



УДК 519.248
ГРНТИ 27.03.17

МНОГОВАРИАНТНЫЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА РЕЗУЛЬТАТА 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.В. ШВЕЦ
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Ж.А. СТРЕБКОВА
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Ю.Ю. МАРТЫНОВА
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье рассматривается многовариантный подход к построению частных абсолютной, относительной и интегральной квалиметрических оценок результата функционирования военно-технических систем.

Ключевые слова: военно-техническая система; результат функционирования; частные абсолютная; относительная и интегральная квалиметрические оценки; морфологическая схема построения.

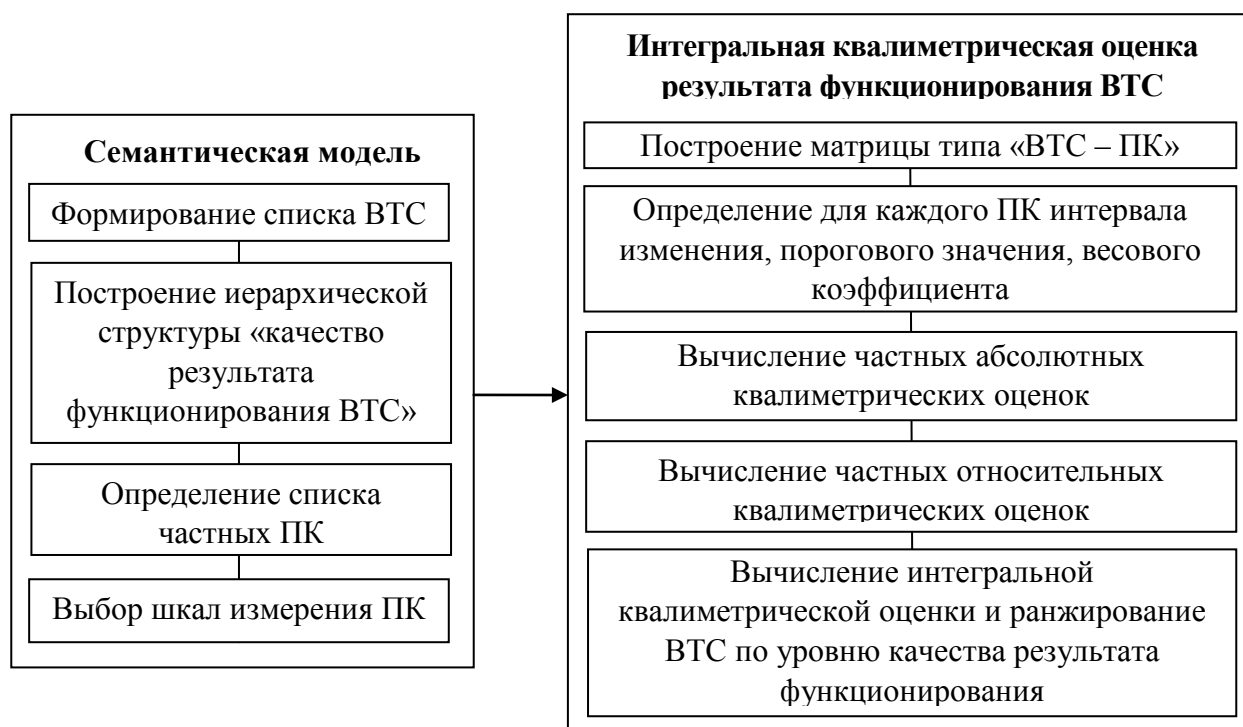
A MULTIVARIATE APPROACH TO THE MILITARY TECHNICAL SYSTEMS OPERATION RESULT QUALITY INTEGRAL ESTIMATION

*V.M. UMYVAKIN, Doctor of Geographical 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)
ZH.A. STREBKOVA
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
YU.YU. MARTYNOVA
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The article deals with a multivariate approach to the construction of partial absolute, relative and integral qualimetric estimates of the military-technical systems functioning result.

Keywords: military-technical system; result of functioning; partial absolute; relative and integral qualimetric estimations; construction morphological scheme.

В работах [1-3] для определения качества результата функционирования военно-технических систем (ВТС) предложена неаддитивная интегральная квалиметрическая оценка. Основные этапы многовариантного построения данной оценки представлены на рисунке 1.



