

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

FUNDAMENTALS OF RELIABILITY AND QUALITY ISSUES

УДК 519.81: 629.039.58

doi: 10.21685/2307-4205-2025-1-1

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

О. В. Абрамов

Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, Россия
abramov@iacp.dvo.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассмотрены некоторые подходы к решению проблемы обеспечения техногенной безопасности, базирующиеся на идеях функционально-параметрического направления теории надежности. *Материалы и методы.* Предложены формальные постановки некоторых модификаций задачи обеспечения безопасности и исследован один из возможных методов решения задачи снижения рисков возникновения чрезвычайных (аварийных) ситуаций. *Результаты и выводы.* Предлагаемые математические модели могут служить основой решения задач управления надежностью и безопасностью сложных систем ответственного назначения.

Ключевые слова: надежность, безопасность, параметр, математическая модель, прогноз, случайный процесс, мониторинг, техническое состояние

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ИАПУ ДВО РАН (тема № FWW-2021-0003).

Для цитирования: Абрамов О. В. Функционально-параметрическое направление теории надежности и проблема обеспечения техногенной безопасности // Надежность и качество сложных систем. 2025. № 1. С. 5–11. doi: 10.21685/2307-4205-2025-1-1

FUNCTIONAL-PARAMETRIC DIRECTION OF RELIABILITY THEORY AND THE PROBLEM OF ENSURING TECHNOGENIC SAFETY

O.V. Abramov

Institute for Automation and Control processes, Far Eastern Branch
of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia
abramov@iacp.dvo.ru

Abstract. *Background.* Some approaches to solving the problem of ensuring technogenic safety based on the ideas of the functional-parametric direction of reliability theory are considered. *Materials and methods.* Formal formulations of some modifications of the safety task are proposed and one of the possible methods for solving the problem

of reducing the risks of emergency situations is investigated. *Results and conclusions.* The proposed mathematical models can serve as the basis for solving problems of reliability and security management of complex responsible systems.

Keywords: reliability, safety, parameter, mathematical model, forecast, random process, monitoring, technical condition

Financing: the work was carried out within the framework of the state assignment of the IAP Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (topic no. FFW-2021-0003).

For citation: Abramov O.V. Functional-parametric direction of reliability theory and the problem of ensuring technogenic safety. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2025;(1):5–11. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2025-1-1

Введение

Проблема обеспечения безопасности во многом связана с задачей предотвращения отказов технических устройств и систем, которые могут привести к возникновению чрезвычайных (аварийных) ситуаций [1–4]. По данным МЧС РФ, техногенные чрезвычайные ситуации (ЧС) составляют около 70 % от общего числа ЧС. Высокий уровень чрезвычайных ситуаций техногенного характера делает актуальным решение целого ряда новых задач обеспечения надежности и безопасности.

Говоря о техногенном факторе, прежде всего, имеют в виду неудовлетворительное техническое состояние исследуемого объекта, следствием которого становится потеря работоспособности (отказ) техники. Причинами отказа могут стать ошибки, допущенные на этапе проектирования, недостатки выбранной технологии производства и соответствующих средств реализации проектных решений, несовершенство процесса испытаний или ошибки, которые могут быть допущены на этом этапе производства, и, наконец, риск возникновения аварийных ситуаций во многом связан с недостатками процесса эксплуатации технических устройств и систем. Одним из перспективных путей решения проблемы обеспечения безопасности (снижения аварийности) может стать использование методов и средств функционально-параметрического направления теории надежности [5, 6].

Деградационные изменения параметров технических устройств и систем как причина нарушения условий безопасности

В соответствии с методологией функционально-параметрического направления теории надежности (ФП-подхода) процесс функционирования системы и ее техническое состояние в любой момент времени определяются конечным набором некоторых переменных – параметров системы, а все отказы (рисковые события) есть следствие эксплуатационных отклонений параметров от их некоторых исходных (номинальных, расчетных) значений [5]. Формой проявления отказа является нарушение условий работоспособности: выход параметров состояния технической системы за пределы области допустимых значений (области работоспособности).

Основу методологии ФП-подхода составляют методы управления случайными процессами изменения (деградации) параметров исследуемых технических объектов [6].

Отклонения параметров образуются под влиянием различных факторов, действующих в процессе производства, хранения и эксплуатации, и имеют случайный характер. Поэтому параметры технических устройств и систем следует рассматривать как некоторые случайные функции времени, закономерности которых (модели случайных процессов деградации параметров) в рамках ФП-подхода должны быть известными [7, 8].

