



УДК 519.248  
ГРНТИ 27.03.17

## ПЕРЕСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

*В.М. УМЫВАКИН, доктор географических наук  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*  
*В.В. БОТАЛОВ, 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)*  
*А.Б. ДРОНОВ  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В работе рассматривается методика пересчета («корректировки») интегральных квалиметрических оценок результата функционирования ВТС военно-технических систем при получении дополнительной информации о «новых» состояниях.

*Ключевые слова:* сложная военно-техническая система; результат функционирования, интегральная квалиметрическая оценка изменений состояния.

## THE INTEGRAL MILITARY AND TECHNICAL SYSTEMS OPERATING RESULTS QUALIMETRIC ASSESSMENT RECALCULATION METHOD BASED ON THE NEW OBSERVATIONS

*V.M. UMYVAKIN, Doctor of Geographical Sciences,  
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*  
*V.V. BOTALOV, Candidate of Technical Sciences  
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*  
*A.V. SHVEC  
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*  
*A.B. DRONOV  
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

In the work the integral military and technical systems operating results qualimetric assessment recalculation (updating) method based on new operating states is considered.

*Keywords:* complex military and technical system, operating result quality, integral operating state changes qualimetric assessment.

В работах [2-3] для оценки качества результатов функционирования военно-технических систем (ВТС) предложена неаддитивная интегральная квалиметрическая оценка, которая является оригинальной средневзвешенной квазигеометрической величиной и может быть использована для целей мониторинга качества функциональных состояний. А именно, для оценки изменений качества результата функционирования ВТС с учетом дополнительной информации (наблюдений) о «новых» состояниях системы.



Цель работы – разработка метода «корректировки» интегральных оценок качества/некачественности результата функционирования ВТС для их инвариантной «переранжировки» при получении дополнительной информации о «новых» функциональных состояниях («новых» наблюдений). Инвариантность переранжировки означает, что новые наблюдения получают свою оценку в шкале интегральной квалиметрической оценки, выработанной для первоначального списка состояний ВТС без дополнительной информации.

Следуя работе [2], 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  $\mu_j \geq \varepsilon_j$ . Преобразование ПК и соответствующих предельно допустимых значений к квалиметрической шкале  $[0, 1]$  может осуществляться различными способами (таблица 1).

Таблица 1 – Различные виды частных абсолютных квалиметрических оценок и их нормативных уровней

№ п/п	Абсолютная оценка	Нормативный уровень
1	$\mu_j^i = \frac{a_j}{y_j^i}$	$\varepsilon_j = \frac{a_j}{y_j^*}$
2	$\mu_j^i = \frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j}$	$\varepsilon_j = \frac{b_j - y_j^*}{b_j - a_j}$
3	$\mu_j^i = \left[ \frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j} \right]^{\beta_j}$	$\varepsilon_j = \left[ \frac{b_j - y_j^*}{b_j - a_j} \right]^{\beta_j}$
4	$\mu_j^i = \frac{\exp(-\alpha(y_j^i - a_j)) - \exp(-\alpha(b_j - a_j))}{[1 - \exp(-\alpha(b_j - a_j))]}$	$\varepsilon_j = \frac{\exp(-\alpha(y_j^* - a_j)) - \exp(-\alpha(b_j - a_j))}{[1 - \exp(-\alpha(b_j - a_j))]}$
5	$\mu_j^i = \exp(-\exp(-z_j^i)),$ $z_j^i = \alpha_j y_j^i + \beta_j$	$\varepsilon_j = \exp(-\exp(-z_j^*)),$ $z_j^i = \alpha_j y_j^* + \beta_j$

Примечание:  $a_j, b_j$  – соответственно нижняя и верхняя границы интервала изменения  $j$ -го ПК;  $\alpha_j, \beta_j$  – параметры нелинейности

