



УДК 519.248
ГРНТИ 27.03.17

ВЕРОЯТНОСТНО-КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*В.М. УМЫВАКИН, доктор географических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*
*А.А. БОРОДИН, доктор технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*
*Е.А. ЛИННИК, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*
*А.В. ШВЕЦ
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье предлагается методический аппарат вероятностно-квалиметрического подхода к построению нелинейных частных и интегральной оценок риска невыполнения требований к качеству результата функционирования военно-технических систем.

Ключевые слова: военно-техническая система; результат функционирования; частные абсолютная, относительная и интегральная квалиметрические оценки; вероятностная интерпретация.

PROBABILISTIC AND QUALIMETRICAL MODELS OF MILITARY AND TECHNICAL SYSTEMS FUNCTIONING INTEGRATED EFFICIENCY EVALUATION

*V.M. UMYVAKIN, Doctor of Geographical Sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*A.A. BORODIN, Doctor of Technical Sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*E. A. LINNIK, Candidate of Technical Sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*A.V. SHVETS
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The methodical device of probabilistic and qualimetical approach to construction nonlinear private and integrated evaluation of risk of failure to meet requirements to quality of result of functioning of military and technical systems is offered in this article.

Keywords: military and technical system; result of functioning; private absolute, relative and integrated qualimetical estimates; probabilistic interpretation.

Введение. Ключевым понятием при анализе эффективности функционирования военно-технических систем (ВТС) является понятие цели. Поиск соответствия между системой и целью может осуществляться в двух направлениях. С одной стороны, цель может ставиться исходя из имеющихся возможностей системы. С другой, отправной точкой мо-



жет являться сама цель, для достижения которой выбирается или создается система, либо делается вывод, что этой цели достичь невозможно.

Будем считать, что цель достигнута системой, если полученный результат функционирования удовлетворяет определенным требованиям. Требования, предъявляемые к результату целенаправленного функционирования ВТС, могут иметь различную природу. К таким требованиям можно отнести:

1) количественно-временные требования к результату: фактическое время достижения цели не должно превышать планового; плановый объем работ по достижению цели должен быть выполнен полностью;

2) требования к затратам на получение результата: цель считается достигнутой, если фактические затраты на получение результата не превышают плановых;

3) требования к качеству результата. Предположим, что мы можем измерять это качество. Обозначим качество результата функционирования ВТС через $M \in [0,1]$. Тогда, если требования к качеству обозначить через $E \in [0,1]$, то это условие запишется в виде $M \geq E$.

Для измерения эффективности функционирования многоцелевых ВТС необходима агрегированная оценка степени соответствия/несоответствия полученного результата заданным требованиям к его качеству (интегральная квалиметрическая оценка). В настоящей статье предлагаются модели нелинейных частных и интегральной квалиметрических оценок результата функционирования ВТС, имеющих вероятностную интерпретацию.

Построение частных квалиметрических оценок результата функционирования военно-технических систем. Введем следующие обозначения: y_j – значение j -го частного показателя качества (ПК) результата функционирования ВТС, а через y_j^* – пороговое (предельно допустимое) значение, отражающее нормативное требование к качеству результата функционирования всех ВТС по j -му ПК. Поставим им в соответствие две безразмерные величины, принимающие значения из интервала $[0,1]$: $\mu_j = \mu_j(y_j)$ – частную абсолютную квалиметрическую оценку результата функционирования и $\varepsilon_j = \varepsilon_j(y_j^*)$ – соответствующий нормативный уровень по j -му ПК.

Будем считать, что качество результата функционирования ВТС удовлетворяет требованиям по j -му частному ПК, если выполняется неравенство $\mu_j \geq \varepsilon_j$. Значение ε_j определяется требованиями к качеству результата, количественно-временными требованиями, алгоритмом достижения цели и требованиями к затратам на получение результата. При этом требования к интегральному качеству результата E индуцируют требования ε_j к качеству результата для j -го ПК.

Преобразование ПК и соответствующих предельно допустимых значений к квалиметрической шкале $[0, 1]$ может осуществляться различными способами, например:

$$\mu_j = \left[\frac{(y_j^{\max} - y_j)}{(y_j^{\max} - y_j^{\min})} \right]^k, \quad (1)$$

$$\varepsilon_j = \left[\frac{(y_j^{\max} - y_j^*)}{(y_j^{\max} - y_j^{\min})} \right]^k, \quad (2)$$

где y_j^{\min} , y_j^{\max} – соответственно минимальное и максимальное значения j -го ПК.

При $k = 1$ имеем линейное преобразование, при $k \neq 1$ – нелинейное.