Моделирование процессов изменения параметров технического состояния систем ответственного назначения

Моделирование процессов изменения параметров особенно важно для объектов ответственного назначения, потеря работоспособности которых связана с большими материальными потерями или катастрофическими последствиями. В большинстве своем это сложные системы, изготавливаемые в небольшом числе экземпляров, эксплуатирующиеся в отличающихся условиях и реализующие экстремальные технологии. Стратегия эксплуатации таких систем должна носить индивидуальный и превентивный (упреждающий отказы) характер [9, 10]. Основные трудности при решении задачи синтеза стратегии их эксплуатации связаны с тем, что решение приходится осуществлять для каждого объекта индивидуально, при малых объемах исходной информации (по небольшому набору результатов

контроля) и в присутствии помех (ошибок контроля), статистические свойства которых достоверно не известны. В этих условиях целесообразно объединить всю доступную информацию как объективного (статистика, результаты измерений), так и субъективного (экспертного) происхождения, иначе говоря, воспользоваться экспертно-статистическим подходом.

В рамках экспертно-статистического подхода предполагается естественным воспользоваться той же схемой действий, которую обычно называют действиями по аналогии и базируются на тех «прецедентах», что составляют содержание накопленного опыта.

Суть подхода на основе метода аналогов заключается в том, чтобы объединить возможности современной информационной теории с аппаратом методов теории систем с искусственным интеллектом (которыми в данном случае являются различные компьютерные реализации схем действий по аналогии) [11–13]. Выбор данного подхода оправдан, если к моменту возникновения проблемы моделирования деградации технического состояния уже накоплен определенный опыт решения похожих проблем, возникающих ранее на подобных технических объектах (аналогах). Представление этого опыта в виде прецедентов и его автоматизированная обработка с помощью специализированных программных систем может позволить значительно повысить эффективность результатов.

Решение проблемы принятия решений по прецедентам основано на распознавании текущей проблемной ситуации, информация о которой представлена в виде некоторого образа (прецедента), и поиска похожих образов, содержащихся в хранилище образов (базе прецедентов) с последующей их адаптацией и использованием для решения задачи принятия решений.

Обеспечение техногенной безопасности объектов ответственного назначения

Решение задачи обеспечения безопасности систем ответственного назначения (СОН) в большей степени зависит от возможности мониторинга и прогнозирования их технического состояния или остаточного ресурса.

Под мониторингом понимается процесс получения и первичной обработки информации о техническом состоянии элементов СОН, воздействующих факторах окружающей среды и реализуемых СОН эксплуатационных процессах. Данные мониторинга являются важным элементом решения задачи оценки остаточного ресурса (запаса работоспособности), прогнозирования изменения технического состояния в процессе эксплуатации и снижения риска возникновения аварийных ситуаций (обеспечения требуемого уровня безопасности).

Проблема обеспечения техногенной безопасности (предупреждения отказов) СОН связана с решением следующих задач:

- оценка технического состояния системы в интересующий нас момент времени (заданный или рассчитываемый);
- оценка запаса работоспособности или остаточного ресурса в определенный момент времени;
- прогнозирование расходования ресурса (изменения технического состояния);
- выбор наиболее эффективной стратегии эксплуатации, гарантирующей сохранение работоспособности в течение заданного или рассчитываемого времени эксплуатации.

Важную роль при решении проблемы предотвращения отказов СОН и обеспечения безопасности играет прогнозирование расходования ресурса работоспособности в процессе эксплуатации.

Основные трудности при решении задачи прогнозирования для синтеза превентивной стратегии эксплуатации связаны с тем, что прогноз приходится осуществлять для каждого объекта индивидуально, при малых объемах исходной информации (по небольшому набору результатов контроля), и в присутствии помех (ошибок контроля), статистические свойства которых достоверно не известны. В этих условиях классические методы математической статистики и теории случайных процессов теряют свои привлекательные свойства, а их использование для прогнозирования приводит к существенным ошибкам и невысокой достоверности прогноза. В связи с этим необходимы расширение исходной информационной базы (за счет проведения комплексного обследования СОН и последующего мониторинга системы эксплуатации) и разработка новых методов прогнозирования, дополняющих уже известные.

