

УДК: 623.4

DOI: 10.53816/23061456_2021_9–10_112

**ВЛИЯНИЕ РИСКОВ (НАДЕЖНОСТИ) НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРЕЛЬБЫ
КОРАБЕЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ УСТАНОВКИ
ПРИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКЕ**

**INFLUENCE OF RISKS (RELIABILITY) ON THE FIRING EFFICIENCY
OF A SHIP ARTILLERY UNIT AT INTEGRATED LOGISTIC SUPPORT**

*Д-р техн. наук А.С. Афанасьев, д-р техн. наук Ю.Л. Вященко,
д-р техн. наук К.М. Иванов, канд. техн. наук И.Л. Ящук*

D.Sc. A.S. Afanasyev, D.Sc. Yu.L. Vyashchenko, D.Sc. K.M. Ivanov, Ph.D. I.L. Yashchuk

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В статье исследован вопрос влияния готовности корабельной артиллерийской установки на эффективность решения типовой боевой задачи. Готовность выражена как интегральный показатель надежности, то есть безотказность корабельной артиллерийской установки с учетом возможности оперативного устранения отказа за счет возможностей интегрированной логистической поддержки. В качестве критерия эффективности представлена вероятность успешного выполнения типовой боевой задачи. На основе информационно-системной методологии управления рисками анализируется эффективность стрельбы артиллерийской установки при наличии интегрированной логистической поддержки с учетом возможности отказов. Приведен анализ надежности корабельной артиллерийской установки методом топологического подобия. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании перспективных артиллерийских установок заданной надежности и эффективности.

Ключевые слова: информационно-системная методология, надежность, военная и специальная техника.

The article investigates the question of the influence of the availability of a shipborne artillery installation on the efficiency of solving a typical combat mission. Availability is expressed as an integral indicator of reliability, that is, the reliability of a shipborne artillery installation, taking into account the possibility of prompt elimination of a failure due to the capabilities of integrated logistic support. The probability of successful completion of a typical combat mission is presented as an efficiency criterion. On the basis of the information-system risk management methodology, the effectiveness of the firing of an artillery mount is analyzed in the presence of integrated logistic support, taking into account the possibility of failures. An analysis of the reliability of a shipborne artillery installation by the method of topological similarity is presented. The results obtained can be used in the design of advanced artillery installations of a given reliability and efficiency.

Keywords: information system methodology, reliability, military and special equipment.

Информационно-системная методология управления рисками [1–6] рассматривает в единстве процессы и этапы жизненного цикла изделия военной или специальной техники,

в данном случае — корабельной артиллерийской установки (КАУ), определяя постановку и решение текущих и «сквозных» задач достижения и поддержания технического уровня из-

делия $(СП_{ij} \in [СП_{ij}]\beta_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, s})$ при разработке, производстве и эксплуатации в соответствии с информационной ситуацией. Здесь $СП_{ij}$ — системные показатели КАУ; $[\cdot]$ — допустимые значения; n — число показателей; s — число этапов разработки; β — доверительная вероятность [7, 8].

Эффективность стрельбы непосредственно отражает риски как неблагоприятные события (непоражение цели), и, соответственно, понесенный при этом ущерб.

Управление рисками предполагает анализ факторов, определяющих риск, и действий, направленных на минимизацию потерь. В свою очередь, боевая эффективность определяется тем, насколько КАУ способна выполнить задачи назначения, то есть, в первую очередь, тем, какова её надежность (способность изделия выполнять заданные функции в соответствии с требованиями ТТЗ). В данном случае речь идет, прежде всего, о готовности и безотказности в обстановке стрельбы. Боевая эффективность КАУ может оцениваться следующими показателями:

– вероятностью успешного выполнения типовых боевых задач $P_{утбз}, P_{утбз} = K_r P(N)\Theta$. Здесь, K_r — коэффициент готовности, $P(N)$ — вероятность безотказной работы за N выстрелов, Θ — показатель эффективности (вероятность поражения цели); $K_r = T_0/T_b, T_0$ — среднее время безотказной работы, T_b — среднее время восстановления КАУ;

– коэффициентом сохранения эффективности $K_{эфф}, K_{эфф} = \Theta_n/\Theta_0$, где Θ_n — показатель эффективности с учетом надежности КАУ; Θ_0 — без учета надежности КАУ.

Интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) как система методов, технологий и средств, способствующая формированию

адекватных проектных решений и обеспечивающая выполнение требований по логистичности: $W_j \geq [W_j]$ (здесь W_j — информационный показатель эксплуатационной воспроизводимости [7]) на всех этапах жизненного цикла, определяет возможности процессов восстановления (диагностику состояния, техническое обслуживание, ремонты и т.п.), выражаемые, в том числе, показателями T_b, Θ_n . Вместе с тем, характеристики процессов восстановления находятся в очевидной зависимости от параметров процессов отказов.

Сложившееся действительное состояние практики управления рисками (надежностью) демонстрируется фактическими данными по надежности серийных КАУ. Так, отказы, наблюдавшиеся в течение ряда лет на установках АК-130 (табл. 1), показывают устойчивую тенденцию их проявления с незначительным трендом на понижение.

Большинство узлов артиллерийской установки (АУ) не отработаны на стендах заводов-изготовителей, а доводятся до уровня работоспособности уже на установках серийного образца на объекте.

Значительным фактором в анализе боевой подготовки КАУ среднего калибра является оценка ремонтпригодности и долговечности образцов.

В эксплуатационно-технической документации по АК-130 не предусмотрены работы по устранению 70 % возникающих отказов и неисправностей, которые не могут быть устранены силами штатного личного состава корабля.

Опираясь на представленные данные, следует отметить, что надежность КАУ находится ниже уровня, заданного для серийных образцов. Основные причины этого негативного явления: несовершенство методического обоснования

Таблица 1

Данные по отказам артиллерийской установки АК-130

Вид отказа	Количество АУ в ВМФ						
	1986 г.	1987 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.	1991 г.	1992 г.
Конструктивный	12	15	19	20	24	28	30
Производственный	18	15	10	11	10	8	5
Производственный	33	50	23	12	10	11	10
Эксплуатационный	9	12	18	21	20	18	19
Причина не установлена	17	9	21	19	16	18	11
Всего	77	86	72	63	56	55	45

требований по надежности; организационные проблемы, имеющиеся при выдаче, согласовании и контроле выполнения этих требований.

Для оценки рисков, связанных с использованием КАУ, надежность которых не достигает требуемого уровня, авторами проведен количественный анализ влияния надежности на боевую готовность и эффективность стрельбы КАУ.

Для того, чтобы оценить ожидаемый результат применения артиллерии для выбранных вариантов условий, используются формулы теории стрельбы. В наиболее простом случае, когда условный закон поражения цели — показательного типа, а ошибки, принадлежащие различным выстрелам, независимы, показатель эффективности (вероятность поражения цели) определяется следующим образом:

$$\Theta_{\text{н}} = 1 - \left(1 - \frac{\bar{P}}{N_{\text{эфф}}} \right)^{\bar{n}},$$

где $N_{\text{эфф}} = N(1 - \alpha)$ — математическое ожидание числа попаданий, необходимого для поражения цели с учетом надежности снаряда; \bar{P} — математическое ожидание вероятности попадания в цель; α — вероятность отказа в действии элементов снаряда в районе цели или на траектории; N — число попаданий в цель без учета надежности снаряда; при этом

$$\bar{n} = \frac{(1 - \gamma)[1 - (1 - \gamma)^n]}{\gamma},$$

где \bar{n} — число эффективных выстрелов из запланированных для данной стрельбы; n — число

выстрелов, запланированное для данной стрельбы; γ — вероятность отказа, приводящего к срыву стрельбы.

