delta t$  [5]. Между этими показателями существует зависимость

$$\bar{N}_{Ц}(\Delta t) = N_{Ц}W(\Delta t),$$

где  $N_{Ц}$  — количество целей противника.

При относительно небольших значениях интервала  $\Delta t$  ( $\frac{\Delta t}{T_{ОП}} \ll 1$ ) вероятность поражения цели приближенно можно выразить соотношением

$$W(\Delta t) \approx \lambda \Delta t,$$

где  $\lambda$  — интенсивность поражающего действия ударного комплекса по объектам противника;

$T_{ОП}$  — время операции.

Такое представление широко используется в теории исследования операций и боевой эффективности и в практике решения прикладных задач [1, 6, 7].

$\lambda$ -характеристика зависит от скорострельности оружия, точности стрельбы и эффективности действия средств поражения (СП), уязвимости целей и других факторов, определяющих условия и результат боевого применения УК. Для одиночного комплекса ВВТ она практически остается неизменной в пределах заданного технического ресурса и штатных условий его эксплуатации. При моделировании боевых действий именно  $\lambda$ -характеристика является ключевым параметром в вероятностных моделях, описываемых уравнениями «динамики средних» Ланчестера [1], уравнениями Колмогорова [1, 8], стохастическими дифференциальными уравнениями [9].

Именно поэтому интенсивность поражающего действия  $\lambda$  ударного комплекса может выступать в качестве представительной характеристики боевых возможностей комплекса ВВТ или его боевого потенциала. Во многих известных работах по теории боевой эффективности [5, 6, 10, 13] «боевой потенциал» рассматривается как интегральный показатель боевой эффективности комплексов ВВТ, несмотря на различные подходы и методики его количественного определения.

Рассмотрим методический подход к оценке боевого потенциала УК, основанный на использовании  $\lambda$ -характеристики. Эта характеристика может быть определена для любого комплекса ВВТ по его основным тактико-техническим характеристикам и условиям боевого применения по типовым военным и промышленным объектам.

В ходе боевых действий комплекс ВВТ может применяться для поражения различных объектов с различной частотой  $\rho_i \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^n \rho_i = 1$ . Частота применения комплекса характеризует важность объектов поражения с точки зрения достижения целей боевых действий и может изменяться во времени через периоды  $\Delta t$ .

Для поражения объектов противника в составе боевого комплекта УК имеется  $l$  типов СП. Для каждого объекта поражения (ОП) и типа СП методами теории боевой эффективности [1, 2, 5–7] может быть рассчитано среднее необходимое число СП  $j$ -го типа  $\omega_{ij}$ ,  $j = 1, l$  для поражения  $i$ -го объекта с заданной вероятностью. Тогда при наличии в составе боекомплекта комплекса  $M_j$  СП  $j$ -го типа можно рассчитать среднее число пораженных целей  $i$ -го типа за период боевого применения  $\Delta t$  с учетом целераспределения СП

$$\gamma_{ij} > 0, \quad \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} = 1;$$

$$\bar{N}_{Цi}(\Delta t) = \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} \frac{M_j(\Delta t)}{\omega_{ij}}.$$

При известной численности поражаемых объектов  $N_{Цi}$ ,  $i = 1, n$  нетрудно определить значение вероятности поражения единичного объекта определенного типа

$$W_i(\Delta t) = \min \left( \frac{\bar{N}_{Цi}(\Delta t)}{N_{Цi}}, 1 \right)$$

и соответствующее значение интенсивности поражающего действия  $\lambda_i = \frac{W_i(\Delta t)}{\Delta t}$ .

Поскольку число целей  $N_{Цi}$ , планируемых к поражению, изменяется с течением времени, то интенсивность поражения также изменяется во времени  $\lambda_i = \lambda_i(t)$ .

