

УДК: 681.004.056

DOI: 10.53816/23061456\_2022\_5-6\_51

**РАЗРАБОТКА ЛОГИКО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ  
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**DEVELOPMENT OF A LOGICAL-PARAMETRIC METHOD FOR EVALUATING  
QUANTITATIVE MEASURES TO ENSURE THE PROTECTION OF AUTOMATED  
DOUBLE-PURPOSE SYSTEMS**

*Канд. техн. наук А.Ю. Цветков<sup>1</sup>, канд. воен. наук Ф.А. Самсонов<sup>2</sup>, канд. техн. наук А.С. Андрианов<sup>1</sup>*

*Ph.D. A.Yu. Tsvetkov, Ph.D. F.A. Samsonov, Ph.D. A.S. Andrianov*

*<sup>1</sup>ВКА им. А.Ф. Можайского, <sup>2</sup>Военно-научный комитет ВС РФ*

В статье рассмотрена актуальная проблема совершенствования методов оценки защищенности автоматизированных систем двойного назначения (АСУ ДН) за счёт внедрения логико-параметрического подхода оценивания количественных мер обеспечения защищенности. Исследованию обеспечения защищённости АСУ ДН в различных условиях обстановки посвящен ряд работ, в которых отмечается актуальность и значимость разработки современных моделей и методов моделирования безопасности и построения эффективной системы защиты сложных систем, функционирующих в условиях разнородных и многофакторных угроз. В результате работы сделан вывод, что логико-параметрический подход позволяет на основе использования возможностной меры получить количественную меру реализации угрозы при неполных и/или недостоверных исходных параметрах видов воздействий.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, система комплексной защиты, защищенность, оценивание, нечеткие параметры, количественная мера.

The article discusses the actual problem of improving the methods for assessing the protection of automated dual-purpose systems (DN ACS) due to the introduction of a logical and parametric approach of assessing the scoring measures to ensure security. The study of ensuring the protection of ACS of the DN in various conditions of the situation is devoted to a number of works, in which the relevance and significance of the development of modern models and methods for modeling the safety and construction of an effective system for the protection of complex systems operating in conditions of heterogeneous and multifactor threats are noted. As a result of the work, it was concluded that the logical-parametric approach makes it possible on the basis of the use of an opportunity to obtain a quantitative measure of the threat of incomplete and / or unreliable initial parameters of the effects.

**Keywords:** automated system, integrated protection system, security, evaluation, fuzzy parameters, quantitative measure.

## Введение

В государственном масштабе важнейшей научной задачей Федеральной целевой научно-технической программы «Безопасность», заданной объединенным решением Российской академии наук, Министерства обороны, Министерства образования и науки, и Министерства по чрезвычайным ситуациям, является обоснование теории, критериев и уровней риска с учетом потенциальных и реализуемых опасностей и ущербов в природно-техногенной сфере и вероятностей возникновения аварий и катастроф, а также ведение активного противоборства угрозам функционирования критически важных государственных информационных структур [1]. Особое место в перечне критически важных информационных структур занимают системы, обеспечивающие защиту привилегированных массивов данных (ПМД) в автоматизированных системах управления двойного назначения (АСУ ДН) [1, 2].

Исследованию обеспечения защищенности АСУ ДН в различных условиях обстановки посвящен ряд работ [1, 2, 3], в которых отмечается актуальность и значимость разработки современных моделей и методов моделирования безопасности и построения эффективной системы защиты сложных систем, функционирующих в условиях разнородных и многофакторных угроз. Следует отметить, что применительно к сложным системам «человек – машина – среда» использование статистических и вероятностных методов достаточно затруднено и может сопровождаться методической погрешностью расчета искомых мер, которая может превышать искомое истинное значение на несколько порядков. В этой связи актуальным является поиск альтернативных методов и разработка новых подходов к моделированию и оценке количественных мер защищенности сложных АСУ ДН в условиях воздействий факторов эндогенной и экзогенной природы.