На рис. 1 приведены зависимости, рассчитанные для заданной вероятности попадания в цель одним выстрелом $P(1) = 0,05$; $\Theta_{\text{н}} = 0,8$ для трех ситуаций:

а) при вероятности безотказной работы КАУ на один выстрел (гипотетическая ситуация) $P_1 \rightarrow 1,0$ и, соответственно, вероятности отказа $\gamma_1 \rightarrow 0,0$ ($\gamma_1 = 10^{-5}$);

б) при вероятности безотказной работы на один выстрел, заданной по ТТЗ, $P_2 = 0,992$ и, соответственно, вероятности отказа $\gamma_2 = 0,008$;

в) при вероятности безотказной работы на один выстрел, характеризующей надежность КАУ по результатам эксплуатации, $P_3 = 0,982$, и, соответственно, вероятности отказа $\gamma_3 = 0,018$.

По графикам определяются для заданного настрела n (ось абсцисс) значения: числа эффективных выстрелов \bar{n} (линия с удлинненным пунктиром); эффективность стрельбы без учета надежности выстрела Θ (сплошная линия); эффективность стрельбы с учетом надежности выстрела $\Theta_{\text{н}}$ (линия с точечным пунктиром); коэффициент сохранения эффективности $K_{\text{эфф}}$ (линия с укороченным пунктиром) в следующих случаях:

а) при вероятности безотказной работы КАУ на один выстрел (гипотетическая ситуация) $P_1 \rightarrow 1,0$ и, соответственно, вероятности отказа $\gamma_1 \rightarrow 0,0$ (для $\Theta_{\text{н}} = 0,8, P(1) = 0,05; \gamma = 10^{-5}; n \approx \bar{n} = 35$);

б) при вероятности безотказной работы на один выстрел, заданной по ТТЗ, $P_2 = 0,992$ и, соответственно, вероятности отказа $\gamma_2 = 0,008$ (для $\Theta_{\text{н}} = 0,8, P(1) = 0,05; \gamma = 0,008; n = 35, \bar{n} = 40$);

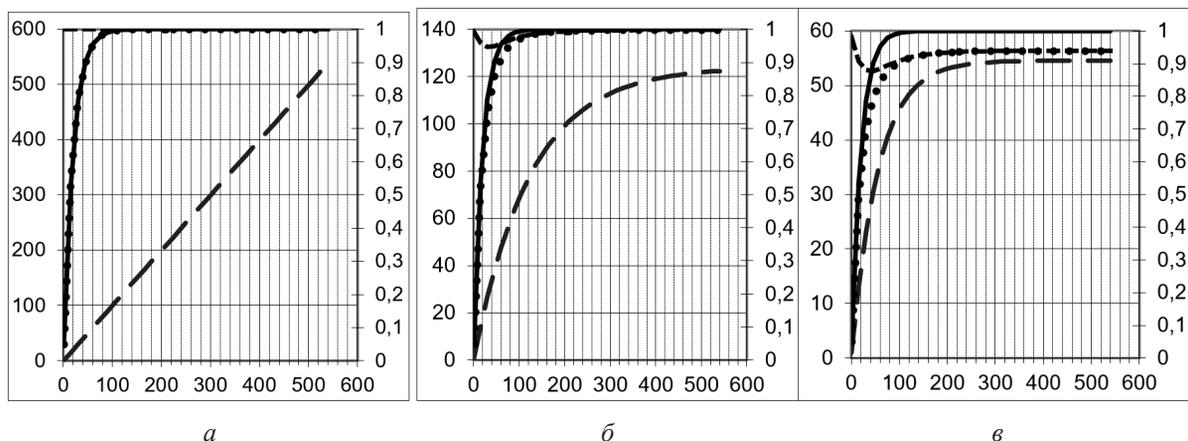


Рис. 1. Результаты расчетов эффективности стрельбы артиллерийского комплекса АК-130

в) при вероятности безотказной работы на один выстрел, характеризующей надежность КАУ по результатам эксплуатации, $P_3 = 0,982$, и, соответственно, вероятности отказа $\gamma_3 = 0,018$ (для $\Theta_n = 0,8$, $P(1) = 0,05$, $\gamma = 0,018$: $n = 35$, $\bar{n} = 50$).

Анализ влияния надежности на боевую эффективность КАУ АК-130, проведенный Г.А. Клименко для наиболее характерных режимов и условий стрельбы, представлен на рис. 2. Изображенный на рис. 2 график режима огня демонстрирует возможности решения типовой огневой задачи с учетом надежности КАУ.

