

Захаров Иван Вячеславович

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры математического и программного обеспечения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. SPIN-код: 7421-0234, AuthorID: 798392.

Электронный адрес: x.vano-z80@yandex.ru

Ivan V. Zakharov

Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor at the department of mathematics and software, A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg. SPIN-code: 7421-0234, AuthorID: 798392.

E-mail address: x.vano-z80@yandex.ru

Терехов Владимир Геннадиевич

кандидат военных наук, доцент, старший преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и сетей, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. SPIN-код: 3266-6624, AuthorID: 726737.

Электронный адрес: vter2@rambler.ru

Vladimir G. Terekhov

Ph.D. of Military Sciences, Docent, Senior Lecturer at the Department of information and computing systems and networks, A.F. Mozhaysky Military Space Academy, Saint Petersburg. SPIN-code: 3266-6624, AuthorID: 726737.

E-mail address: vter2@rambler.ru

Соколовский Алексей Николаевич

кандидат технических наук, преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и сетей, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург.

Электронный адрес: sokolovskij2007@yandex.ru

Aleksey N. Sokolovsky

Ph.D. of Technical Sciences, Lecturer at the Department of information and computer systems and networks, A.F. Mozhaysky Military Space Academy, Saint-Petersburg.

E-mail address: sokolovskij2007@yandex.ru

Мусаллам Али

адъюнкт, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург.

Электронный адрес: vka_24kaf@mil.ru

Mousallam Ali

adjunct, F. Mozhaysky Military Space Academy, Saint-Petersburg.

E-mail address: vka_24kaf@mil.ru

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ПРЕВЕНТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕГРАДИРУЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ МОБИЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Аннотация. В статье предложены некоторые критерии выбора конфигураций перестраиваемой информационно-вычислительной структуры мобильного объекта, которые учитывают анализ условий функционирования аппаратуры, состояние системы, априорный и остаточный ресурс ее элементов, прогнозирование деградации с учетом воздействующих факторов, исходя из сценария ее функционирования, а также значимость решаемых задач. Кратко приведено их обоснование и сравнительный анализ,

Обоснование критериев превентивного управления деградирующей информационно-вычислительной структурой мобильного объекта

отмечены более предпочтительные. Необходимость поддержания информационно-вычислительной структуры мобильного объекта в оптимальном с позиций обеспечения его целевых задач состоянии ставит проблему оперативного управления параметрами функционирования информационно-вычислительной структуры. Решение задачи конфигурирования мобильного объекта с учетом состояния информационно-вычислительной структуры и параметров внешней среды сводится к отысканию оптимальной в смысле некоторого критерия конфигурации. Прогностический характер оценок качества функционирования системы связан с факторами неопределенности управления ею при последующих реконфигурациях и ведет к неоднозначности построения соответствующего критерия.

Ключевые слова: информационно-вычислительная структура, мобильный объект, прогнозирование деградации, превентивное управление, реконфигурация.

Для цитирования: Захаров И.В., Терехов В.Г., Соколовский А.Н., Мусаллам А. Обоснование критериев превентивного управления деградирующей информационно-вычислительной структурой мобильного объекта // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2025. № 1. С. 38 – 46. DOI: 10.18137/RNUV9187.25.01.P38

JUSTIFICATION OF CRITERIA FOR PREVENTIVE MANAGEMENT
OF THE DEGRADING INFORMATION AND COMPUTING STRUCTURE
OF A MOBILE FACILITY

Abstract. The article proposes some criteria for choosing configurations of the mobile facility rebuilt information and computing structure, which take into account the analysis of the operating conditions of the mobile facility equipment, the state of the information and computing structure, the a priori and residual resource of its elements, the prediction of degradation taking into account the influencing factors based on the scenario of its functioning, as well as the importance of the tasks to be solved. Their justification and comparative analysis are briefly presented, and more preferred ones are noted. The need to maintain the information and computing structure of a mobile facility in an optimal state from the standpoint of ensuring its target tasks poses the problem of operational management of the parameters of the functioning of the information and computing structure. The solution to the problem of configuring the information and computing structure of the Ministry of Defense, taking into account its condition and the parameters of the external environment, is reduced to finding the optimal configuration in the sense of a certain criterion. The predictive nature of the system's functioning quality assessments is associated with uncertainty factors of its management during subsequent reconfigurations, and leads to ambiguity in the construction of the corresponding criterion.