Частная относительная квалиметрическая оценка  $d_j$  результата функционирования ВТС по  $j$ -му ПК является функцией двух величин:  $\varepsilon_j$  и  $\mu_j$  и имеет следующий вид [1-3]:

$$d_j = [\varepsilon_j(1 - \mu_j)] / [\mu_j(1 - \varepsilon_j)]. \quad (1)$$

В общем случае с учетом неравноценности частных относительных квалиметрических оценок  $d_j$  интегральной квалиметрической оценке соответствует модель [1]:



$$d = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j}, \quad (2)$$

где  $\lambda_j$  – весовые коэффициенты частных оценок  $d_j$ , удовлетворяющие условию нормировки:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Покажем, что интегральные оценки  $d$  можно использовать для целей мониторинга качества результата функционирования ВТС. Пусть имеется «первоначальный» список из  $N$  функциональных состояний системы (наблюдений) средствами мониторинга получены  $L$  «новых» наблюдений, которым соответствуют значения  $y_j^i$  показателей качества,  $j=1, 2, \dots, m; i=N+1, N+2, \dots, N+L$ . Необходимо упорядочить весь имеющийся список  $(N+L)$  наблюдений по уровню качества результата функционирования с учётом первоначальной ранжировки состояний ВТС. Если в «первоначальном» ранжировании одно функциональное состояние ВТС лучше другого (или они эквивалентны) в смысле их качества, то новые наблюдения не должны изменить уже имеющееся отношение предпочтительности (эквивалентности). Таким образом, требуется пересчет интегральной квалиметрической оценки результата функционирования ВТС с учетом дополнительной информации.

Будем считать, что с получением новой информации может изменяться исходная экспертная информация, необходимая для построения интегральной квалиметрической оценки. А именно:

- 1) заданы новые интервалы изменения  $j$ -го ПК –  $[A_j, B_j]$ , где  $A_j \leq a_j$  и  $B_j \geq b_j$ ;
- 2) заданы новые предельно допустимые значения и новые нормативные уровни –  $Y_j^*, E_j$ .

Предполагается, что для каждого ПК остаются без изменения способ нормировки (см. таблицу 1) и значения весовых коэффициентов  $\lambda_j$  частных относительных оценок  $d_j$ . Для всего списка  $(N+L)$  наблюдений с учетом новой информации частная абсолютная квалиметрическая оценка  $M_j^i$  по  $j$ -му ПК для  $i$ -го состояния ВТС имеет вид аналогичный виду  $\mu_j^i$ :  $M_j^i = M_j^i(y_j^i, A_j, B_j)$ . Частная относительная  $D_j^i$  по  $j$ -му ПК и интегральная  $D^i$  квалиметрические оценки для  $i$ -го состояния ВТС вычисляются по формулам:

$$D_j^i = [E_j(1 - M_j^i)] / [M_j^i(1 - E_j)], \quad (4)$$

$$D^i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - D_j^i)^{\lambda_j}, \quad i = 1, 2, \dots, N+L; j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

При этом ранжировки первоначального списка  $N$  состояний систем по значениям  $D^i$  и  $d^i$  будут отличаться друг от друга.

Поэтому требуется определить интегральные квалиметрические оценки всех состояний систем с учетом дополнительной информации с сохранением первоначальной



ранжировки. Таким образом, необходимо «скорректировать» значения величин  $M_j^i$ , чтобы «вставить» новые наблюдения в ранжировку систем первой группы по значениям  $d^i$ . Для этого необходимо найти преобразование  $\hat{M}_j^i = F(M_j^i)$  и вычислить значения частных относительных  $\hat{D}_j^i$  и интегральной  $\hat{D}^i$  квалиметрических оценок результата функционирования ВТС:

$$\hat{D}_j^i = [E_j(1 - \hat{M}_j^i)] / [\hat{M}_j^i(1 - E_j)], \quad (6)$$

$$\hat{D}^i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \hat{D}_j^i)^{\lambda_j}. \quad (7)$$

Эти оценки обладают следующими свойствами: 1) если  $d^i > d^l$ , то и  $\hat{D}^i > \hat{D}^l$ ; 2) если  $d^i = d^l$ , то и  $\hat{D}^i = \hat{D}^l$ ,  $i, l = 1, 2, \dots, N$ . Можно показать, что скорректированная абсолютная квалиметрическая оценка  $\hat{M}_j^i$  по  $j$ -му ПК для  $i$ -го состояния ВТС вычисляется по следующей формуле [3]:

$$\hat{M}_j^i = E_j / [1 - \gamma_j(1 - \varepsilon_j / \mu_j^i)], \quad (8)$$

где  $\gamma_j$  – некоторая неотрицательная величина.