Огневые возможности и объем огневых задач определяют необходимый наряд сил (средств поражения) на этапе планирования боевых действий и постановки боевых задач кораблям. Поэтому неучет реального технического состояния артиллерийских установок приведет к ошибочным (завышенным) оценкам огневых возможностей в ожидаемых условиях. Это, в свою очередь, повлечет выделение недостаточного количества сил (кораблей с АУ), следствием чего станет невыполнение поставленной огневой задачи по поражению объектов с назначенной степенью поражения и (или) в заданное время.

При решении задач КАУ, относящихся к анализу и обеспечению боевой готовности, коэффициент готовности является востребованной информативной характеристикой. Вместе с тем, на столь коротком промежутке времени, как артиллерийская стрельба, расчетом этого показателя можно пренебречь. Так, при выполнении артиллерийской стрельбы КАУ, время, отводимое на восстановление элементов, утративших надеж-

ность, можно выделить только в период технологического перерыва на охлаждение стволов, чего явно недостаточно, да и конструктивные особенности не позволяют осуществлять ремонт в столь короткие сроки.

Уменьшить среднее время восстановления можно, повышая надежность систем и тем самым, уменьшая число отказов, или сокращая время, необходимое для отыскания и устранения отказов. Сократить время, потребное для отыскания и устранения неисправностей, можно, применяя встроенный контроль, автоматизацию проверок, повышение квалификации обслуживающего персонала, сбор и обобщение опыта эксплуатации.

Повысить надежность изделия и минимизировать риски в процессе его эксплуатации чрезвычайно трудно, поскольку надежность системы в основном закладывается при ее проектировании и изготовлении, а при эксплуатации надежность в основном «расходуется». Вместе с тем, создание образцов артиллерийского вооружения с повышенным уровнем надежности при одновременном усложнении их конструкции и сокращении времени на разработку и финансирования только актуализируется.

Одним из направлений в обосновании технических решений, обеспечивающих повышенную надежность при проектировании перспективных КАУ, является разработка моделей надежности, позволяющих провести синтез принципиальных конструктивно-схемных решений механизмов автомата КАУ (рис. 3) с использованием статистического топологического