С учетом частоты применения комплекса по разным объектам среднее число пораженных объектов за время  $\Delta t$  составит:

$$\bar{\lambda} = \sum_{i=1}^n \rho_i \frac{W_i(\Delta t)}{\Delta t} = \sum_{i=1}^n \rho_i \lambda_i(t), \quad (1)$$

где

$$\lambda_i(t) = \frac{\sum_{j=1}^l \gamma_{ij} M_j(\Delta t)}{N_{\text{Цв}}(t)} = \frac{\sum_{j=1}^l \lambda_{ij} v_j}{N_{\text{Цв}}(t)},$$

$\lambda_i(t)$  — интенсивность поражающего действия комплекса ВВТ по различным целям;

$$v_j = \frac{M_j(\Delta t)}{\Delta t} \text{ — скорострельность комплек-$$

са ВВТ  $j$ -м типом СП.

В процессе боевого применения УК возможно также его поражение противником с вероятностью  $q(t)$ . В этом случае в формулу (1) вводится вероятность противоположного события  $p_{\text{ж}}(\Delta t) = 1 - q(\Delta t)$ , характеризующая выживаемость комплекса. Для оценки вероятности поражения комплекса ВВТ необходимо моделировать противодействие противника. В первом приближении это можно оценить с помощью простейшей модели, основанной на допущении о пуассоновском потоке поражающих действий противника с интенсивностью  $\nu$ :

$$q(t) = 1 - e^{-\nu t}.$$

Аналогичным образом можно учесть влияние технической надежности комплекса ВВТ на его боевую эффективность путем введения в формулу (1) показателя оперативной готовности комплекса [14]:

$$K_{\text{ОГ}}(t + \Delta t) = K_{\Gamma}(t) p(\Delta t),$$

который учитывает вероятность технической готовности комплекса к боевому функционированию  $K_{\Gamma}(t)$  и вероятность его безотказной работы  $p(\Delta t)$  на расчетном интервале  $\Delta t$ . В практических задачах вероятность безотказной работы комплекса также рассчитывается по формуле

$$p(\Delta t) = e^{-\mu \Delta t}$$

при допущении о пуассоновском потоке отказов с интенсивностью  $\mu$ .

С учетом сказанного в качестве интегрального показателя боевой эффективности УК предлагается использовать среднее значение интен-

сивности поражения объектов за время боевых действий  $T_{\text{ОП}}$ :

$$\bar{\lambda}(T_{\text{ОП}}) = \frac{\Delta t}{T_{\text{ОП}}} \sum_{t=0}^{T_{\text{ОП}}} K_{\text{ОГ}}(t) [1 - q(t)] \bar{\lambda}(t),$$

где  $t = 1, 2, \dots, \frac{T_{\text{ОП}}}{\Delta t}$  — дискретный момент времени, для которого рассчитываются показатели эффективности УК, достигнутые на предыдущем расчетном интервале  $\Delta t$ ;

$$\bar{\lambda}(t) = \sum_{i=1}^n \rho_i(t) \lambda_i(t),$$

$\bar{\lambda}(t)$  — среднее значение интенсивности поражающего действия с учетом частоты применения комплекса по разным целям.

По данному интегральному показателю можно производить сравнение различных УК на заданном множестве целевых задач (поражения объектов) при заданных условиях применения.

При анализе эффективности боевого применения ВВТ необходимо также учитывать стоимость затрат на выполнение задачи, которая связана с подготовкой комплекса к применению, расходом СП, технического ресурса комплекса. Боекомплект (БК) СП является наиболее важным элементом боевого ресурса УК, поскольку непосредственно определяет результат достигаемого целевого эффекта (поражение объектов). Поэтому далее мы будем рассматривать именно этот вид ресурса. За время выполнения боевой задачи  $\Delta t$  может быть израсходовано  $M_i(\Delta t)$  СП по каждому типу объектов:

$$M_i(\Delta t) = \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} M_j(\Delta t) = \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} v_j \Delta t.$$