Частная относительная квалиметрическая оценка d_j результата функционирования ВТС по j -му ПК является функцией двух величин: ε_j и μ_j . Приведем вероятностную трактовку данной оценки как «риска невыполнения требований к качеству результата функционирования ВТС», которая должна удовлетворять следующим условиям [1–3]:

1) $0 < d_j < 1$ при $\mu_j \geq \varepsilon_j$;



- 2) $d_j=0$ при $\varepsilon_j=0, \mu_j>0$ (если к качеству результата не предъявляется никаких требований, то риск минимален);
- 3) $d_j=0$ при $\mu_j=1$ и $\mu_j>\varepsilon_j$ (риск минимален при максимальном уровне качества независимо от требований);
- 4) $d_j=1$ при $\mu_j=\varepsilon_j\neq 0$ (риск максимален при предельно низком уровне качества).

Покажем, что при $\mu_j\geq\varepsilon_j$ условиям 1)-4) удовлетворяет частная относительная квалиметрическая оценка d_j вида:

$$d_j = [\varepsilon_j(1 - \mu_j)] / [\mu_j(1 - \varepsilon_j)]. \tag{3}$$

Данная оценка позволяет вычислять условную вероятность события, состоящего в том, что требование E к интегральному качеству M результата функционирования ВТС не выполняется при выполнении требований к качеству результата по j -му частному ПК. Пусть A – событие, состоящее в том, что не выполнено требование к интегральному качеству, а B_j – событие, состоящее в том, что не выполнено требование к качеству результата функционирования ВТС по j -му ПК. Тогда $d_j = P(A | \bar{B}_j)$ – вероятность невыполнения требований к качеству результата функционирования ВТС при условии, что требования к качеству результата функционирования ВТС выполнены по j -му ПК, вычисляется по формуле [3]:

$$P(A | \bar{B}_k) = \frac{[1 - P(B_j / A)]P(B_j)}{P(B_j / A)[1 - P(B_j)]}. \tag{4}$$

Обозначим через $\varepsilon_j=P(B_j)$ – вероятность некачественности функционирования ВТС по j -му ПК, $\mu_j=P(B_j|A)$ – вероятность некачественности функционирования ВТС по j -му ПК при условии, что требования к качеству результата функционирования ВТС не выполнены. Таким образом, формула (4) совпадает с формулой (3).

Доопределим частную относительную квалиметрическую оценку d_j следующим образом: 1) $d_j=1$ при $\mu_j=\varepsilon_j=1$; 2) $d_j=0$ при $\mu_j=\varepsilon_j=0$; 3) $d_j=1$ для всех $\mu_j < \varepsilon_j$. Отметим, что частная относительная квалиметрическая оценка d_j является убывающей функцией по μ_j и возрастающей по ε_j .

Вероятностно-квалиметрическая модель нелинейной интегральной квалиметрической оценки результата функционирования военно-технических систем. Приведем теоретическое обоснование необходимых свойств интегральной квалиметрической оценки результата функционирования ВТС, имеющей вероятностную интерпретацию. Пусть функционирование ВТС характеризуется только двумя частными ПК – y_1 и y_2 , а d_1 и d_2 – соответствующие частные относительные квалиметрические оценки по этим ПК. Обозначим через $d = d(d_1, d_2)$ интегральную квалиметрическую оценку, которая рассматривается как результат некоторой операции агрегирования над частными относительными оценками. Сформулируем основные априорные требования (аксиомы), лежащие в основе вероятностно-квалиметрического подхода к построению нелинейной (неаддитивной) интегральной оценки (интегрального критерия) [1, 2]:

1. *Коммутативность:* $d(d_1, d_2)=d(d_2, d_1)$. Свойство коммутативности характеризует равноценность или одинаковую важность частных оценок и изменение одной из них на некоторую величину изменяет интегральную оценку точно так же, как и изменение другой на ту же самую величину. Другими словами, коммутативность означает, что интегральная оценка зависит от всего множества частных оценок, т.е. не зависит от их порядка;



2. *Ассоциативность*: $d(d(d_1, d_2), d_3) = d(d_1, d(d_2, d_3))$. Смысл аксиомы ассоциативности в том, что в интегральной оценке агрегируются лишь частные относительные оценки, принадлежащие одному иерархическому уровню «дерева» качеств результата функционирования ВТС;

3. *Гладкость* – требование непрерывной зависимости интегральной оценки от частных относительных оценок. Далее функция $d(d_1, d_2)$ является многочленом.