ВТС – военно-техническая система; ПК – показатель качества
Рисунок 1 – Схема построения интегральной квалиметрической оценки результата функционирования военно-технических систем

Пусть $\{O^1, O^2, \dots, O^N\}$ – совокупность ВТС, $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – множество их частных показателей качества (ПК), y_j^i – значение j -го частного ПК для i -й ВТС, y_j^* – предельно допустимое значение, отражающее нормативное требование к качеству по j -му ПК для всех ВТС. Исходные величины y_j^i и y_j^* преобразуются к безразмерным величинам из интервала $[0, 1]$: $\mu_j^i = \mu_j^i(y_j^i)$ – частной абсолютной оценке качества результата функционирования по j -му ПК для i -й ВТС; $\varepsilon_j = \varepsilon_j(y_j^*)$ – соответствующему нормативному уровню качества по j -му ПК. Будем считать, что требование к качеству по j -му ПК для i -й ВТС выполнено, если $y_j^i \leq y_j^*$ или $\mu_j^i \geq \varepsilon_j$.

Построение частной абсолютной квалиметрической оценки μ_j^i и соответствующих нормативных уровней ε_j может осуществляться различными способами, например:

$$\mu_j^i = a_j / y_j^i, \quad \varepsilon_j = a_j / y_j^* \quad (1)$$

$$\mu_j^i = \left[(b_j - y_j^i) / (b_j - a_j) \right]^k, \quad \varepsilon_j = \left[(b_j - y_j^*) / (b_j - a_j) \right]^k, \quad (2)$$

где a_j, b_j – соответственно нижняя и верхняя границы интервала изменения j -го ПК, $j = 1, 2, \dots, m$.

При $k = 1$ имеем линейное преобразование интервала $[a_j, b_j]$ в безразмерную шкалу $[0, 1]$, а при $k \neq 1$ – нелинейное (рисунок 2).

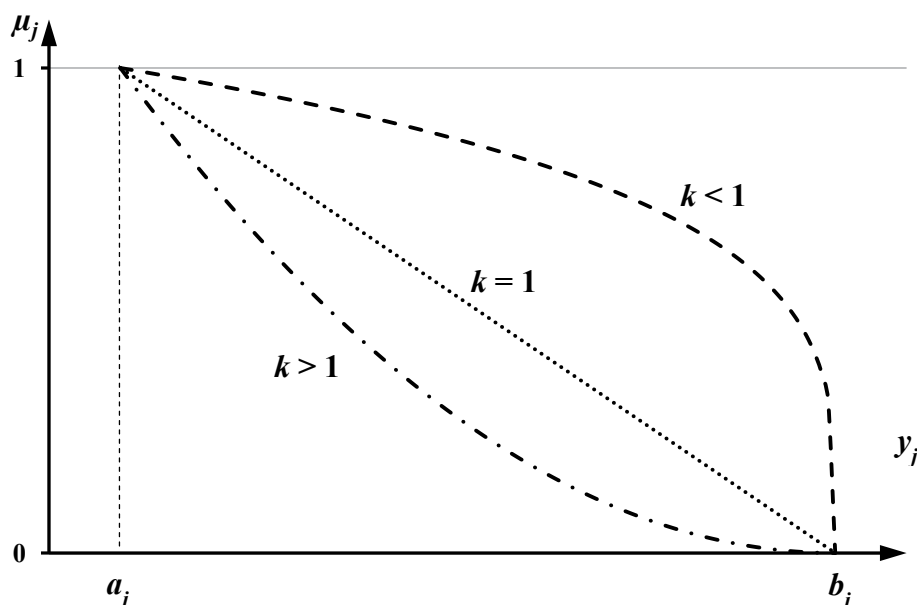


Рисунок 2 – Графики вариантов зависимости частной абсолютной квалиметрической оценки от частного показателя качества результата функционирования военно-технической системы

В работах [1-3] показано, что частная относительная квалиметрическая оценка результата функционирования по j -му ПК для i -й ВТС при $\mu_j^i \geq \varepsilon_j$ имеет вид:

$$d_j^i = \left[\varepsilon_j (1 - \mu_j^i) \right] / \left[\mu_j^i (1 - \varepsilon_j) \right] \quad (3)$$

и характеризует величину степени несоответствия качества результата функционирования i -й ВТС заданным требованиям по j -му ПК.

Интегральная квалиметрическая оценка результата функционирования i -й ВТС в общем случае имеет следующий вид [1-3]:

$$d^i = 1 - \prod_{j=1}^m \left[1 - d_j^i \right]^{\lambda_j}, \quad (4)$$

где λ_j – весовые коэффициенты частных относительных квалиметрических оценок d_j^i , удовлетворяющие следующим условиям:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Интегральная квалиметрическая оценка d в формуле (4) является средневзвешенной квазигеометрической величиной в смысле ассоциативного среднего по Колмогорову [2].