Если известна стоимость единичного СП  $j$ -го типа  $c_j$ , то минимальная стоимость затрат на поражение объектов противника  $i$ -го типа составит

$$C_i(\Delta t) = \sum_{j=1}^l c_j \gamma_{ij} M_j(\Delta t),$$

а средние затраты за операцию составят

$$\bar{C}(T_{\text{БД}}) = \frac{\Delta t}{T_{\text{БД}}} \sum_{t=0}^{T_{\text{БД}}} \sum_{i=1}^n \rho_i C_i(t).$$

В качестве показателя стоимости  $c_j$  целесообразно использовать стоимость закупки СП, выраженную в единицах стоимости комплекса ВВТ. В этом случае показатель  $c_j$  является безразмерным.

При сравнении комплексов необходимо учитывать как показатель боевой эффективности  $\bar{\lambda}$ , так и средние затраты  $\bar{N}$  по расходу СП. В результате возникает двухкритериальная задача оценки эффективности комплекса ВВТ по векторному показателю «боевая эффективность — стоимость»  $(\bar{\lambda}, \bar{C})$ . Критерием выбора в этом случае является  $(\max \bar{\lambda}, \min \bar{C})$ . Результатом решения этой задачи будет парето-оптимальное решение на множестве сравниваемых комплексов [15].

В прикладных задачах исследования операций и оценке эффективности комплексов ВВТ между компонентами векторного критерия  $(\bar{\lambda}, \bar{C})$ , как правило, выполняется условие монотонной согласованности

$$\bar{\lambda}_1 > \bar{\lambda}_2 \rightarrow \bar{C}_1 > \bar{C}_2.$$

В этом случае в качестве показателя сравнения можно использовать отношение показателей  $\frac{\bar{\lambda}}{\bar{C}}$  и критерий выбора  $\max_i \left( \frac{\bar{\lambda}}{\bar{C}} \right)$ , который является критерием «боевая эффективность — стоимость».

Далее рассматривается пример, иллюстрирующий применение изложенного выше подхода к оценке эффективности комплексов ВВТ.

Пример. Рассматривается  $m = 4$  варианта УК. Каждый УК оснащен боекомплектом из  $l = 3$  типов СП. Все УК предназначены для поражения  $n = 5$  типов объектов с определенной частотой  $\rho$  их поражения в ходе боевых действий. Известны показатели боевой эффективности СП по каждому типу цели  $\omega$  и стоимость единичного СП  $c$ , которые приведены в табл. 1, 2.

Расчеты, проведенные по изложенной методике для одного временного периода  $\Delta t$  боевой операции, приведены в табл. 3. В расчетах противодействие УК со стороны противника не учитывалось.

В столбцах по каждому типу ОП приведены значения среднего числа пораженных целей  $\bar{N}_{\omega i}$ ,  $i = 1, 5$  при допущении о равновероятном целераспределении  $\gamma_{ij} = \frac{1}{3}$  разнотипных СП по

объектам поражения. В правых столбцах приведены средние значения вероятностей поражения цели  $\bar{W}(\Delta t)$  боекомплектом СП, которые принимаются в качестве числовых значений боевого потенциала УК. В последнем столбце приведены значения показателя «эффективность — стоимость»  $\frac{\bar{W}}{\bar{C}}$ , где  $\bar{C}(\Delta t) = \sum_{j=1}^l \rho_j c_j M_j(\Delta t)$ .

Таблица 1

Данные по эффективности поражения объектов и стоимости СП

Тип СП	Тип ОП и среднее необходимое число СП для его поражения $\omega$					Стоимость СП $c$ , у.е.
	ОП1	ОП2	ОП3	ОП4	ОП5	
СП1	1,7	1,5	2,5	1,3	1,5	0,03
СП2	2,1	2	3	1,5	1,7	0,07
СП3	2	1,7	2,5	1,7	2	0,05