В таблице 2 представлены формулы «корректировки» для некоторых видов этих оценок.

Таблица 2 – Формулы корректировки частных абсолютных квалиметрических оценок

№ п/п	Способы нормировки	Скорректированная абсолютная оценка
1	$\mu_j^i = \frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j}, M_j^i = \frac{B_j - y_j^i}{B_j - A_j}$	$\hat{M}_j^i = E_j / [1 - \gamma_j(1 - \varepsilon_j / (p_j M_j^i + q_j))]$ , где $p_j = (B_j - A_j) / (b_j - a_j), q_j = (b_j - B_j) / (b_j - a_j),$ $0 \leq \gamma_j \leq [1 - E_j] / [1 - \varepsilon_j(b_j - a_j) / (b_j - A_j)]$
2	$\mu_j^i = \left[ \frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j} \right]^{\beta_j}, M_j^i = \left[ \frac{B_j - y_j^i}{B_j - A_j} \right]^{\beta_j}$	$\hat{M}_j^i = E_j / [1 - \gamma_j(1 - \varepsilon_j / [p_j (M_j^i)^{1/k} + q_j]^k)]$ , где $p_j = (B_j - A_j) / (b_j - a_j), q_j = (b_j - B_j) / (b_j - a_j),$ $0 < \gamma_j \leq [1 - E_j] / [1 - \varepsilon_j(p_j + q_j)^k]$

Рассмотрим модельный пример применения интегральных оценок  $d^i$  для оценки изменения качества функционирования ВТС с учетом дополнительной информации (наблюдений) о состоянии «новых» систем. Пусть качество функционирования ВТС оценивается двумя показателями:  $y_1, y_2$ . В таблице 3 представлены исходные данные, промежуточные расчеты и итог построения интегральной квалиметрической оценки результатов функционирования первоначального списка состояний ВТС.

К первоначальному списку состояний ВТС были добавлены три «новых» наблюдения с номерами 11-13. В таблице 4 приведен итог построения интегральной квалиметрической оценки результатов функционирования ВТС с дополнительной информацией.

Первоначальная ранжировка состояний ВТС имеет следующий вид: 2, 7, 10, 8, 3, 6, 4, 1, 5, 9; а для списка с дополнительной информацией – 12, 2, 7, 10, 8, 13, 3, 6, 4, 1, 5, 9, 11 (полу жирным начертанием выделены системы, добавленные в первоначальный



список). Таким образом, для элементов первоначального списка ранжировка сохранилась, т.е. «новые» наблюдения «добавились» в первоначальную ранжировку.

Таблица 3 – Показатели качества, частные абсолютные, относительные и интегральная квалиметрические оценки результатов функционирования первоначального списка состояний военно-технических систем

№ П/П	$y_1$	$y_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$d_1$	$d_2$	$d$	Ранг
1	94	75	0,310	0,255	0,176	0,245	0,212	8
2	56	48	0,953	0,939	0,004	0,005	0,005	1
3	82	70	0,513	0,381	0,075	0,136	0,106	5
4	89	76	0,395	0,229	0,122	0,281	0,206	7
5	92	81	0,344	0,103	0,151	0,732	0,523	9
6	98	71	0,243	0,356	0,248	0,151	0,201	6
7	87	50	0,429	0,888	0,106	0,011	0,059	2
8	88	54	0,412	0,787	0,113	0,023	0,069	4
9	107	73	0,090	0,305	0,798	0,191	0,596	10
10	88	53	0,412	0,812	0,113	0,019	0,068	3