### Разработка логико-параметрического метода к оцениванию количественных мер обеспечения защищенности

Пусть из классов больших АСУ ДН рассматривается сложная эргатическая система управления критически важным объектом с известной структурой связей, функционирующая в гетеро-

генной программной и аппаратной среде. Представим описание функционирования системы контроля и защиты АСУ ДН в виде классической модели управления с отрицательной обратной связью вида:

$$y = f(t, x, u), x \in R^n, u \in R^r,$$

где  $x$  — вектор-столбец характеристик элементов системы  $x_1, \dots, x_n$  ( $x_i \in XR^n$ , где  $X$  — множество мгновенных значений состояний системы), рассматриваемый в произвольные отрезки времени  $t$  на отрезке  $T$  — множество моментов времени ( $t \in T \subset R^1$ ) и определяющий состояние системы  $x_1(t_i) \dots x_n(t_i)$  в момент времени  $t_i$ ;

$u$  — вектор-столбец управляющих воздействий  $u_1 \dots u_n$  ( $u_i \in UR^r$ ) — множество мгновенных значений входных воздействий, представляющих собой функции времени  $u(t)$ , при этом известно  $\Omega$  — множество допустимых входных воздействий  $u(t) \in \Omega$ ;

$f$  — вектор-столбец функций  $f_1, \dots, f_n$  ( $f_i \in F$ ), определяющий структуру системы  $z_i = x_1(t_i) x_n(t_i)$  ( $z_i \in Z$ ) в момент времени  $t_i$ ;

$y$  — совокупность измеряемых параметров откликов системы, функционально связанных с параметрами состояния системы соотношением  $y = \varphi(x), y(t) \in Y$  ( $Y$  — множество возможных выходных величин).

При этом полагается следующее:

- определено направление времени  $T$ ;
- существует некоторая переходная функция состояния  $\Psi: T \cdot T \cdot X \cdot \Omega \rightarrow X$  значениями которой служат состояния  $x(t) = \varphi(t, t_0, x_0, u)$ , в которых оказывается система комплексной защиты (СКЗ) в момент времени  $t$ , если в начальный момент времени  $t_0$  она была в начальном состоянии  $x_0 = x(t_0)$ , и если на отрезке времени  $[t_0, t]$  на неё действовало входное воздействие  $u(\tau), \tau \in [t_0, t]$ ;

- задано выходное отображение  $\varphi: T \cdot X \rightarrow Y^m$  определяющее выходные величины  $y(t) = \varphi(x(t))$ .

Таким образом, состояние СКЗ есть вектор  $x$ , структура СКЗ определяется по виду функций  $\varphi$  и  $\Psi$ , а события в СКЗ характеризуются парой  $(t, x)$ .

Такой подход к описанию функционирования СКЗ АСУ затруднителен при ряде существующих

ющих в реальной практике условий, обусловленных природой рассматриваемой системы и особенностями её функционирования (поведенческой неопределённости человека и воздействием факторов рабочей среды), а именно:

1. Характеристики элементов системы в общем случае — нечёткие величины, и/или нечёткие функции;

2. Вид функций  $\varphi$  и  $\Psi$  может быть неизвестен;

3. Описание полной группы состояний системы  $(t, x)$  невозможно или нерационально.

В этой связи для решения задачи определения количественной меры реализации некоего состояния системы, характеризующего степень достижения цели СКЗ АСУ ДН — поддержание значения  $z_{тр}$  характеристики защищённости ПМД в АСУ ДН, является определение значения функционала  $\pi(y) = P(\varphi(x(t)))$  на основе факторного параметрического моделирования. Указанная количественная мера характеризует степень достижения цели СКЗ АСУ ДН, а изменено поддержание значения характеристики защищённости ПМД в АСУ ДН.

Выбор методического аппарата обусловлен тем, что существующие методы (в том числе теории вероятностей) не позволяют получить точное решение при отсутствии возможностей рассмотрения полной группы состояний системы (исходов) и построения системы гипотез о распределении вероятностей конкретного события в системе.