В этом случае интегральная квалиметрическая оценка конструируется с помощью применения одной и той же бинарной ассоциативной и коммутативной операции к частным относительным оценкам и является целой аналитической функцией от них. Общий вид таких оценок получается из теоремы [1]:

Теорема. В классе многочленов от двух переменных существует лишь три (с точностью до постоянных коэффициентов) функции, для которых выполнены требования ассоциативности и коммутативности:

$$1) d = c = const; \quad (5)$$

$$2) d = d_1 + d_2 + c; \quad (6)$$

$$3) d = a(d_1 + d_2) + bd_1d_2 + a(a - 1)/b, \quad (7)$$

где a, b, c – произвольные константы, $b \neq 0$.

Доказательство теоремы основано на представлении функции $d(d_1, d_2)$ в виде двойного степенного выражения с учетом, которое подставляется в условие ассоциативности [4]. Учет аксиомы коммутативности и сравнение коэффициентов в обеих частях равенства приводят к функциям (5)–(7).

Первая форма бинарной операции агрегирования (свертки) не представляет интереса, т.к. в этом случае интегральная оценка не зависит от частных оценок. Вторая форма соответствует аддитивному интегральному критерию. Существенным недостатком данной интегральной оценки является невозможность описания с ее помощью взаимодействия отдельных частных оценок. Наибольший теоретический и практический интерес представляет третья форма – наличие коэффициента b в знаменателе дроби не позволяет отнести полученную функцию (7) к первой или второй бинарным операциям свертки. При $a = 0$ третья форма соответствует мультипликативному критерию, а при $a = 1$ принимает вид:

$$d = d_1 + d_2 + bd_1d_2. \quad (8)$$

В этом случае интегральная оценка формируется из суммы вкладов частных оценок и членов bd_1d_2 . Здесь коэффициент b определяет характер и результат взаимодействия пары «подсистем» – частных относительных квалиметрических оценок.

Введем дополнительные требования к виду интегральной квалиметрической оценки результата функционирования ВТС:

4. *Ограниченность*: $0 \leq d(d_1, d_2) \leq 1$ при $0 \leq d_1, d_2 \leq 1$. На практике часто задаются или предполагаются известными границы изменения аргументов (частных оценок) и функции (интегральной оценки). Далее рассматривается случай, когда аргументы и функция принимают значение из интервала $[0, 1]$, так как это позволяет проводить параллели с квалиметрией и теорией вероятности.

5. *Нейтральность* $d(d_1, 0) = d_1$, $d(0, d_2) = d_2$; $d(0, 0) = 0$, $d(1, 1) = 1$. При анализе взаимодействия двух «подсистем» (двух оценок) «общая эффективность» (интегральная оценка) совпадает с результатом функционирования лишь одной «подсистемы» в случае, если другая имеет минимальную эффективность.

Набору требований 1–5 удовлетворяет только интегральная оценка вида (8) при значении параметра $b = 1$:



$$d=d_1+d_2-d_1d_2=1-(1-d_1)(1-d_2). \quad (9)$$

Отметим, что формула (9) совпадает с формулой вероятности суммы двух совместных независимых событий. (Вероятность суммы двух совместных событий А и В вычисляется по формуле $P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB)$, а $P(AB)= P(A) P(B)$ для независимых событий). Это позволяет использовать данную бинарную операцию для агрегирования частных относительных оценок, имеющих вероятностный смысл.

В общем случае для m частных относительных квалиметрических оценок интегральная квалиметрическая оценка результата функционирования ВТС имеет следующую структуру [1–3]:

$$d = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j) . \quad (10)$$

Операцию, задаваемую функцией вида (10), будем называть обобщенным сложением (квазисложением) и обозначать символом \oplus : $d=d_1\oplus d_2$. Эта операция обладает всеми свойствами обычной операции сложения. Можно показать [1], что операция обобщенного умножения на произвольное неотрицательное число λ , которую обозначим символом \otimes , может быть введена в форме:

$$\lambda_j \otimes d_j = 1 - (1 - d_j)^{\lambda_j}. \quad (11)$$

Данная операция согласована с операцией квазисложения и удовлетворяет соотношениям вида: $1 \otimes d_j = d_j$, $\lambda_0 \otimes (d_1 \oplus d_2) = \lambda_0 \otimes d_1 \oplus \lambda_0 \otimes d_2$, $(\lambda_1 \oplus \lambda_2) \otimes d_j = \lambda_1 \otimes d_j \oplus \lambda_2 \otimes d_j$.