Keywords: information and computing structure, mobile facility, degradation forecasting, preventive management, reconfiguration.

For citation: Zakharov I.V., Terekhov V.G., Sokolovsky A.N., Mousallam A. (2025) Justification of criteria for preventive management of the degrading information and computing structure of a mobile facility. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, analysis, management.* No. 1. Pp. 38 – 46. DOI: 10.18137/RNUV9187.25.01.P38 (In Russian).

Введение

Проблема конфигурирования мобильного объекта (далее – МО) с учетом состояния информационно-вычислительной структуры (далее – ИВС) и параметров внешней среды сводится к отысканию оптимальной в смысле некоторого критерия конфигурации. Являясь объектом, характеризующимся нестационарностью внешней и внутренней среды, ИВС МО обладает специфическими особенностями с позиций ее рассмотрения как объекта реконфигурации:

- существенной зависимостью качества функционирования от потока решаемых задач;
- изменением вычислительной структуры в связи с ее деградацией;
- нестационарностью потоков неисправностей в ИВС как в сложной системе;
- необходимостью вариации структуры и (или) решаемых задач при отказах.

При наличии исчерпывающей информации о воздействующих факторах (далее – ВФ) и достаточно адекватной модели функционирования, решив соответствующую оптимизационную задачу, можно решить вопрос выбора оптимальной в смысле некоторого критерия конфигурации ИВС МО.

Пусть H – условия эксплуатации ИВС МО; U – управляемый фактор, который может изменяться целенаправленно в процессе работы системы; $\Delta J = \Delta J(H, U)$ – показатель качества функционирования ИВС МО, характеризующий ее работу в условиях H при управлении U . Выражение $\Delta J(H, U)$ для сложных систем, как правило, не задается аналитически в явном виде, что исключает возможность вычисления интегрального критерия $J(U) = \int \Delta J(H, U) f(H) dH \rightarrow \text{extr}$, необходимого для синтеза оптимального управления U , где, кроме того, $f(H)$ – статистические свойства условий (плотность распределения) эксплуатации ИВС МО – обычно неизвестны.

В связи с этим общей тенденцией развития интеллектуальных систем управления МО является создание средств и методов, направленных на достижение задаваемых целей управления в условиях динамики внешней среды. Методология изучения функционирования МО интенсивно развивается [1; 2]. В опубликованных работах рассмотрены подходы к управлению мобильными объектами в нестандартных ситуациях; рассмотрены примеры решения задач с использованием интеллектуальных систем в процессе управления МО; исследуются вопросы диагностики работоспособности бортовой аппаратуры МО и выработки рекомендаций по устранению нестандартных ситуаций; представлены варианты построения базы знаний, основные алгоритмы функционирования. Однако анализ отечественных и зарубежных материалов показывает отсутствие общего методологического подхода к конфигурированию ИВС МО: предпочтительность выбираемой стратегии управления системой рассматривается с позиций ее работоспособности применительно к текущей ситуации, без учета влияния этого выбора на ее дальнейшее функционирование.

Общая постановка задачи превентивного управления

Будем полагать, что конфигурация ИВС МО определяет режимы работы ее элементов (аппаратную конфигурацию) и функциональный режим (далее – ФР) – выполняемый комплекс вычислительных задач, соответствующий режиму функционирования МО и параметрам соответствующих целевых задач циклограммы на заданном интервале времени [3]. Априори для каждой ситуации на основе заданных моделей физических процессов, произво-

Обоснование критериев превентивного управления деградирующей информационно-вычислительной структурой мобильного объекта

длительности и целевого эффекта моделируется функционирование ИВС МО и осуществляется поиск ее конфигурации, обеспечивающей предельно возможную результативность на интервале функционирования. В силу неопределенности внешних воздействий принимается сценарный подход, при котором рассматривается множество сформированных экспертными методами наборов параметров (сценариев) условий функционирования [4]. Сценарии имеют определенный вес и охватывают спектр возможных ситуаций на борту МО. На основе сценариев строится прогнозирование траекторий деградации ИВС МО с учетом динамики внешней среды и выработанных элементами системы ресурса и формируются соответствующие оценки ее результативности функционирования для данного сценария, что позволяет оценить интегральный полезный эффект на интервале функционирования.