На рисунке 3 представлена морфологическая схема построения интегральной квалиметрической оценки результата функционирования ВТС, содержащая различные известные и перспективные виды частных абсолютной, относительной и интегральной оценок.

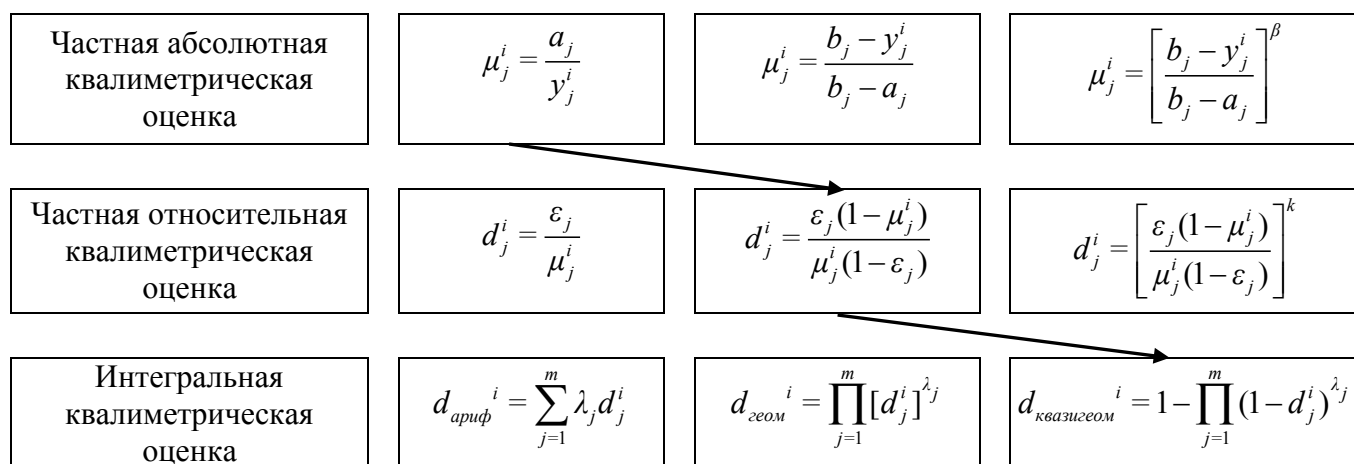


Рисунок 3 – Морфологическая схема и вариант построения интегральной квалиметрической оценки результата функционирования военно-технической системы;

a_j, b_j – соответственно нижняя и верхняя границы интервала изменения j -го показателя качества
 β, k – параметры, определяющие вид нелинейного преобразования
 \longrightarrow – вариант построения интегральной квалиметрической оценки

Рассмотрим модельный пример многовариантного вычислительного эксперимента по построению интегральной квалиметрической оценки. Пусть качество результата функционирования ВТС описывается двумя показателями: y_1, y_2 . В таблицах 1–4 и на рисунках 4–7 приведена матрица исходных данных типа «ВТС – ПК» и результаты вычислительного эксперимента построения различных вариантов частных абсолютных, относительных и интегральной квалиметрических оценок.

Из расчетов следует, что средневзвешенное квазигеометрическое является оценкой «сверху» для средневзвешенного арифметического и средневзвешенного геометрического и имеет системный смысл («целое больше суммы частей его составляющих»).

Таблица 1 – Этапы и результаты вычислительного эксперимента построения частных абсолютных, относительных и интегральной квалиметрических оценок по формулам (1), (3) и (4)

№ п/п	y_1	y_2	μ_1	μ_2	d_1	d_2	$d_{квазигеом}$	$d_{ариф}$	$d_{геом}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	94	88	0,556	0,486	0,687	0,900	0,824	0,794	0,787
2	100	79	0,523	0,541	0,786	0,721	0,756	0,754	0,753
3	97	87	0,539	0,491	0,737	0,881	0,823	0,809	0,805
4	89	76	0,587	0,563	0,605	0,662	0,634	0,633	0,633
5	92	81	0,568	0,528	0,654	0,761	0,713	0,708	0,706
6	80	71	0,653	0,602	0,457	0,562	0,512	0,509	0,507
7	87	50	0,601	0,855	0,572	0,144	0,395	0,358	0,287
8	88	86	0,594	0,497	0,588	0,861	0,761	0,725	0,712
9	107	73	0,488	0,586	0,901	0,602	0,802	0,752	0,737
10	88	85	0,594	0,503	0,588	0,841	0,744	0,715	0,703
11	109	88	0,479	0,486	0,934	0,900	0,919	0,917	0,917
12	101	79	0,517	0,541	0,802	0,721	0,765	0,762	0,761
13	88	45	0,594	0,950	0,588	0,045	0,373	0,317	0,162
14	87	58	0,601	0,737	0,572	0,303	0,454	0,438	0,417
15	101	80	0,517	0,534	0,802	0,741	0,774	0,772	0,771
16	109	55	0,479	0,777	0,934	0,244	0,777	0,589	0,477
17	99	81	0,528	0,528	0,770	0,761	0,765	0,765	0,765
18	108	73	0,484	0,586	0,918	0,602	0,819	0,760	0,743



Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	62	92	0,843	0,465	0,160	0,980	0,871	0,570	0,397
20	55	48	0,950	0,891	0,045	0,104	0,075	0,075	0,069
21	64	62	0,816	0,690	0,193	0,383	0,295	0,288	0,272
22	107	89	0,488	0,480	0,901	0,920	0,911	0,911	0,911
23	95	82	0,550	0,521	0,704	0,781	0,745	0,742	0,741
24	112	92	0,467	0,465	0,984	0,980	0,982	0,982	0,982
25	89	77	0,587	0,555	0,605	0,682	0,645	0,643	0,642
26	70	84	0,746	0,509	0,292	0,821	0,644	0,557	0,490
27	72	54	0,726	0,792	0,325	0,224	0,276	0,274	0,270
28	70	70	0,746	0,611	0,292	0,542	0,431	0,417	0,398
29	110	91	0,475	0,470	0,951	0,960	0,956	0,955	0,955
30	94	79	0,556	0,541	0,687	0,721	0,705	0,704	0,704

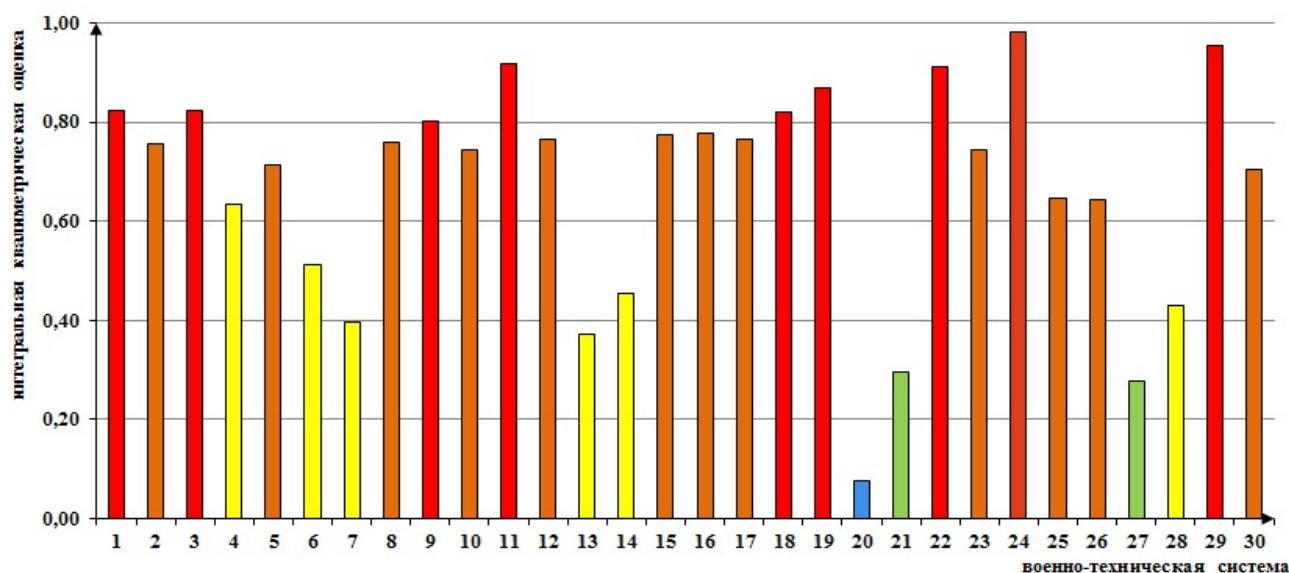


Рисунок 4 – Интегральная квалиметрическая оценка результата функционирования военно-технической системы, рассчитанная по формулам (1), (3) и (4)

Таблица 2 – Этапы и результаты вычислительного эксперимента построения частных абсолютных, относительных и интегральной квалиметрических оценок по формулам (2) при $k = 1, (3) \text{ и } (4)$