Таблица 2

Структура и численность боекомплекта УК

Тип СП	Тип УК			
	УК1	УК2	УК3	УК4
СП1	4	2	2	2
СП2	2	2	2	4
СП3	2	2	4	2
Боекомплект УК	8	8	8	8
Стоимость БК	0,36	0,3	0,4	0,44

**Результаты расчетов**

Показатели		Тип ОП					Вероятность поражения цели $\bar{W}(\Delta t)$	Показатель $\frac{\bar{W}}{\bar{C}}$
		ОП1	ОП2	ОП3	ОП4	ОП5		
Частота поражения ОП $\rho$		0,1	0,25	0,35	0,15	0,15		
Среднее число пораженных целей	УК1	0,54	0,61	0,38	0,70	0,61	0,535	1,49
	УК2	0,52	0,58	0,38	0,67	0,58	0,520	1,69
	УК3	0,52	0,59	0,38	0,65	0,56	0,515	1,29
	УК4	0,51	0,56	0,37	0,67	0,59	0,509	1,16

Анализ данных табл. 3 показал, что максимальное значение вероятности поражения цели  $\bar{W}$  достигается комплексом УК2 (рис. 1). Он же имеет и минимальную стоимость БК СП (рис. 2). Данный комплекс имеет также максимальное значение показателя «эффективность — стоимость» (рис. 3).

В случае изменения в ходе боевых действий условий боевого применения УК (частоты поражаемых объектов, структуры и численности БК, целераспределения СП и др.) будут изменяться соответствующим образом и показатели боевой эффективности и стоимости затрат. В этом случае необходимо проводить отдельный расчет для каждого интервала и результаты суммировать для всего периода боевых действий.

Таким образом, принимая в качестве интегрального показателя эффективности, т.е. боевого потенциала  $\Pi_{УК}$  ударного комплекса ВВТ, его ожидаемую интенсивность поражения целей  $\Pi_{УК} \equiv \lambda_{УК}$ , рассчитанную по множеству поражаемых объектов за время  $\Delta t$ , мы легко переходим к количественному определению боевого потенциала воинского формирования (ВФ)  $\Pi_{ВФ}$ , оснащенного соответствующими комплексами ВВТ

$$\Pi_{ВФ} = \bar{\lambda}_{УК} N_{УК}, \quad (2)$$

где  $N_{УК}$  — число УК в составе ВФ.

В процессе боевых действий изменяется численность УК за счет противодействия противника. Если известна численность УК противника и их боевой потенциал, то для моделирования противоборства сторон можно использо-