Таким образом, в общем виде задача сводится к отысканию оптимальной конфигурации ИВС МО по заданному критерию, исходя из прогноза ее функционирования, учитывающего ее состояние и ресурс элементов, параметры ВФ и важность решаемых задач. При этом прогнозируемые оценки ожидаемого целевого эффекта будем получать на основе модели функционирования ИВС МО, где агрегирующим показателем выступает интегральный коэффициент результативности функционирования ИВС МО, который в общем виде представляется как

$$J = \int_0^{\infty} \int_0^{v_0} f(v, t | G) \max_{\xi} \{C_{\xi} P(\xi, v | S)\} dv dt = \int_0^{T_{CAC}} \Delta J(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где v – показатель производительности ИВС МО; $f(v, t | G)$ – плотность распределения показателя производительности ИВС в момент времени t ; G – аппаратная конфигурация ИВС, ξ – функциональный режим (ФР) ИВС; $P(\xi, v | S)$ – вероятность успешного выполнения вычислительных задач; C_{ξ} – коэффициент ценности вычислений; S – структура ИВС МО; T_{CAC} – срок активного функционирования МО; ΔJ – динамический коэффициент результативности функционирования ИВС МО [5].

Превентивное конфигурирование предполагает, что параметры G функционирования элементов ИВС выбираются исходя из ее состояния Θ , параметров условий эксплуатации H и состояния A обеспечиваемой системы (МО в целом) согласно заданному правилу $CF : \langle \Theta, A, H \rangle \rightarrow G$. Таким образом, задача сводится к отысканию оптимального в смысле некоторого критерия оценивания и выбора аппаратной конфигурации G . Его построение неоднозначно, поскольку прогностический характер оценки связан с факторами неопределенности управления системой при ее последующих реконфигурациях: при выборе конфигурации в текущий момент неизвестно, какие конфигурации будут выбраны на последующих интервалах ее функционирования. Это ведет к неточности прогнозируемой оценки и, таким образом, ставит вопрос обоснования правила ее формирования. При этом, с одной стороны, необходимо снижать ее методическую погрешность для обеспечения близости решения по выбору конфигурации к оптимальному, с другой – способ ее получения должен обладать приемлемой трудоемкостью.

Обоснование и сравнительный анализ критериев выбора конфигураций ИВС

Суть функционирования ИВС МО можно представить как расходование ею своих ресурсов в обмен на выполняемую вычислительную работу (целевой эффект) и в результате внешних воздействий. При этом отказы элементов, то есть скачкообразные изменения

характеристик системы, во-первых, будут происходить в случайные моменты времени, во-вторых, будут вызывать изменение ее конфигурации. Поэтому выбор конфигурации $G^*(t; t + \Delta t)$ ИВС МО на некотором интервале $(t; t + \Delta t]$ должен учитывать зависимость качества функционирования системы на последующих интервалах времени $t + \Delta t; \infty$ от того, как изменилось ее состояние и какой ресурс R будет выработан на данном интервале. Случайный характер моментов времени реконфигурации серьезно затрудняет применение точных методов и требует эвристических подходов к построению критериев оценки конфигураций ИВС МО.

Рассмотрим варианты критерия оценки и выбора конфигурации G^* .

«Жадный» критерий

$$G^* = \arg \max_{G \in \mathbb{G}} \{ \Delta J(t_0; t_0 + \Delta t | G_k) \}. \quad (2)$$

Его суть состоит в выборе конфигурации, соответствующей максимально возможной в текущем состоянии результативности ΔJ , следовательно, производительности ИВС МО. Соответствующая процедура выбора конфигурации достаточно проста, однако при этом не учитывается прогноз дальнейшего функционирования системы.

«Умеренно жадный» критерий

$$G^* = \arg \max_{G \in \mathbb{G}} \left\{ \frac{\Delta J(t_0; t_0 + \Delta t | G_k)}{\Delta \rho(t_0; t_0 + \Delta t | G_k)} \right\}. \quad (3)$$

Выбирается конфигурация, соответствующая максимуму отношения «результативность/расход ресурса», где $\Delta \rho(G_k)$ – изменение коэффициента ресурса ИВС МО, определяемого следующим образом.