№ п/п	y_1	y_2	μ_1	μ_2	d_1	d_2	$d_{\text{квазигеом}}$	$d_{\text{ариф}}$	$d_{\text{геом}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	94	88	0,361	0,160	0,134	0,377	0,265	0,255	0,225
2	100	79	0,269	0,327	0,205	0,148	0,177	0,176	0,174
3	97	87	0,315	0,178	0,164	0,330	0,252	0,247	0,233
4	89	76	0,438	0,383	0,097	0,116	0,107	0,106	0,106
5	92	81	0,392	0,290	0,118	0,176	0,147	0,147	0,144
6	80	71	0,575	0,475	0,056	0,079	0,068	0,067	0,066
7	87	50	0,468	0,865	0,086	0,011	0,049	0,049	0,031
8	88	86	0,453	0,197	0,091	0,292	0,198	0,192	0,164
9	107	73	0,162	0,438	0,391	0,092	0,256	0,241	0,190
10	88	85	0,453	0,215	0,091	0,261	0,181	0,176	0,154
11	109	88	0,132	0,160	0,500	0,377	0,442	0,438	0,434
12	101	79	0,254	0,327	0,222	0,148	0,186	0,185	0,181



Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	88	45	0,453	0,958	0,091	0,003	0,048	0,047	0,017
14	87	58	0,468	0,717	0,086	0,028	0,058	0,057	0,049
15	101	80	0,254	0,308	0,222	0,161	0,192	0,192	0,189
16	109	55	0,132	0,773	0,500	0,021	0,300	0,260	0,103
17	99	81	0,285	0,290	0,190	0,176	0,183	0,183	0,183
18	108	73	0,147	0,438	0,440	0,092	0,287	0,266	0,201
19	62	92	0,851	0,085	0,013	0,767	0,521	0,390	0,101
20	55	48	0,958	0,903	0,003	0,008	0,006	0,006	0,005
21	64	62	0,820	0,643	0,017	0,040	0,028	0,028	0,026
22	107	89	0,162	0,141	0,391	0,436	0,414	0,414	0,413
23	95	82	0,346	0,271	0,143	0,193	0,168	0,168	0,166
24	112	92	0,086	0,085	0,808	0,767	0,788	0,787	0,787
25	89	77	0,438	0,364	0,097	0,125	0,111	0,111	0,110
26	70	84	0,728	0,234	0,028	0,235	0,138	0,131	0,081
27	72	54	0,698	0,791	0,033	0,019	0,026	0,026	0,025
28	70	70	0,728	0,494	0,028	0,073	0,051	0,051	0,046
29	110	91	0,116	0,104	0,575	0,617	0,597	0,596	0,596
30	94	79	0,361	0,327	0,134	0,148	0,141	0,141	0,141

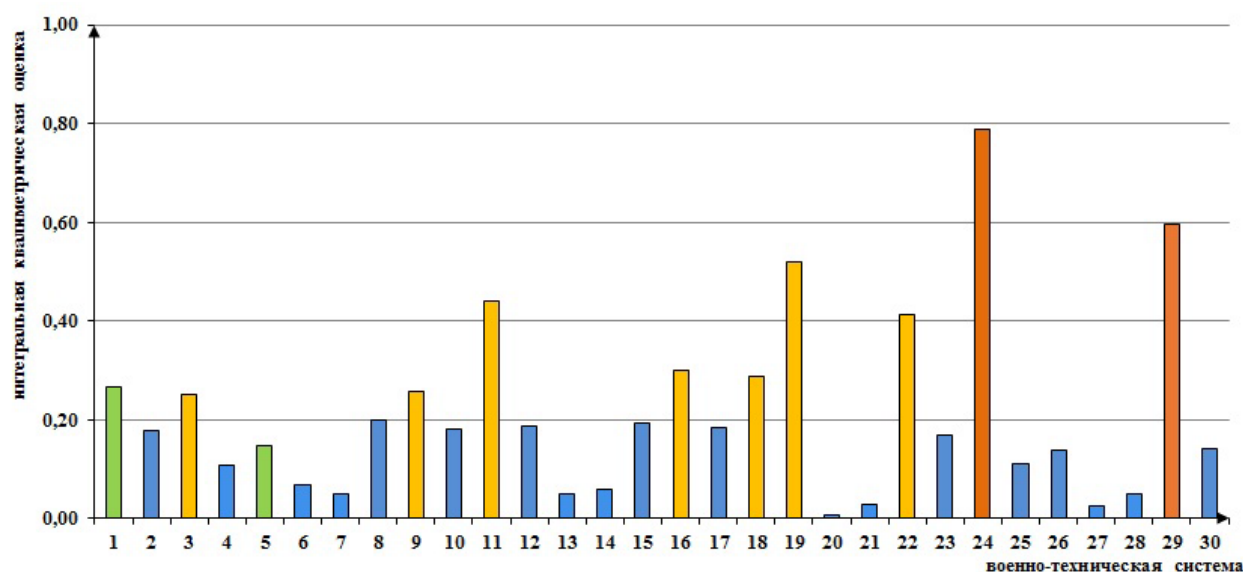


Рисунок 5 – Интегральная квалиметрическая оценка результата функционирования военно-технической системы, рассчитанная по формулам (2) при $k = 1$, (3) и (4)