Подчеркнем, что формула (8) интегральной квалиметрической оценки получена в предположении коммутативности (равноценности) и ассоциативности (иерархической одноуровненности) частных относительных оценок. Использование весовых коэффициентов λ_j для «выравнивания» значимости частных квалиметрических оценок d_j само по себе противоречиво. Дело в том, что аксиома коммутативности уже предполагает равноценность этих оценок. Такого рода «равноправность» достигается единым способом измерения частных абсолютных квалиметрических оценок μ_j и нормативных уровней ε_j .

Поэтому некоммутативная аддитивная линейная свертка оценок d_1 и d_2 вида $\lambda_1 d_1 + \lambda_2 d_2$ становится коммутативной для величин $d'_1 = \lambda_1 d_1$ и $d'_2 = \lambda_2 d_2$. Рассмотрим конкретные способы «выравнивания» частных оценок d_j .

Из формул (3) и (11) для $\lambda_j > 0$ имеем:

$$[\varepsilon'_j(1-\mu'_j)]/[\mu'_j(1-\varepsilon'_j)] = (\varepsilon'_j/\mu'_j - \varepsilon'_j)/(1-\varepsilon'_j) = d'_j = \lambda_j \otimes d_j = 1 - (1 - d_j)^{\lambda_j}$$

Покажем, что здесь $\varepsilon'_j = 1 - (1 - \varepsilon_j)^{\lambda_j}$, $\mu'_j = [1 - (1 - \varepsilon_j)^{\lambda_j}] / [1 - (1 - \varepsilon_j/\mu_j)^{\lambda_j}]$. Действительно,

$$d'_j = [1 - (1 - \varepsilon_j/\mu_j)^{\lambda_j} - 1 + (1 - \varepsilon_j)] / (1 - \varepsilon_j)^{\lambda_j} = 1 - [(1 - \varepsilon_j/\mu_j) / (1 - \varepsilon_j)]^{\lambda_j} = 1 - [(1 - d_j)]^{\lambda_j}.$$

Таким образом, в общем случае интегральной квалиметрической оценке типа «общий риск недостижения требуемого качества результата функционирования ВТС» соответствует модель вида:



$$d^\lambda = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j}, \quad (12)$$

где λ_j – весовые коэффициенты частных оценок d_j , удовлетворяющие условию нормировки:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, m. \quad (13)$$

Подчеркнем, что интегральная квалиметрическая оценка d в формуле (12) при $\lambda_j=1/m$ является средней величиной в смысле ассоциативной средней по Колмогорову [5], которая вычисляется по формуле:

$$d(d_1, d_2, \dots, d_m) = \phi^{-1} \left(\frac{1}{m} \phi(d_1) + \frac{1}{m} \phi(d_2) + \dots + \frac{1}{m} \phi(d_m) \right).$$

Здесь ϕ – непрерывная строго монотонная функция, а ϕ^{-1} – функция, обратная к ней. При $\phi(d_j) = \ln d_j$ имеем среднюю геометрическую. Так в работе Э. Харрингтона [6] частными оценками являются экспоненциальные функции «желательности», а интегральная оценка есть среднее геометрическое этих частных оценок. В нашем случае $\phi(d_j) = -\ln(1-d_j)$, а величина d в формуле (12) является средней «квазигеометрической» величиной [3].

Средневзвешенное квазигеометрическое есть среднее по Коши [5], т.е. интегральная оценка d удовлетворяет условию [3]:

$$\min(d_1, d_1, \dots, d_m) \leq d^\lambda \leq \max(d_1, d_1, \dots, d_m).$$

При этом справедливо следующее соотношение [3]:

$$\left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j) \right] \geq \max_{j=1, 2, \dots, m} d_j \geq \left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j} \right] \geq \sum_{j=1}^m \lambda_j d_j \geq \prod_{j=1}^m d_j^{\lambda_j} \geq \min_{j=1, 2, \dots, m} d_j.$$

Следовательно, средневзвешенное квазигеометрическое является оценкой «сверху» для средневзвешенного арифметического и средневзвешенного геометрического и является неаддитивным обобщенным критерием, имеющим системный смысл («целое больше суммы частей его составляющих»).

Так как частные относительные квалиметрические оценки d_j имеют вероятностную интерпретацию, то с теоретико-информационной точки зрения [7] величина $I_j = I_j(d_j) = \ln[1/(1-d_j)]$ является мерой неопределенности информации – частной информационной оценкой. Укажем основные свойства оценок I_j :

- 1) $I_j=0$ при $d_j=0$;
- 2) $I_j \rightarrow \infty$ при $d_j \rightarrow 1$.

Интегральная информационная оценка имеет вид: $I = I(d^\lambda) = \ln[1/(1-d^\lambda)] = \sum_{j=1}^m \lambda_j I_j$.