Обозначим коэффициент выработки ресурса элементом ζ_i относительно априорной оценки его запаса через

$$\tilde{\pi}_i(t) = \frac{t}{\int_0^\infty p_i(\tau) d\tau}, \quad (4)$$

а коэффициент выработки ресурса относительно его ожидаемой величины

$$\pi_i(t) = \frac{t}{t + \int_t^\infty p_i^*(\tau) d\tau}, \quad (5)$$

где $p_i(t)$ и $p_i^*(t)$ – соответственно, априорная и апостериорная оценки вероятности безотказной работы i -го элемента. Для пояснения физического смысла отметим, что $\pi_i \in [0; 1]$; $\hat{\pi}_i \in [0; \infty]$; $\pi_i(0) = \tilde{\pi}_i(0) = 0$; $\pi_i(\hat{T}_x) = 1$, где \hat{T}_x – случайный момент времени выхода элемента из строя. Коэффициентом значимости i -го элемента назовем величину

$$\bar{K}_i = \frac{\int_0^{T_{CAC}} K_i(\tau) d\tau}{T_{CAC}}, \quad K_i(t) = 1 - \frac{\bar{v}_i^*(t)}{\bar{v}(t)}, \quad (6)$$

где \bar{v}_i^* – математическое ожидание определяющего показателя качества (например, производительности) ИВС МО при условии, что элемент ζ_i неработоспособен. Величины \bar{v} и \bar{v}_i^* в общем случае рассчитываются для некоторого момента t времени как

Обоснование критериев превентивного управления деградирующей информационно-вычислительной структурой мобильного объекта

$$v = \sum_{k=1}^{2^N} v(\Theta_k)P(\Theta_k); \bar{v}_i^* = \sum_{\Theta_k: \theta_i=0} v(\Theta_k)[P(\Theta_k) + P(\Theta_{k+2^{i-1}})] \quad (7)$$

через вероятности $P(\Theta_k)$ пребывания системы в состояниях Θ_k , полученные исходя из вероятностей работоспособности элементов $p_i(t)$, где $v(\Theta_k)$ – показатель производительности ИВС МО в состоянии Θ_k либо согласно подходу, изложенному в [5]. Указанный коэффициент значимости K_i принимает единичное значение у элемента, выход которого из строя приводит к полному отказу системы, и нулевое – у элемента, не влияющего на ее производительность. Вид зависимости $K_i(t)$ может носить различный характер, поэтому в (6) для данной структуры ИВС МО рассчитываются усредненные по рассматриваемому интервалу функционирования коэффициенты значимости \bar{K}_i .

Выработанный системой в целом ресурс определяется взвешенными по значимости элементов их коэффициентами выработки ресурса

$$\rho(t) = 1 - \frac{\sum_N^{i=1} (1 - \bar{K}_i)(1 - \pi_i(t))}{\sum_N^{i=1} (1 - \bar{K}_i)} \quad (8)$$

Критерий (3) также характеризуется простотой реализации. Можно показать, что для ряда простых случаев такой выбор является оптимальным, однако в общем случае целевой эффект системы при ее функционировании на последующих интервалах учитывается весьма опосредованно.

«Остаточный» критерий

$$G^* = \arg \max_{G_k \in \mathbb{G}} \left[\Delta J(t_0; t_0 + \Delta t | G_k) + \Delta \tilde{J} \right], \Delta \tilde{J} = \Delta J(t_0 + \Delta t; \infty | G_{\max}) \quad (9)$$

В данном случае функционирование ИВС МО рассматривается на двух интервалах: 1) на ближайшем $(t_0; t_0 + \Delta t)$ в конфигурации G^* и 2) от момента $(t_0 + \Delta t)$ до полной неработоспособности в конфигурациях G_{\max} , соответствующих максимальному динамическому коэффициенту результативности функционирования ИВС $\Delta J(t) \rightarrow \max$ (выбираемых по «жадному» критерию). Процедура выбора конфигурации в данном случае является более трудоемкой, но базируется на более точной оценке конфигураций.

«Двухинтервальный» критерий является обобщением (9) за счет поиска пары $\langle G_1^*(t_0; t_0 + \Delta t); G_2^*(t_0; t_0 + \Delta t) \rangle$ вместо поиска $G_1^*(t_0; t_0 + \Delta t)$ при фиксированном выборе и обладает существенно более трудоемкой реализацией, однако учитывает рациональность управления на интервале прогнозирования $[t + \Delta t; \infty)$.