Таблица 3 – Этапы и результаты вычислительного эксперимента построения частных абсолютных, относительных и интегральной квалиметрических оценок по формулам (2) при $k = 0,1$, (3) и (4)

№ п/п	y_1	y_2	μ_1	μ_2	d_1	d_2	$d_{\text{квазигеом}}$	$d_{\text{ариф}}$	$d_{\text{геом}}$
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	94	88	0,903	0,832	0,353	0,648	0,523	0,500	0,478
2	100	79	0,877	0,894	0,461	0,381	0,422	0,421	0,419
3	97	87	0,891	0,842	0,403	0,606	0,515	0,504	0,494
4	89	76	0,921	0,908	0,283	0,325	0,304	0,304	0,303
5	92	81	0,911	0,883	0,323	0,425	0,376	0,374	0,370
6	80	71	0,946	0,928	0,187	0,248	0,218	0,218	0,216



Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	87	50	0,927	0,986	0,259	0,047	0,160	0,153	0,110
8	88	86	0,924	0,850	0,271	0,568	0,439	0,420	0,393
9	107	73	0,834	0,921	0,656	0,277	0,502	0,467	0,426
10	88	85	0,924	0,858	0,271	0,534	0,417	0,403	0,381
11	109	88	0,816	0,832	0,740	0,648	0,697	0,694	0,692
12	101	79	0,872	0,894	0,483	0,381	0,434	0,432	0,429
13	88	45	0,924	0,996	0,271	0,014	0,152	0,142	0,061
14	87	58	0,927	0,967	0,259	0,109	0,188	0,184	0,168
15	101	80	0,872	0,889	0,483	0,402	0,444	0,443	0,441
16	109	55	0,816	0,975	0,740	0,084	0,512	0,412	0,250
17	99	81	0,882	0,883	0,441	0,425	0,433	0,433	0,432
18	108	73	0,825	0,921	0,696	0,277	0,531	0,486	0,439
19	62	92	0,984	0,782	0,054	0,898	0,689	0,476	0,219
20	55	48	0,996	0,990	0,014	0,033	0,024	0,024	0,022
21	64	62	0,980	0,957	0,066	0,146	0,107	0,106	0,098
22	107	89	0,834	0,822	0,656	0,696	0,677	0,676	0,676
23	95	82	0,899	0,878	0,369	0,449	0,410	0,409	0,407
24	112	92	0,782	0,782	0,916	0,898	0,908	0,907	0,907
25	89	77	0,921	0,904	0,283	0,342	0,314	0,313	0,312
26	70	84	0,969	0,865	0,106	0,503	0,334	0,305	0,231
27	72	54	0,965	0,977	0,121	0,076	0,099	0,098	0,096
28	70	70	0,969	0,932	0,106	0,235	0,173	0,171	0,158
29	110	91	0,806	0,797	0,790	0,818	0,804	0,804	0,804
30	94	79	0,903	0,894	0,353	0,381	0,367	0,367	0,367