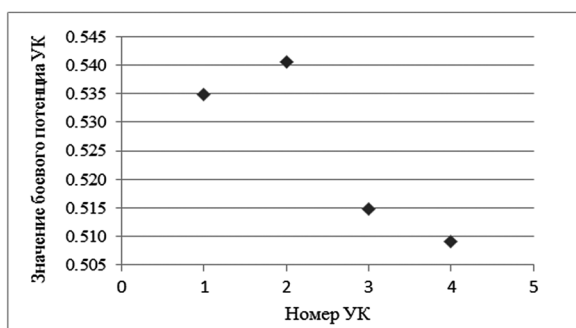


Рис. 1. Диаграмма значений показателя эффективности  $\bar{W}$

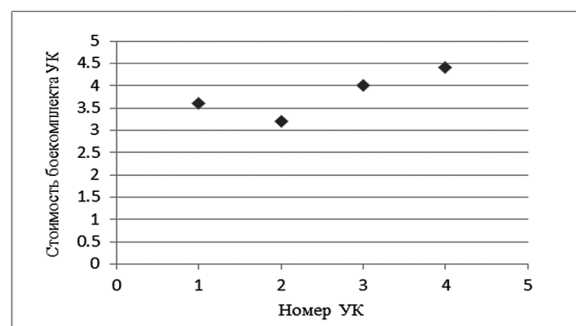


Рис. 2. Диаграмма значений стоимости боекомплекта УК  $\bar{C}$

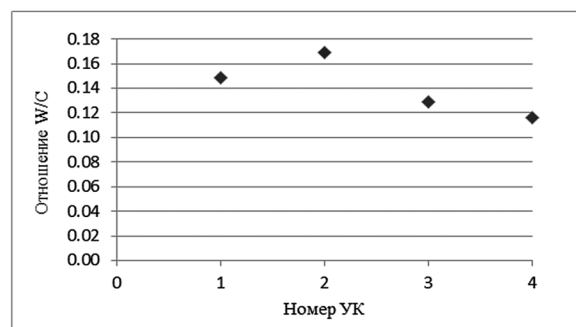


Рис. 3. Диаграмма значений показателя «эффективность — стоимость»  $\frac{\bar{W}}{\bar{C}}$

вать классическую модель «динамики средних» (типа А) [1]:

$$\frac{dN_{УК}^{(1)}}{dt} = -\bar{\lambda}_{УК}^{(2)} N_{УК}^{(2)}; \quad \frac{dN_{УК}^{(2)}}{dt} = -\bar{\lambda}_{УК}^{(1)} N_{УК}^{(1)} \quad (3)$$

с начальными условиями:  $t = 0, N_{УК}^{(1)}(0), N_{УК}^{(2)}(0)$ .  
Решение системы уравнений (3) с шагом  $\Delta t$  позволяет получить для каждого момента времени  $t + \Delta t$  численность УК противоборствующих сторон.

Систему уравнений (3) с помощью выражения (2) можно преобразовать в систему уравнений для боевых потенциалов ВФ

$$\frac{d\Pi_{ВФ}^{(1)}}{dt} = -\bar{\lambda}_{УК}^{(1)} \Pi_{ВФ}^{(2)}; \quad \frac{d\Pi_{ВФ}^{(2)}}{dt} = -\bar{\lambda}_{УК}^{(2)} \Pi_{ВФ}^{(1)}$$

с начальными условиями:  $t = 0, \Pi_{ВФ}^{(1)}(0), \Pi_{ВФ}^{(2)}(0)$ .

Соотношение боевых потенциалов противоборствующих сторон представляет собой произведение соотношений боевых потенциалов УК и соотношений их численностей в составе ВФ

$$K_{ВФ} = \frac{\Pi_{ВФ}^{(1)}}{\Pi_{ВФ}^{(2)}} = \frac{\lambda_{УК}^{(1)}}{\lambda_{УК}^{(2)}} \times \frac{N_{УК}^{(1)}}{N_{УК}^{(2)}} = K_{УК} K_{СС}. \quad (4)$$

Формула (4) была предложена авторами работы [2] на основе интуитивных соображений, здесь она получена с использованием классической модели противоборства «динамики средних».

Для неоднородных ВФ, имеющих в своем составе  $m$  различных типов и разной численности УК возможно получение оценки боевого потенциала ВФ путем введения коэффициентов важности  $\alpha$  УК с их частотной интерпретацией, что было использовано для одиночного комплекса ВВТ.

В этом случае боевой потенциал неоднородного ВФ будет оцениваться суммой средневзвешенных значений потенциалов его компонент:

$$\Pi_{ВФ} = \sum_{k=1}^m \alpha_k \bar{\lambda}_{УК_k} N_{УК_k} = \sum_{k=1}^m \alpha_k \Pi_{УК_k};$$

$$\alpha_k > 0, \quad \sum_k \alpha_k = 1.$$

Для решения задачи обоснования оптимального состава и численности ВФ необходимо также ввести показатель стоимости УК  $C_{УК_k}$ ,  $k = \bar{1}, m$ , стоимости компонент ВФ

$$C_{ВФ} = \sum_{k=1}^m \alpha_k C_{УК_k} N_{УК_k}$$

и решать оптимизационную задачу следующего вида:

$$C_{ВФ} = \sum_{k=1}^m \alpha_k C_{УК_k} N_{УК_k} \rightarrow \min_{N_{УК_k}};$$

$$\Pi_{ВФ} = \sum_{k=1}^m \alpha_k \bar{\lambda}_{УК_k} N_{УК_k} \geq \Pi_{ВФ}^{зад}.$$