Таблица 4 – Показатели качества, частные абсолютные, относительные и интегральная квалиметрические оценки результатов функционирования военно-технических систем с дополнительной информацией

№ П/П	$y_1$	$y_2$	$\mu_1$	$M_1$	$\hat{M}_1$	$\mu_2$	$M_2$	$\hat{M}_2$	$\hat{D}_1$	$\hat{D}_2$	$\hat{D}$	Ранг
1	94	75	0,310	0,323	0,245	0,255	0,319	0,057	0,256	0,360	0,310	10
2	56	48	0,953	0,908	0,454	0,939	0,894	0,122	0,100	0,156	0,129	2
3	82	70	0,513	0,508	0,336	0,381	0,426	0,075	0,165	0,267	0,217	7
4	89	76	0,395	0,400	0,287	0,229	0,298	0,053	0,207	0,390	0,305	9
5	92	81	0,344	0,354	0,263	0,103	0,191	0,027	0,233	0,773	0,583	11
6	98	71	0,243	0,262	0,206	0,356	0,404	0,072	0,321	0,280	0,301	8
7	87	50	0,429	0,431	0,302	0,888	0,851	0,119	0,192	0,160	0,177	3
8	88	54	0,412	0,415	0,295	0,787	0,766	0,113	0,199	0,171	0,185	5
9	107	73	0,090	0,123	0,092	0,305	0,362	0,065	0,818	0,313	0,646	12
10	88	53	0,412	0,415	0,295	0,812	0,787	0,115	0,199	0,168	0,184	4
11	109	88	-	0,092	0,092	-	0,043	0,043	0,819	0,489	0,696	13
12	88	45	-	0,415	0,415	-	0,957	0,957	0,117	0,001	0,061	1
13	101	79	-	0,215	0,215	-	0,234	0,234	0,304	0,071	0,196	6

Таким образом, в работе показано применение интегральной квалиметрической оценки для оценки изменений качества результата функционирования ВТС с учетом дополнительной информации (наблюдений) о «новых» состояниях системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплинский А.И., Руссман И.Б., Умывакин В.М. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов системы. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1991. 168с.
2. Умывакин В.М., Бородин А.А., Линник Е.А. Швец А.В. Вероятностно-квалиметрические модели интегральной оценки эффективности функционирования во-



енно-технических систем // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 1 (1). С. 164-171.

3. Умывакин В.М., Бородин А.А., Швец А.В. Квалиметрическая модель интегральной оценки безопасности функционирования военно-технических систем // Журн. Сибир. федер. ун-та. Техника и технологии. 2017. Т. 10, № 2. С. 235-248.

#### REFERENCES

1. Kaplinskiĭ A.I., Russman I.B., Umyvakin V.M. Modelirovanie i algoritmizatsiia slaboformalizovannykh zadach vybora nailuchshikh variantov sistemy. Voronezh: Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, 1991. 168s.

2. Umyvakin V.M., Borodin A.A., Linnik E.A. Shvets A.V. Veroiatnostno-kvalimetricheskie modeli integral'noi otsenki effektivnosti funktsionirovaniia voenno-tekhnicheskikh sistem // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriia i praktika. 2017. № 1 (1). С. 164-171.

3. Umyvakin V.M., Borodin A.A., Shvets A.V. Kvalimetricheskaia model' inte-gral'noi otsenki bezopasnosti funktsionirovaniia voenno-tekhnicheskikh sistem // Zhurn. Sibir. feder. un-ta. Tekhnika i tekhnologii. 2017. Т. 10, № 2. С. 235-248.

© Умывакин В.М., Боталов В.В., Швец А.В., Дронов А.Б., 2017

«Воздушно-космические силы. Теория и практика». Материал поступил в редколлегию 17.06.2017 г.

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, vaiu@mil.ru

Боталов Владимир Валерьевич, кандидат технических наук, начальник отдела – заместитель начальника управления 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, vaiu@mil.ru

Дронов Александр Борисович инженер-программист 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