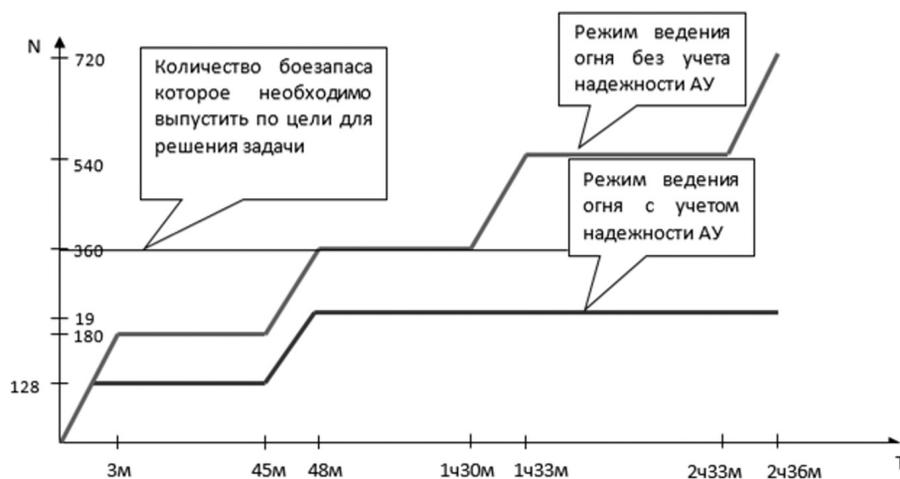


Рис. 2. Режим ведения артиллерийского огня согласно расчетным данным

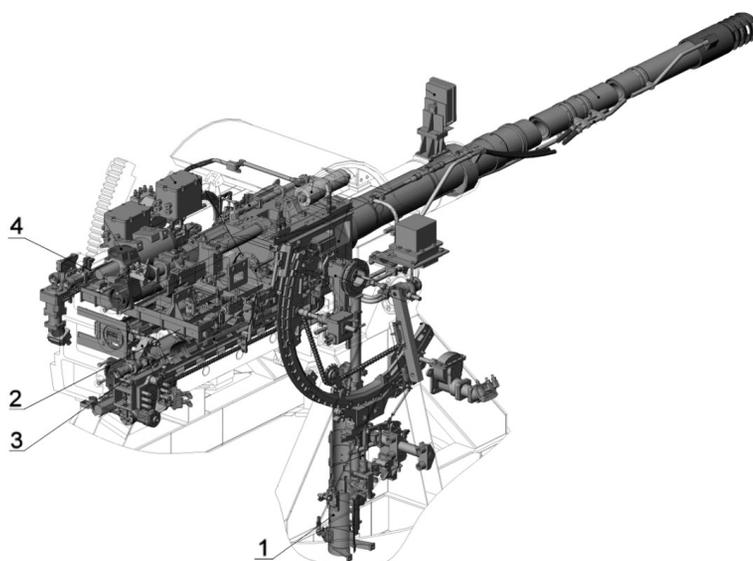


Рис. 3. Автомат заряжания КАУ: 1 — перегружатель; 2 — приемник КЧ; 3 — досылатель; 4 — механизм гильзоудаления

подобия, совмещающего расчетное моделирование и обработку экспериментальных данных [6, 7].

На рис. 4 представлена граф-модель, построенная на основе циклограммы функционирования механизмов автомата КАУ.

Узлы подобной граф-модели определяются характерными точками траектории перемещения боеприпаса (БП), которые соответствуют моментам перехватов (приема-передачи), моментам смены базирования БП, моментам фиксации (расфиксации), моментам изменения тра-