Допустим, что на гипотетический элемент АСУ ДН будут воздействовать факторы различной природы, параметры которых в общем случае имеют нечёткие значения с прогнозируемыми областями их изменения [4, 5, 6] (вследствие неточной и (или) неполной информации). Указанные параметры факторов различной природы определяются в виде множества  $V = v_{ml}(t)$ , где  $v$  — зависящее от времени нечёткое значение параметра  $m$  вида ( $m \in M$ ), характеризуемого функцией принадлежности  $\mu_v(\lambda)$ , и описывающего фактор  $j$  вида,  $j = 1, 2, \dots, jJ$ , действующего от  $l = 0, 1, 2, \dots, kK$  источника. Множество нечётких функций ослабления при передаче различных видов воздействий от источников непосредственно на элементы системы задается в виде:  $F = f_{mlk}(t)$ , где  $f$  — зависящее от времени нечёткое значение коэффициента ос-

лабления,  $f \in [0, 1]$ , описанного функцией принадлежности  $\mu_f(\lambda) \in [0, 1]$ , параметра  $m$  вида, представляющего  $t$  вид воздействия, действующего от  $l$  источника воздействия на  $k$ -й вход  $x$  уязвимости.

Предполагается, что в системе текущее (исходное) состояние  $\xi$  защищённости определяется четкой областью носителей параметров и функций указанных множеств, а возможность реализации угрозы, как переход системы из состояния  $\xi$  в критическое и (или) надкритическое состояние  $Cr$ ,  $\xi \rightarrow Cr$  — их нечеткими областями существования. Требуется при стоимостных  $\$ \leq \$_{зад}$  и временных  $\tau \leq \tau_{тр}$  ограничениях на процесс подготовки и обработки исходных данных относительно выбранного исхода  $Cr$  установить возможностную меру перехода  $\xi \rightarrow Cr$  этой системы в критическое состояние (реализации угрозы):

$$Pos(\xi \rightarrow Cr) = Pos(F(V) \cap R \neq \emptyset / V_{Cr}^i \subseteq V^{AC}).$$

Пусть возможность несанкционированного отказа любого элемента системы описывается зависящими от времени нечеткими параметрами восприимчивости к инициированию (из-за неточной и неполной информации о них), выраженными в размерности воздействующих факторов, которые задаются в виде:  $R = (r_{mlk})$ , где  $r$  — в общем случае зависящий от времени нечеткий параметр  $m$  вида, описываемый функцией принадлежности  $\mu_r(\lambda)$  представляющий  $t$  вид фактора, который воспринимает  $k$ -я угроза.

Множество  $S$  — представление нечетких параметров воздействий, непосредственно действующих на элемент:  $S = (s_{mlk})$ , где  $s_{mlk} = v_{mlk} + f_{mlk}$ , для  $\forall m \in M, t \in T, l \in (0, 1, \dots, kK), k \in K$ . Кроме того, введем логическое множество  $B$  нечетких пересечений параметров воздействия и восприимчивости такое, что  $B = (b_{mlk})$ , где  $b_{mlk} = s_{mlk} \cap r_{mlk}$ , для  $\forall m \in M, t \in T, l \in L, k \in K$ .

Если на совокупности множеств  $V, F, R, S, B$  задать систему логических операций, например  $\{\wedge, \vee\}$ , которые с позиции происхождения описывают связи источников и их предпосылок между собой, и назвать это объединение базисом множеств, то на основе такого базиса достижимо выражение всех возможных причин и предпосылок опасности. В системе вида «воздействие–ослабление–восприим-

чивость», описывающей влияние эндогенных и экзогенных факторов физической, информационной природы, значения параметров воздействий  $v_i(x) = f_v(t, x)$  и восприимчивости элементов соответствующему виду воздействия  $r_i(x) = f_r(t, x)$  — есть нечеткие характеристики с прогнозируемыми областями их изменения. Описание угроз  $y(x_i) \in Y$  представляется в виде совокупности логических функций связности  $y(x_n) x_1 \vee x_2, \dots, x_{n-1} \wedge x_n$  характеристик  $x_i$  и логических операторов ( $\wedge$  и  $\vee$ ).