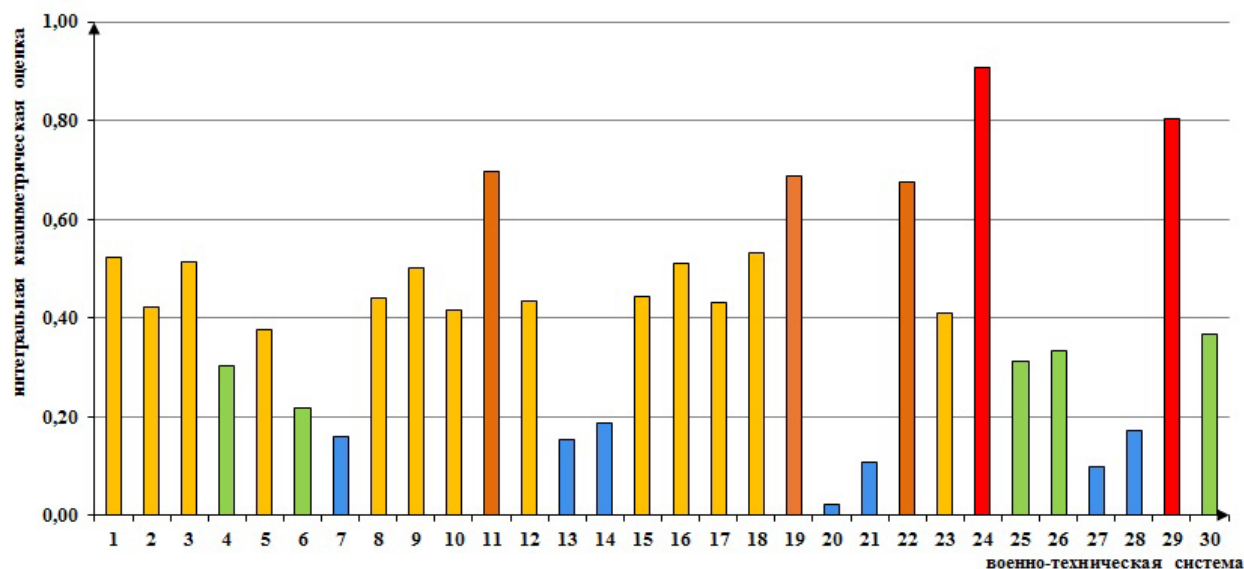


Рисунок 6 – Интегральная квалиметрическая оценка результата функционирования военно-технической системы, рассчитанная по формулам (2) при $k = 0,1$, (3) и (4)



Таблица 4 – Этапы и результаты вычислительного эксперимента построения частных абсолютных, относительных и интегральной квалиметрических оценок по формулам (2) при $k = 1,5$, (3) и (4)

№ п/п	y_1	y_2	μ_1	μ_2	d_1	d_2	$d_{\text{квазигеом}}$	$d_{\text{ариф}}$	$d_{\text{геом}}$
1	94	88	0,217	0,064	0,069	0,258	0,169	0,163	0,133
2	100	79	0,140	0,187	0,117	0,077	0,097	0,097	0,095
3	97	87	0,177	0,075	0,088	0,216	0,155	0,152	0,138
4	89	76	0,290	0,237	0,047	0,057	0,052	0,052	0,051
5	92	81	0,245	0,156	0,059	0,095	0,077	0,077	0,075
6	80	71	0,436	0,328	0,025	0,036	0,030	0,030	0,030
7	87	50	0,320	0,805	0,040	0,004	0,022	0,022	0,013
8	88	86	0,305	0,087	0,043	0,184	0,116	0,114	0,089
9	107	73	0,065	0,290	0,272	0,043	0,165	0,158	0,108
10	88	85	0,305	0,100	0,043	0,158	0,103	0,101	0,083
11	109	88	0,048	0,064	0,380	0,258	0,322	0,319	0,313
12	101	79	0,128	0,187	0,130	0,077	0,103	0,103	0,100
13	88	45	0,305	0,938	0,043	0,001	0,023	0,022	0,007
14	87	58	0,320	0,607	0,040	0,011	0,026	0,026	0,021
15	101	80	0,128	0,171	0,130	0,085	0,108	0,107	0,105
16	109	55	0,048	0,679	0,380	0,008	0,216	0,194	0,056
17	99	81	0,152	0,156	0,106	0,095	0,101	0,101	0,101
18	108	73	0,056	0,290	0,319	0,043	0,193	0,181	0,117
19	62	92	0,785	0,025	0,005	0,687	0,442	0,346	0,060
20	55	48	0,938	0,857	0,001	0,003	0,002	0,002	0,002
21	64	62	0,743	0,515	0,007	0,017	0,012	0,012	0,010
22	107	89	0,065	0,053	0,272	0,314	0,294	0,293	0,292
23	95	82	0,203	0,141	0,075	0,107	0,091	0,091	0,089
24	112	92	0,025	0,025	0,740	0,687	0,714	0,713	0,713
25	89	77	0,290	0,220	0,047	0,063	0,055	0,055	0,054
26	70	84	0,622	0,113	0,012	0,138	0,077	0,075	0,040
27	72	54	0,583	0,704	0,014	0,007	0,011	0,011	0,010
28	70	70	0,622	0,347	0,012	0,033	0,022	0,022	0,020
29	110	91	0,040	0,034	0,461	0,507	0,484	0,484	0,483
30	94	79	0,217	0,187	0,069	0,077	0,073	0,073	0,072