В общем виде задача индивидуального прогнозирования технического состояния СОН сводится к оценке наблюдаемой в присутствии ошибок на интервале $T_p \subset T$, где T – интервал эксплуатации, реализации случайного процесса дрейфа выходных координат системы $y(t)$ при $t \in T \setminus T_p$. Рассмотрим постановку такой задачи.

Пусть изменения технического состояния системы на интервале эксплуатации могут быть описаны как

$$Y(t) = \mathbf{a}^T \mathbf{u}(t) + h(t), t \in T, \quad (1)$$

где $\mathbf{a} = \{a_j\}_{j=0}^n$ – вектор случайных коэффициентов; $\mathbf{u} = \{u_j(t)\}_{j=0}^n$ – непрерывные детерминированные функции времени; $h(t)$ – ошибка модели (1), о которой известно только, что она по модулю не превышает некоторой заданной величины (а в общем случае функции) $f(t)$:

$$|h(t)| \leq f(t). \quad (2)$$

Представление (1) можно рассматривать как некоторое разложение случайного процесса $Y(t)$ по координатному базису $\{u_j(t)\}_{j=0}^n$.

Реализация этого случайного процесса $y(t)$ наблюдается на интервале $T_p \subset T$ с аддитивной ошибкой $s(t)$. Наблюдения образуют последовательность $\mathbf{z} = \{z(t_k)\}_{k=1}^p$, $t_k \in T_p \subset T$. Вероятностные свойства $s(t)$ не определены, а известно только, что модуль ошибки не превышает $c(t)$.

Модель (1), ограничения на помехи (ошибки используемой модели и данные измерений \mathbf{z} , $t_k \in T_p \subset T$) составляют совокупность исходных сведений для решения задачи индивидуального прогнозирования. Ограниченность и неопределенность этих сведений, в частности, отсутствие достоверных сведений о вероятностных характеристиках возмущающих факторов, затрудняют получение оценок $y(t)$, $t \in T \setminus T_p$ с использованием известных статистических методов, таких как методы наименьших квадратов, наименьших модулей и др. Более пригодным здесь может быть построение искомых оценок из расчета на «наихудший» случай, т.е. на основе принципа минимакса.

Пусть в зависимости (1) модельные ошибки отсутствуют, т.е.

$$y(t) = \mathbf{a}^T \mathbf{u}(t), t \in T. \quad (3)$$

Предположим, что возможен непрерывный контроль $y(t)$, в результате которого получена реализация $z(t)$ на интервале $T_p \subset T$. Тогда с учетом возможной ошибки контроля можно записать

$$z(t) - c(t) \leq y(t) \leq z(t) + c(t), \quad t \in T_p \subset T. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что на интервале T_p истинная реализация $y(t)$ заключена в «трубке», ограниченной функциями $z(t) - c(t)$ и $z(t) + c(t)$. В этой трубке находится множество реализаций вида (3), которые назовем допустимыми. Для прогнозирования процесса $y(t)$ при $t \in T \setminus T_p$ выделим из этого множества «наихудшие», т.е. такие, которые при $t \in T \setminus T_p$ идут выше или ниже остальных.

Можно показать, что при наложении некоторых ограничений на функции $\mathbf{u} = \{u_j(t)\}_{j=0}^n$, в частности, если данные функции образуют на интервале T систему Чебышева, такими «наихудшими» реализациями будут экстремальные полиномы Карлина $y(t)^-$ и $y(t)^+$ [14, 15].

Функции $y(t)^-$ и $y(t)^+$ выделяют при $t \in T \setminus T_p$ так называемый «конус прогноза» в том смысле, что действительная реализация исследуемого процесса гарантированно находится внутри этого конуса при $t \in T \setminus T_p$.

Построим алгоритм нахождения экстремальных реализаций с учетом дискретности контроля. Можно показать, что в такой ситуации поиск $y(t)^-$ и $y(t)^+$ сводится к решению двух задач линейного программирования [14]:

$$\begin{aligned} 1) \max \quad & \mathbf{a}^T \mathbf{u}(t^*), \\ 2) \min \quad & \mathbf{a}^T \mathbf{u}(t^*), \quad t^* \in T \setminus T_p, \end{aligned}$$

при ограничениях

$$z(t_k) - c(t_k) \leq \mathbf{a}^T \mathbf{u}(t_k) \leq z(t_k) + c(t_k), \quad k = \overline{1, p}.$$