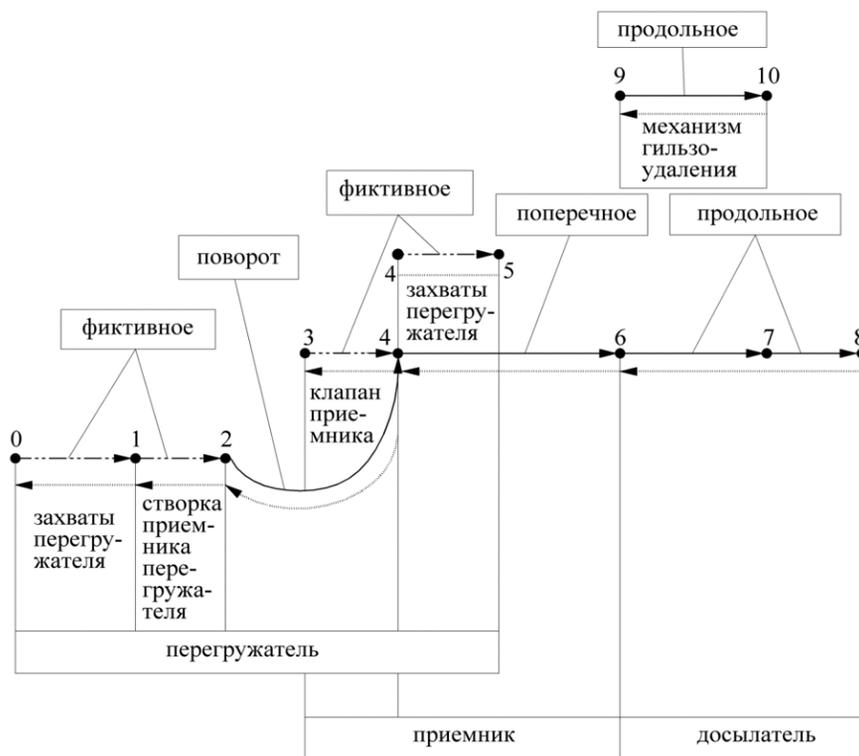


Рис. 4. Граф-модель автомата КАУ

Таблица 2

Интенсивности отказов механизмов автоматики

Механизм	ПН модели, $q_k \cdot 10^{-5}$	Результат испытаний, $q_k \cdot 10^{-5}$	Ребро граф модели		Узел граф модели		ПН модели $\lambda_j \cdot 10^{-5}$	Результат испытаний $\lambda_j \cdot 10^{-5}$
			ПН модели, $q_i \cdot 10^{-5}$	Результат испытаний, $q_i \cdot 10^{-5}$				
Перегружатель	1,38	Фиксация выстрела захватами перегружателя	0,11	0,11	Приём БП приёмником перегружателя, начало закрывания захватов	2,5	2,4	
			0,11	0,10	Конец закрывания захватов, начало отстопаривания створки приемника перегружателя	1,02	1,00	
			1,30	1,25	Конец отстопаривания створки приемника перегружателя	0,4	0,4	
			0,11	0,5	Начало закрывания клапана трубы приемника	0,2	0,2	
Приемники КЧ	1,32	Закрытие трубы приемника КЧ	0,11	0,90	Конец закрывания клапанов трубы приёмника, остановка перегружателя начало открывания захватов, переход БП на поверхность клапана трубы приёмника КЧ, начало движения каретки приемника КЧ	5,31	8,22	
			5,1	0,8	Конец открывания захватов	0,2	3,3	
Досылатель, гильзоударение	4,11	Досылка выстрела	1,04	3,05	Остановка каретки приемника начало движения досылателя	0,87	0,6	
								5,12
	Конец досылки	0,2	6,5					
	Начало движения кареток гильзоударения	0,67	0,67					
Конец движения кареток гильзоударения	1,32	4,9						

ектории движения или характера движения БП, моментам начала и конца цикла работы автомата. Ребрами граф-модели являются отображения реальных и фиктивных траекторий перемещения БП между узлами графа. Фиктивные траектории отображают состояния механизмов при отсутствии реальных перемещений БП, но при фактическом продолжении функционирования механизмов.

Оцениваемый ПН — вероятность безотказной работы (ВБР) за один цикл срабатывания P , $P = 1 - \lambda$, где λ — оценка суммарной интенсивности отказов системы автоматизации (оценка «потерь надежности»):

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N1} \lambda_i + \sum_{j=1}^{N2} \lambda_j + \sum_{k=1}^{N3} \lambda_k,$$

где i , $N1$ — номер и число узлов рассматриваемой граф-модели; j , $N2$ — номер и число ребер граф-модели; k , $N3$ — номер и число механизмов, образующих систему; λ_i — условные потери надежности в i -х узлах; λ_j — условные потери надежности в j -х связях (ребрах); λ_k — условные потери надежности в k -х механизмах. «Потеря надежности» интерпретируется как вероятность отказа соответствующего объекта.

Расчет условных потерь надежности по оценочным характеристикам траектории движения БП в системе проводится в предположении об их линейной зависимости от «веса» соответствующих узлов и ребер на участках граф-модели: $\lambda_{i(j)} = \Lambda_{i(j)} \cdot l_{i(j)}$, где $\Lambda_{i(j)}$ — параметр условного потока отказов на $i(j)$ -м узле (ребре) граф-модели; $l_{i(j)}$ — вес узла или ребра, выраженный в единицах элементарных перемещений.

На основании исследований, проведенных А.А. Яковлевым, усовершенствован метод статистического топологического подобию на основании сравнительного анализа показателей надежности, рассчитанных данным методом и полученных в результате обработки данных испытаний КАУ. Сравнительный анализ подтвердил в основном сходимость статистических данных по интенсивностям отказов механизмов автоматизации КАУ расчетным значениям (табл. 2).

На основе предложенного метода статистического топологического подобию составлена база данных надежности механизмов автоматизации, позволяющая проектировать перспективные

КАУ на основании использования более достоверной информации.

Заключение

Проводимые исследования, разрабатываемые теоретические положения, методы и алгоритмы анализа влияния рисков (надежности) на эффективность стрельбы КАУ в условиях интегрированной логистической поддержки, способствуют дальнейшему развитию теории и практики проектирования автоматов корабельных артиллерийских установок повышенной надежности [9, 10].