Полный факторный параметрический базис можно представить в виде куба (рис. 1), каждая точка которого соответствует определенному параметру конкретного вида фактора, действующего от данного источника на данный приемник.

При этом в каждом узле решетки создается свое собственное множество пространственно-временных зависимостей, описывающих параметры воздействия и восприимчивости. Каждый узел решетки (рис. 2) является началом координат для своего собственного множества, где  $t$  — временная ось,  $w_1, w_2$  — производные параметры, выражающие воздействие и восприимчивость по каждому параметру каждого вида фактора, действующего от источника  $l$  на приемник  $k$ .

Если учесть зависимость от пространственно-временных координат, то полные множества и булевы подмножества воздействий, восприимчивости и их пересечений имеют одинаковую размерность. Любое сечение куба (рис. 3) плоскостью, параллельной грани  $lO\tilde{t}$ , дает срез множества  $V$  (как пространственно-временного процесса), а сечение произвольной плоскостью,

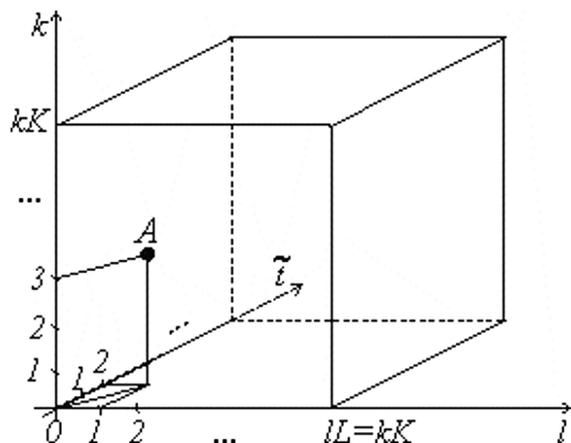


Рис. 1. Геометрическая интерпретация факторного параметрического базиса

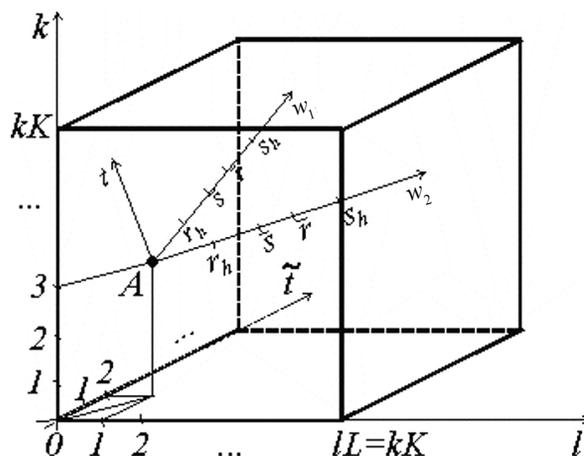


Рис. 2. Детализация характеристик факторного параметрического базиса в пространственно-временных координатах

параллельной грани  $lO\tilde{t}$ , дает срез множества  $R$  (только как временного процесса).

Очевидно, что для конкретной системы не все узлы решетки, формируемой сечением куба в факторном параметрическом базисе, будут задействованы. Множество существующих (ненулевых) узлов решетки образуют опорный базис конкретной системы. Таким образом установление возможностной меры  $\pi(\mu)$  реализации угрозы функциональной устойчивости в системе «угроза–мероприятия и средства защиты–уязвимость» рассматривается как задача об определении условий существования решения и нахождения меры реализации критерия превышения значения воздействия значению восприимчивости объекта  $t:s > r$ , если параметры  $s, r$  — нечеткие величины, ядра которых заданы, а границы их носителей установлены на уровне  $\alpha$  — среза [4].