«Рекурсивный» критерий основывается на применении принципа оптимальности по Беллману, который сводит задачу к рекуррентному виду. На очередном k -м интервале функционирования ИВС определяется такая ее конфигурация G_k^* , которая обеспечит наибольший целевой эффект с учетом ожидаемого остаточного ресурса на последующих интервалах. Выбирая на очередном интервале некоторую конфигурацию G_k , рекуррентно можно рассчитать ожидаемый расход ресурсов ΔR_k и показатель целевого эффекта

ΔJ_k . Основное соотношение метода динамического программирования в этом случае будет представлено в виде

$$\begin{aligned} G^* &= G_1, G_k^* = \arg \max_{G_k \in \mathbb{G}} J_k(G_k, R_k), \\ J_k(G_k, R_k) &= \Delta J_k(G_k, R_k) + J_{k+1}(G_{k+1}, R_{k+1}), \\ R_{k+1} &= R_k + \Delta R_k(G_k, R_k), k = \overline{1; M}, J_{M+1} = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где R_k – выработанный ресурс ИВС МО на k -м интервале.

Точность оценивания конфигураций для данного способа определяется количеством M интервалов планирования, ограниченными возможностями вычислительных средств в связи с мощностью множества возможных конфигураций. Если k – число конфигураций, M – число интервалов планирования, l – количество режимов работы элемента, N – число элементов, то при решении задачи данным способом число итераций может достигать $k! / (k - M + 1)!$, $k = l^N$. Так как на практике решение указанной задачи требуется получить для множества наборов исходных данных (условий эксплуатации и исходного состояния ИВС МО), то с использованием имитационного моделирования вычислительная трудоемкость динамического программирования существенно ограничивает его применимость для решения рассматриваемой задачи.

«Ресурсный» критерий: в отличие от критерия (10) на интервалах планирования рекурсивно выбираются не конфигурации G_k^* , а величины изменения коэффициента ресурса системы $\Delta \rho_k^*$:

$$\begin{aligned} G^* &= \arg \min_{G_k \in \mathbb{G}} \left| \rho(G_k) - \Delta \rho_1^* \right|, \\ \tilde{\Delta \rho}_k^* &= \arg \max_{0 \leq \Delta \rho_k \leq 1 - \rho_k} \left[\Delta J_k(\Delta \rho_k) + \Delta J_{k+1}(\rho_{k+1}) \right], \\ \rho_{k+1} &= \rho_k + \Delta \rho_k(\rho_k), k = \overline{1; M}, J_{M+1} = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

При этом значения $\Delta \rho_k$ изменяются дискретно, исходя из трудоемкости реализации рекурсивных вычислений, а конфигурация G_1^* определяется как обеспечивающая наиболее близкий расход ресурса к вычисленному значению $\left| \Delta \rho(G_1^*) - \Delta \rho_1^* \right| \rightarrow 0$. Поскольку свертывание типов ресурсов и выработки ресурса элементами в коэффициент ресурса ИВС МО позволяет снизить вычислительную трудоемкость рекурсии, процедура выбора конфигурации по сравнению с (10) существенно упрощается.

Представленные варианты можно рассматривать как последовательные обобщения критериев или, наоборот, как вырожденные частные случаи.

В результате анализа указанных критериев оценки и выбора конфигураций ИВС МО, к примеру, в [5; 6], как наиболее предпочтительный использован способ, близкий к «двух-интервальному» критерию. Однако при этом в качестве конфигурации G_2^* выступает не G_{\max} , а заранее определенная конфигурация \tilde{G} для состояния $\Theta_x = \Theta(t_x)$, в которое попадает ИВС МО в момент t_x :

$$J^{**}(G_k) = \Delta J(t_0; t_x | G_k) + \Delta J(t_x; t_s | \tilde{G}). \quad (12)$$

Заключение

Выбор конфигурации (параметров функционирования аппаратных компонентов и вычислительных задач) ИВС МО, как правило, неоднозначен. Так, конфигурация ИВС с высокой производительностью обеспечивает высокое качество решения задач на заданном интервале времени, но вследствие более интенсивного расходования ресурсов может снижать ожидаемый целевой эффект при дальнейшем функционировании. Таким образом, возникает проблема выбора конфигурации ИВС по некоторому критерию с учетом текущих и прогнозируемых условий МО. При этом необходимо учитывать ограниченные возможности бортовых вычислительных средств и существенные временные ограничения (время планирования должно быть сопоставимо с временем перехода на ненагруженный резерв).