Эта задача линейного программирования имеет следующее решение:

$$N_{УК}^* = \begin{cases} \frac{\Pi_{ВФ}^{зад}}{\alpha^* \cdot \bar{\lambda}_{УК}^*} & \frac{\bar{\lambda}_{УК}^*}{C_{УК}^*} = \max_{1 \leq k \leq m} \left( \frac{\bar{\lambda}_{УК_k}}{C_{УК_k}} \right) \\ 0 & \frac{\bar{\lambda}_{УК}^*}{C_{УК}^*} < \max_{1 \leq k \leq m} \left( \frac{\bar{\lambda}_{УК_k}}{C_{УК_k}} \right) \end{cases}$$

Оптимальная структура ВФ включает в себя один тип УК в количестве  $\frac{\Pi_{ВФ}^{зад}}{\alpha^* \bar{\lambda}_{УК}^*}$  с максимальным показателем «эффективность — стоимость»  $\frac{\bar{\lambda}_{УК}^*}{C_{УК}^*} = \max_{1 \leq k \leq m} \left( \frac{\bar{\lambda}_{УК_k}}{C_{УК_k}} \right)$ . В случае появления других ограничений они включаются в исходную задачу, после чего ищется новое оптимальное решение.

Таким образом, предлагаемая авторами методика основана на классических методах теории боевой эффективности и исследования операций и реализуется с помощью несложного математического аппарата [12]. Методика может быть использована для оперативной оценки боевых возможностей комплексов ВВТ и ВФ в различных задачах военного планирования.

## Литература

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972. 552 с.
2. Волков С.В., Монсик В.Б., Попов И.С., Сибякин А.А. и др. Боевое применение и эффективность комплексов авиационного вооружения. Учебник. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1992. 237 с.

3. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория вооружения / Под ред. А.А. Рахманова. — М.: 46 ЦНИИ МО РФ, 2002. 111 с.
4. Журавлев А.В. Теория управления развитием вооружения. Ч.1. Основы общей теории вооружения. — М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2003. 223 с.
5. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. Военно-теоретический труд / Под ред. А.А. Бобрикова. Академия военных наук. — СПб., 2006. 424 с.
6. Буренок В.М., Брезгин В.С. и др. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники и их применение в задачах программно-целевого планирования / В кн. Методология программно-целевого планирования развития вооружения и военной техники. Часть 1, 2. / Коллектив авторов. Под ред. В.М. Буренка. — М.: Издательская группа «Граница», 2013. 520 с.
7. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности применения высокоточного оружия. — М.: ИД Академия Жуковского, 2018. 232 с.
8. Вентцель А.Д. Курс теории случайных процессов. — М.: Наука, 1975. 320 с.
9. Пугачев В.С. Дифференциальные стохастические системы. — М.: Наука, 1985. 560 с.
10. Брезгин В.С., Буравлев А.И. О методологии оценки боевых потенциалов вооружения и военной техники и воинских формирований // Военная мысль. 2010, № 8. 84 с.
11. Бонин А.С., Горчица Г.И. О боевых потенциалах образцов ВВТ, формирований и соотношениях сил группировок сторон // Военная мысль. 2010. № 4. С. 61–67.
12. Степанов В.Д., Скопец Г.М. О соотношении интегральных и векторных оценок боевой эффективности авиационных комплексов // Военная мысль. 2013. № 12. С. 10–21.
13. Горчица Г.И., Степанов В.Д. Проблема инвариантности интегральных оценок эффективности авиационных комплексов и пути ее решения // Известия РАН. 2020. № 4 (114). С. 48–54.
14. Надежность технических систем. Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. 606 с.
15. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето — оптимальные решения многокритериальных задач. — М.: Наука, 1982. 256 с.