Принято полагать [4, 6], что статистические данные о разбросе нечетких параметров  $S, R$  отсутствуют, но экспертным путем установлены области для ядер нечетких величин  $s, r$ , обозначаемых в виде  $\bar{s} \in [0, \bar{s}_h]$ ,  $\bar{r} \in [\bar{r}_l, \bar{r}_h]$ , а также области для носителей этих величин на уровне их  $\alpha$ -среза (рис. 4):

$$R_\alpha = \{ \lambda \mid \lambda \in X, \mu_r(\lambda) \geq \alpha : r_{al}, \bar{r}_l, \bar{r}_h \};$$

$$S_\alpha = \{ \lambda \mid \lambda \in X, \mu_s(\lambda) \geq \alpha : \bar{s}_l = 0, \bar{s}_h, s_{ah} \}.$$

Под границами  $r_{al}, s_{ah}$  носителей  $R_\alpha, S_\alpha$  подразумеваются возможные значения нечетких ве-

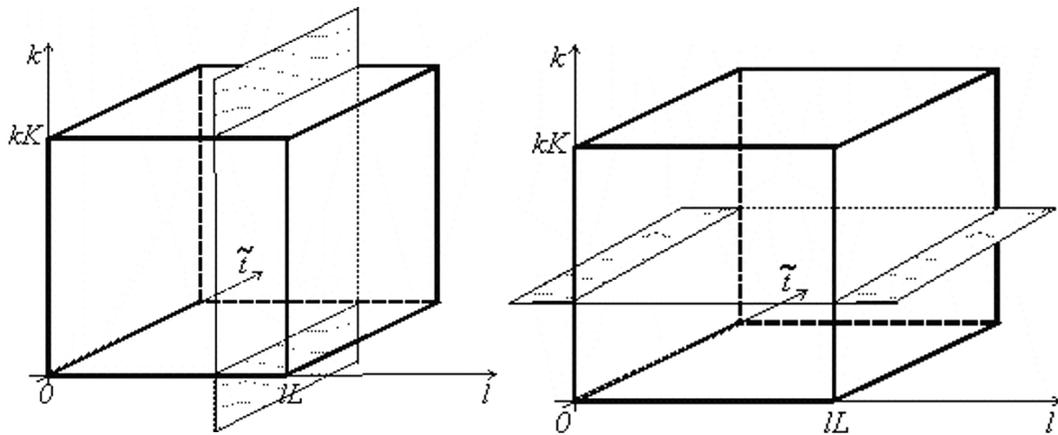


Рис. 3. Временные срезы  $r(t\sim)$  и  $v(t\sim)$

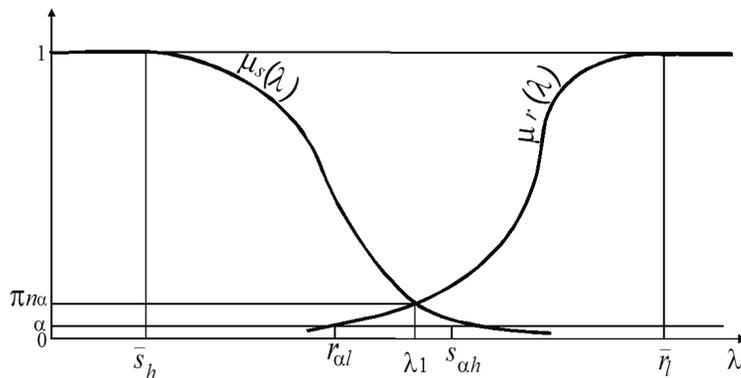


Рис. 4. Нахождение значения возможностной меры события  $\pi_\alpha(y)$  по нечёткому значению ядер и функций воздействия  $\mu_s(\lambda)_\alpha$  и восприимчивости  $\mu_r(\lambda)_\alpha$  на уровне допустимого значения ошибки  $\alpha$