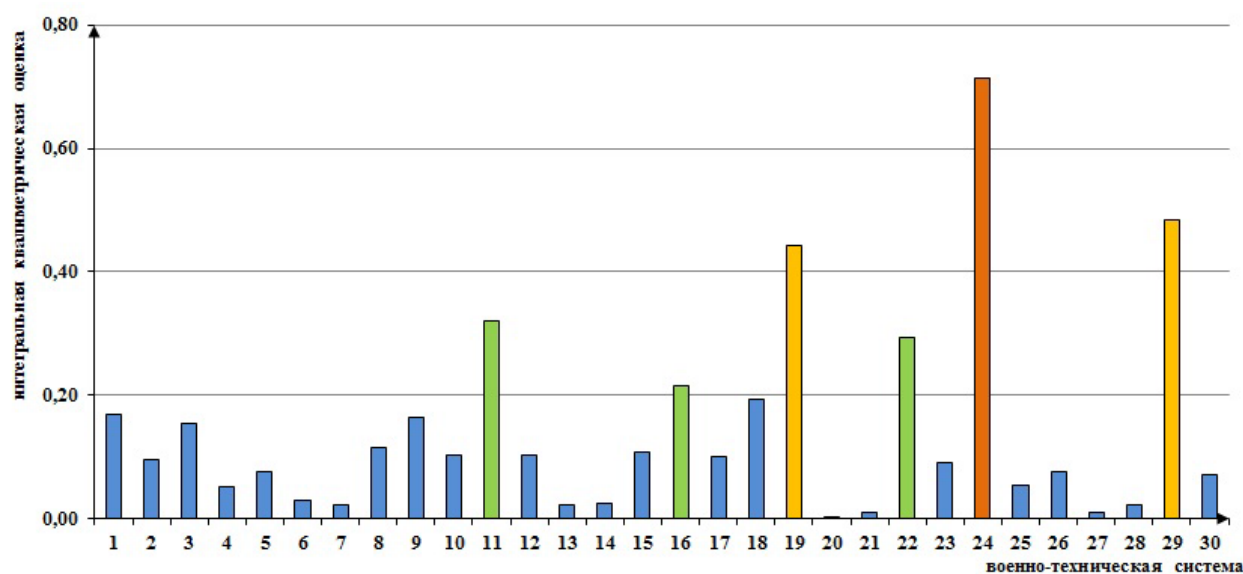


Рисунок 7 – Интегральная квалиметрическая оценка результата функционирования военно-технической системы, рассчитанная по формулам (2) при $k = 1,5$, (3) и (4)



Таким образом, многовариантный подход к построению частных и интегральной квалиметрических оценок позволяет учитывать экспертное представление о качестве результата функционирования ВТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Умывакин В.М., Бородин А.А., Линник Е.А., Швец А.В. Вероятностно-квалиметрические модели интегральной оценки эффективности функционирования военно-технических систем // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 1 (1). С. 164-171.
2. 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.
3. Линник Е.А., Боталов В.В., Умывакин В.М., Швец А.В. Оценка эффективности функционирования военно-технических систем в вероятностно-квалиметрической шкале // Актуальные проблемы вооруженной борьбы в воздушно-космической сфере: сб. науч. ст. по материалам междунар. военно-научной конф. в 2 ч., Воронеж, 13-14 апреля 2017 г. / ВУНЦ ВВС «ВВА». Воронеж, 2017. Ч.2. С. 74-81.

REFERENCES

1. Umyvakin V.M., Borodin A.A., Linnik E.A., SHvets A.V. Veroyatnostno-kvalimetricheskie modeli integral'noj otsenki ehffektivnosti funktsionirovaniya voenno-tekhnicheskikh sistem // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika. 2017. № 1 (1). P. 164-171.
2. Umyvakin V.M., Borodin A.A., SHvets A.V. Kvalimetricheskaya model' integral'noj otsenki bezopasnosti funktsionirovaniya voenno-tekhnicheskikh sistem // ZHurn. Sibir. feder. un-ta. Tekhnika i tekhnologii. 2017. T. 10, № 2. P. 235-248.
3. Linnik E.A., Botalov V.V., Umyvakin V.M., SHvets A.V. Otsenka ehffektivnosti funktsionirovaniya voenno-tekhnicheskikh sistem v veroyatnostno-kvalimetricheskoj shkale // Aktual'nye problemy vooruzhennoj bor'by v vozdushno-kosmicheskoy sfere: sb. nauch. st. po materialam mezhdunar. voenno-nauchnoj konf. v 2 ch., Voronezh, 13-14 aprelya 2017 g. / VUNTS VVS «VVA». Voronezh, 2017. CH.2. P. 74-81.

© Умывакин В.М., Швец А.В., Стребкова Ж.А., Мартынова Ю.Ю., 2018

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, umyvakin@mail.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, shvets-av@mail.ru

Стребкова Жанна Анатольевна, техник 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.

Мартынова Юлия Юрьевна, техник 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.