Предложенные критерии выбора конфигураций перестраиваемой ИВС учитывают анализ условий функционирования аппаратуры на борту МО, прогнозирование деградации с учетом воздействующих факторов, состояния ИВС, априорного и остаточного ресурса ее элементов, исходя из сценария ее функционирования, а также значимость решаемых задач. Их использование позволяет подготовить предложения по совершенствованию алгоритмов оперативного управления конфигурациями ИВС МО, обеспечивая требуемые уровни оперативной готовности информационно-вычислительных ресурсов мобильного объекта и требуемые показатели устойчивости вычислительных процессов на борту МО [5; 6; 7].

Литература

1. Соколов Н.А., Селезнева И.А., Корниенко Ю.А. Использование интеллектуальных систем в управлении космическими аппаратами // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 3. С. 29–36. EDN TXHVXB.
2. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 1 (162). С. 162–174. EDN TNACSR.
3. Захаров И.В., Соколовский А.Н., Терехов В.Г. Превентивное конфигурирование бортовых вычислительных систем на основе прогнозирования их деградации // Естественные и технические науки. 2018. № 9 (123). С. 137–139. EDN YLEYOL.
4. Захаров И.В., Терехов В.Г., Соколовский А.Н., Мусаллам А. Сценарное прогнозирование деградации информационно-вычислительных ресурсов подвижного объекта // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2024. № 2. С. 52–59. EDN FZGWMD. DOI: 10.18137/RNUV9187.24.02.P.52
5. Басыров А.Г., Забузов В.С., Захаров И.В. Метод превентивного функционально-параметрического конфигурирования бортовой вычислительной системы космического аппарата на основе прогнозирования ее деградации // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 665. С. 183–193. EDN LPVIDL.
6. Захаров И.В., Терехов В.Г., Соколовский А.Н., Зыкова С.С. Реконфигурация бортового комплекса подвижного объекта на основе моделирования вариантов его структурной деградации // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2022. № 4. С. 39–46. EDN XQASTT. DOI: 10.18137/RNUV9187.22.04.P.39

7. Захаров И.В. Рациональный выбор структур и конфигураций неоднородных вычислительных систем при помощи эволюционного поиска // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2018. № 1. С. 85–90. EDN ORYVQH. DOI: 10.25586/RNU.V9187.18.04.P.85.

References

1. Sokolov N.L., Selezneva I.A., Kornienko Yu.A. (2015) Using Intelligent Systems to Control Spacecraft. *Forestry Bulletin*. Vol. 19. No. 3. Pp. 29–36. (In Russian).
2. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. (2015) Conception of complex objects proactive monitoring management and control: Theoretical and technological foundations. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. No. 1 (162). Pp. 162–174. (In Russian).
3. Zakharov I.V., Sokolovsky A.N., Terekhov V.G. (2018) Preventive Configuration of Onboard Computing Systems Based on Forecasting Their Degradation. *Natural and Technical Sciences*. No. 9 (123). Pp. 137–139. (In Russian).
4. Zakharov I.V., Terekhov V.G., Sokolovsky A.N., Musallam A. (2024) Scenario forecasting of degradation of information and computing resources of a mobile object. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, analysis, management*. No. 2. Pp. 52–59. DOI: 10.18137/RNU.V9187.24.02.P.52 (In Russian).
5. Basyrov A.G., Zabuzov V.S., Zakharov I.V. (2018) Method of preventive functional-parametric configuration of the on-board computing system of a spacecraft based on forecasting its degradation. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. No. 665. Pp. 183–193. (In Russian).
6. Zakharov I.V., Terekhov V.G., Sokolovsky A.N., Zykova S.S. (2022) Reconfiguration of the on-board complex of a mobile object based on modeling of its structural degradation options. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, analysis, management*. No. 4. Pp. 39–46. DOI: 10.18137/RNU.V9187.22.04.P.39 (In Russian).
7. Zakharov I.V. (2018) Rational selection of structures and configurations of heterogeneous computing systems using evolutionary search. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, analysis, management*. No. 1. Pp. 85–90. DOI: 10.25586/RNU.V9187.18.04.P.85 (In Russian).

Поступила в редакцию: 04.02.2025

Received: 04.02.2025

Поступила после рецензирования: 26.02.2025

Revised: 26.02.2025

Принята к публикации: 11.03.2025

Accepted: 11.03.2025