Частная относительная квалиметрическая оценка d_j и частная информационная оценка I_j устроены так, что «улучшение» качества результата функционирования ВТС совпадает с уменьшением значений d_j и I_j . Определим величину d_e такую, что:



$$\bar{I}_j = \ln \frac{1}{1-d_e} - \ln \frac{1}{1-d_j} = \ln \frac{1-d_j}{1-d_e} = \ln \frac{1}{1-d_e} - I_j$$

При $d_e = 1 - \frac{1}{e} \approx 0.63$ имеет место равенство $\ln \frac{1}{1-d_e} = 1$. Поэтому для содержательной интерпретации квалиметрических оценок результата функционирования ВТС целесообразно использовать зеркальную вербально-числовую шкалу Харрингтона [6] (таблица 1), для которой число $d_e = 1 - 1/e \approx 0.63$ является особой точкой – точкой перехода системы в «некачественное» функциональное состояние.

Таблица 1 – Уровень риска невыполнения требований к качеству результата функционирования военно-технических систем

№ п/п	Содержательное описание градаций	Числовое значение
1	очень высокий	(0,8, 1)
2	высокий	(0,63, 0,8)
3	средний	(0,37, 0,63)
4	низкий	(0,2, 0,37)
5	очень низкий	(0, 0,2)

Заключение. В работе показано, что нелинейная интегральная квалиметрическая оценка результата функционирования ВТС отличается от аналогов тем, что:

- 1) методики построения частных относительных квалиметрических оценок входят составной частью в методику построения интегральной оценки;
- 2) частные относительные и интегральная квалиметрические оценки имеют вероятностную интерпретацию рисков невыполнения требований к качеству результата функционирования ВТС;
- 3) является средневзвешенной квазигеометрической величиной, имеющей системно-синергетический смысл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплинский А.И., Руссман И.Б., Умывакин В.М. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов системы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. 168 с.
2. Умывакин В.М., Швец А.В., Гедзенко М.О. Квалиметрия экологической опасности территорий военных природно-техногенных систем // Научные технологии. 2012. Т. 13. № 3. С. 34–39.
3. Зибров Г.В., Умывакин В.М., Швец А.В. Квалиметрические модели вербально-числового анализа экологической опасности территорий природно-хозяйственных геосистем // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2013. № 1. С. 112–118.
4. Леденева Т.М., Умывакин В.М., Швец А.В. Методологические основы построения неаддитивных квалиметрических моделей интегральной оценки экологического состояния природно-хозяйственных геосистем // Вестник факультета прикладной математики, информатики и механики. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. Вып. 13. С. 150–165.
5. Джини К. Средние величины. М.: Статистика, 1970. 448 с.



6. Harrington E.C., Jr. The desirability function. *Industrial quality control* // 1965. Vol. 21, 10. P. 494–498.
7. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. М.: ГИТТЛ, 1957. 160 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Kaplinsky A.I., Russman I.B., Umyvakin V.M. Modeling and algorithmization of weakly formalized task of choosing the best system options. Voronezh: VSU Publishing House, 1991. 168 p.
2. Umyvakin V.M., Shvets A.V., Gedzenko M.O. Kvalimetriya of ecological danger of territories of military natural and technogenic systems // *High technologies*. 2012. Vol. 13. No. 3. P. 34–39.
3. Zibrov G.V., Umyvakin V.M., Shvets A.V. Qualimetrical models of the verbal and numerical analysis of ecological danger of territories of natural and economic geosystems // *Bulletin of the Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies*. 2013. No. 1. P. 112–118.
4. Ledeneva T.M., Umyvakin V.M., Shvets A.V. Methodological bases of creation of non additive qualimetrical models of integrated assessment of an ecological state natural and economic geosystems // *Bulletin of the Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics*. Voronezh: VSU Publishing House, 2016. Iss. 13. P. 150–165.
5. Jeanie K. Average sizes. M.: Statistics, 1970. 448 p.
6. Harrington E.C., Jr. The desirability function. *Industrial quality control* // 1965. Vol. 21, 10. P. 494–498.
7. Yaglom A.M., Yaglom I.M. Probability and Information. M.: State Publishing House Technical and Theoretical Literature, 1957. 160 p.

© Умывакин В.М., Бородин А.А., Линник Е.А., Швец А.В., 2017

Умывакин Василий Митрофанович, доктор географических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), 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, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков д. 54А, vaiu@mil.ru

Бородин Алексей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры общевоенных дисциплин, 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

Линник Егор Алексеевич, кандидат технических наук, начальник управления – заместитель начальника центра научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), 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

Швец Алексей Владимирович, научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), 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, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков д. 54А, vaiu@mil.ru