личин  $r$  и  $s$ , которые эксперты различают со степенью уверенности, равной  $(1 - \alpha)$ , где  $\alpha$  — уровень различимости этих границ. В рамках этой модели, для «верхней»  $\bar{s}_h$  и «нижней»  $\bar{r}_l$  границ ядер задаётся условие  $\bar{s}_h \leq \bar{r}_l$  и полагается к рассмотрению, ввиду отсутствия дополнительной информации о законе распределения, Гауссова функция принадлежности  $\mu(\lambda)$ . Если функции принадлежности параметров  $s, r$  неизвестны, то количественная мера события  $\pi_\alpha(y)$  сможет быть найдена путем решения задачи о сравнении двух нечетких интервалов, где параметры,  $\Delta_\alpha s = s_{ah} - \bar{s}_h$ ,  $\Delta_\alpha r = r_{al} - \bar{r}_l$ , а также абсолютный «запас безопасности»  $zb$  и приведенный параметрический «запас безопасности»  $zb_\alpha$  выражаются следующим образом (для линейной функции распределения):

$$zb = \bar{r}_l - \bar{s}_h, \quad zb_\alpha = \frac{zb}{\Delta_\alpha s + \Delta_\alpha r}. \quad (1)$$

При нормальной (Гауссовой) аппроксимации функций принадлежности нечетких параметров  $s$  и  $r$  будет иметь вид

$$\mu_s(\lambda) = e^{-\frac{(\lambda - s_h)^2}{2\sigma_s^2}}, \quad \mu_r(\lambda) = e^{-\frac{(\lambda - r_l)^2}{2\sigma_r^2}}. \quad (2)$$

Возможностная мера превышения  $s$  над  $r$  есть значение функции принадлежности  $\mu_s(\lambda)_\alpha$  и  $\mu_r(\lambda)_\alpha$  в точке их пересечения —  $\lambda_1$ .

$$Pos(\bar{s} \bar{r}) = \sup_\lambda \inf_{r \geq s} \min(\mu_s(\lambda), 1 - \mu_r(\lambda)), \quad (3)$$

где  $\bar{s}$  — максимально возможное значение воздействия;

$\bar{r}$  — минимально возможное значение восприимчивости.

При этом значение оператора возможностной меры  $Pos(\bar{s} \bar{r})$  на основании формулы (3)

Зависимость потенциальной погрешности  $\Gamma_\pi$  от значения коэффициента  $k_e$

Коэффициент, $k_e$	Квантиль недоверия, $\nu$	Уровень различимости, $\alpha$	Потенциальная погрешность, $\Gamma_{\pi n}$
4,5	0,003	0,01 / 0,001	0,001 / 0,0001
8	0,00003	0,01 / 0,001	$4 \cdot 10^{-5}$ / $4 \cdot 10^{-6}$

находится по точке пересечения функций принадлежности  $\mu_s(\lambda)$  и  $\mu_r(\lambda)$ :

$$\pi(y)_\alpha = \mu_s(\lambda_1).$$

После подстановки (1) в (3), с учетом (2), аналитическая зависимость «нормальной» аппроксимации возможностной меры принимает следующий вид:

$$\pi_{n\alpha} = e^{-k_e \left( \frac{\bar{r}_i - \bar{s}_h}{\Delta_{\alpha s} + \Delta_{\alpha r}} \right)^2} = e^{-k_e (z b_\alpha)^2}. \quad (4)$$

Для установления потенциальной погрешности в определении возможностной меры отказа при условии, что уровень различимости  $\alpha$  параметров воздействия и чувствительности не ниже 0,001 [7–9].

$$\Gamma_\pi(\alpha) = \pi n(\bar{z} b_w) - \pi n(\bar{z} b_\alpha) = \pi n(1) - \pi n(1 + \alpha).$$

С учетом аппроксимаций  $\pi n_\alpha$  с коэффициентом  $k_e = 4,5; 8$  из зависимости (4) можно получить следующие соотношения

$$\Gamma_\pi(k_e = 4,5) \approx 0,1\alpha, \quad \Gamma_\pi(k_e = 8) \approx 0,004\alpha.$$

Для этого возьмем значения  $\alpha = 0,001; 0,01$  и учтем, что для  $k_e = 4,5$  и  $8$  соответствующие квантили недоверия равны  $\nu = 0,003$  и  $0,00003$ . Результаты расчета представлены в таблице.

Чтобы оценивать и различать меру отказа на уровне значений от 0,001 и выше, достаточно различать границы нечетких параметров модели отказа на уровне 0,01 и выше.