Литература

1. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Оценка технических рисков (надежности) изделий авиакосмической техники в процессе проектирования и отработки // Авиационная техника. 2019. № 4. С. 107–114.
2. Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А., Чернышов М.В. Минимизация рисков космических аппаратов с крупногабаритными трансформируемыми рефлекторами на основе информационно-системной методологии // Известия РАН. 2018. № 4 (104). С. 81–87.
3. Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Оптимизация конструкций космических аппаратов при проектировании и отработке по параметрам надежности и рисков // Известия РАН. 2018. № 4 (104). С. 61–67.
4. Игнатенко В.В., Павлушкин Р.В., и др. Информационные, информационно-энтропийные и эвентологические меры и шкалы в задачах управления рисками в процессах жизненного цикла систем оружия // Известия РАН. 2017. № 1 (96). С. 124–129.
5. Игнатенко В.В., Павлушкин Р.В., и др. Повышение эффективности управления жизненным циклом системы оружия на основе информационно-системной методологии // Геополитика и безопасность. 2016. № 3–4 (35–36). С. 106–113.
6. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Управление рисками изделий военного назначения на основе информационно-системного подхода. — СПб: БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. 2015. 508 с.

7. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Системная инженерия, риски, надежность в разработке и производстве изделий военного назначения. — СПб: БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. 2018. 570 с.

8. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Игнатенко В.В. Информационно-системные принципы проектирования, эффективность, надежность, риски изделий стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия. — Старый Оскол: ТНТ. 2020. 276 с.

9. Мальцев Г.Н., Склемин Д.В. Анализ готовности сложных технических систем при использовании информационных технологий поддержки жизненного цикла // Информационно управляющие системы. Моделирование систем и процессов. 2016. № 3. С. 38–45.

10. Катулев А.Н. Математические методы в системах поддержки принятия решений / А.Н. Катулев, Н.А. Северцев. — М.: Высшая школа. 2005. 312 с.

References

1. Afanasyev A.S., Vyashchenko Yu.L., Ivanov K.M., Matveev S.A. Assessment of Technical Risks (Reliability) of Aerospace Equipment in the Process of Design and Development // Russian Aeronautics. 2019. Vol. 62. Issue 4. P. 643–650.

2. Vyashchenko Yu.L., Ivanov K.M., Matveev S.A., Chernyshov M.V. Risk minimization of spacecraft with large-sized transformable reflectors on the basis of information-system methodology // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2018. Issue 4 (104). P. 81–87.

3. Vyashchenko Yu.L., Ivanov K.M., Matveev S.A. Optimization of spacecraft designs during design and testing in terms of reliability

and risk parameters // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2018. Issue 4 (104). P. 61–67.

4. Ignatenko V.V., Pavlushkin R.V., et al. Information, information-entropy and eventological measures and scales in the problems of risk management in the processes of the life cycle of weapons systems // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2017. Issue 1 (96). P. 124–129.

5. Ignatenko V.V., Pavlushkin R.V., et al. Improving the efficiency of managing the life cycle of a weapon system based on information-system methodology // Geopolitics and Security. 2016. Issue 3–4 (35–36). P. 106–113.

6. Afanasyev A.S., Vyashchenko Yu.L., Ivanov K.M., Matveev S.A. Risk management of military products based on the information system approach. — St. Petersburg: BSTU «VOENMEH», 2015. 508 p.

7. Afanasyev A.S., Vyashchenko Yu.L., Ivanov K.M., Matveev S.A. Systems engineering, risks, reliability in the development and manufacture of military products. — St. Petersburg: BSTU «VOENMEH». 2018. 570 p.

8. Afanasyev A.S., Vyashchenko Yu.L., Ivanov K.M., Ignatenko V.V. Information and system design principles, efficiency, reliability, risks of small arms, artillery and missile weapons. — Stary Oskol: TNT. 2020. 276 p.

9. Maltsev G.N., Sklemin D.V. Analysis of Complex Technical System Availability using Information Technologies of Lifecycle Support // Information control systems. Modeling of systems and processes. 2016. № 3. P. 38–45.

10. Katulev A.N. Mathematical methods in decision support systems / A.N. Katulev, N.A. Severtsev. — М.: Higher school. 2005. 312 p.