### Заключение

Таким образом, логико-параметрический подход позволяет на основе использования возможностной меры, как асимптоты вероятности  $\pi(y) \geq p(y)$ , получить количественную меру

реализации угрозы при неполных и/или недостоверных исходных параметрах видов воздействий.

### Литература

1. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. — СПб: Политехника, 2000. 248 с.
2. Есипов Ю.В., Самсонов Ф.А., Черемисин А.И. Мониторинг и оценка риска систем «защита-объект-среда». — М.: Издательство ЛКИ, 2008. 136 с.
3. Андрианов А.С., Вечёркин В.Б., Прохоров М.А. и др. Разработка подхода к автоматизации процесса первичной обработки исходных данных для анализа устойчивости автоматизированных систем специального назначения в условиях деструктивных воздействий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 10. С. 463–472.
4. Самсонов Ф.А., Цветков А.Ю., Прохоров М.А. Разработка метода повышения эффективности управления информационными потоками в сетях автоматизированных систем специального назначения с помощью имитационной модели // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10 (Ч. 2). С. 313–318.
5. Прохоров М.А., Цветков А.Ю., Толмачев А.А. Разработка автоматизированной системы развертывания программного обеспечения автоматизированных рабочих мест центра управления полетами космических аппаратов // Новые материалы и технологии в космической технике. Космические аппараты и технологии. Т. 4. № 1 (31). 2020. С. 20–25.
6. Цветков А.Ю., Прохоров М.А., Авдеев С.Н. Совершенствование методов проектирования информационного обеспечения автоматизированных систем специального назначения в интересах их сопряжения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 7–8 (157–158). С. 30–36.

7. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс, и техногенная безопасность. — СПб: Наука, 2015. 610 с.

8. Чобанян В.А. Методы определения и контроля эксплуатационных требований к перспективным сложным системам. — М.: ВА РВСН, 2013. 344 с.

9. Бутырин А.В., Тарасов А.Г. и др. Нейронечеткая модель шкалы оценок параметров технического состояния автоматизированных систем специального назначения // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2019. Вып. 669. С. 139–145.

### References

1. Ryabinin I.A. Reliability and safety of structural complex systems. — SPb: Politehnika, 2000. 248 p.

2. Yesipov Yu.V, Samsonov F.A., Cheremisin A.I. Monitoring and assessment of the risk of «Protection-Object-Environment» systems. — М.: Izdatel'stvo LKI, 2008. 136 p.

3. Andrianov A.S., Vechorkin V.B., Prokhorov M.A. et al. Development of an approach to automating the primary processing of source data for analyzing the stability of automated special systems in destructive impact conditions // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2018. № 10. P. 463–472.

4. Samsonov F.A., Tsvetkov A.Y., Prokhorov M.A. Development of a method for improving the efficiency of information flow management in networks of automated special purpose systems using a simulated model // *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*. 2019. № 10 (Part. 2). P. 313–318.

5. Prokhorov M.A., Tsvetkov A.Y., Tolmachev A.A. Development of an automated system for deploying software of automated workplaces of the Center for Flying Management of Space Actors // *Novyye materialy i tekhnologii v kosmicheskoy tekhnike. Kosmicheskkiye apparaty i tekhnologii*. T. 4. № 1 (31). 2020. P. 20–25.

6. Tsvetkov A.Yu., Prokhorov M.A., Avdeev S.N. Improving the methods of designing information support for automated special purpose systems in the interests of their interface // *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskiye sredstva protivodestviya terrorizmu*. 2021. № 7–8 (157–158). P. 30–36.

7. Makhutov N.A. Structural strength, resource, and technogenic safety. — SPb: Nauka, 2015. 610 p.

8. Chobanyan V.A. Methods for determining and monitoring operational requirements for promising complex systems. — М.: VA RVSН, 2013. 344 p.

9. Butyrin A.V., Tarasov A.G. et al. A neuronomague model of the scale of assessments of the parameters of the technical condition of automated special-purpose systems // *Trudy of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2019. Issue 669. P. 139–145.