Рассматриваемый алгоритм прогнозирования отвечает общим требованиям, предъявляемым на практике к любой прогнозирующей процедуре. Он обладает свойством оптимальности (в минимаксном смысле), однозначности и несмещенности. Кроме ошибок измерений, в данном алгоритме можно учитывать и другие погрешности, в том числе и ошибки модели эксплуатационных изменений параметров технического состояния СОН (1). Их учет не оказывает принципиального влияния на процедуру построения «конуса прогноза». Если же базовая модель $y(t)$ содержит структурные ошибки, то для повышения точности прогноза можно использовать специальный алгоритм с адаптацией. Основная идея такого алгоритма аналогична принципам, заложенным в методах скользящего среднего или экспоненциального сглаживания и состоящим в задании различных весов результатам измерений.

Остановимся на использовании рассматриваемого алгоритма прогноза для решения задач оценки момента наступления отказа (рискового события) и принятия управленческих решений (назначения моментов контроля, прекращения эксплуатации и проведения профилактических корректировок параметров).

Пусть работоспособность объекта определяется состоянием контролируемого дискретно выходного параметра $y(t)$. В достаточно общей форме условие работоспособности может быть задано в виде

$$A(t) \leq y(t) \leq B(t),$$

где $A(t)$, $B(t)$ – нижняя и верхняя границы допустимых изменений параметров соответственно. Задача состоит в назначении таких моментов контроля и корректировок параметра (прекращения эксплуатации), при которых гарантируется его нахождение в области допустимых значений (выполнение условий работоспособности) в течение времени эксплуатации $[0, T]$. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы число контрольных замеров (и корректировок) было по возможности минимальным.

Пусть по результатам p контрольных измерений построены экстремальные реализации при $t > t_p$. Пересечение экстремальных реализаций с границами области допустимых изменений параметра $A(t)$ и $B(t)$ определит моменты времени τ_A и τ_B , минимальный из которых целесообразно принять за возможный момент наступления рискованного события:

$$t_{p+1} = \min\{\tau_A, \tau_B\}.$$

Моменты времени τ_A , τ_B находятся решением уравнений:

$$y(t)_- = A(t) \text{ и } y(t)_+ = B(t).$$

Очевидно, что в течение времени $t_r = t_{p+1} - t_p$ контролируемый параметр будет гарантированно находиться в области допустимых значений, поэтому до момента t_{p+1} производить измерение или корректировку параметра нет необходимости. В момент t_{p+1} следует провести очередное измерение параметра, результат которого (z_{p+1}, t_{p+1}) можно использовать для расчета параметров новых экстремальных реализаций. Определяется очередной промежуток времени, в течение которого параметр не выйдет за допустимые пределы. Если этот промежуток (назовем его интервалом гарантированной безопасной эксплуатации) окажется меньше некоторого наперед заданного минимально целесообразного времени эксплуатации $t_r^{\min} (t_{p+z} - t_{p+1} < t_r^{\min})$, то в момент времени t_{p+1} следует прекратить эксплуатацию (произвести профилактическую корректировку параметра).

Таким образом, рассматриваемый метод (гарантированного прогноза) позволяет определить некоторую область, в пределах которой гарантированно будут находиться параметры технического состояния СОН в заданный момент времени. Как отмечалось выше, он обладает необходимыми свойствами несмещенности, однозначности и оптимальности. Результаты прогноза позволяют оценить момент наступления рискованного события и остаточный ресурс СОН, а также определить стратегию обеспечения безопасности (назначать целесообразные моменты контроля состояния, прекращения эксплуатации, а также проведения профилактических и ремонтных работ).

Желательно, чтобы стратегия обеспечения техногенной безопасности была такой, при которой суммарные потери, связанные с эксплуатацией исследуемой СОН, были бы минимальными. В ряде случаев в качестве критерия выбора этой стратегии можно использовать показатель гарантированного уровня общих материальных потерь при эксплуатации системы на множестве T :

$$S_g = \sup_{y(t) \in Y \cdot T} \int_T H(y(t)) dt + V_T,$$

где $H(y(t))$ – функция потерь, определяющих материальные потери, возникающие при отклонении вектора технического состояния объекта $y(t)$ от номинального; V_T – затраты на проведение мероприятий по техническому обслуживанию объекта во время эксплуатации.

Аддитивность критерия S_g открывает путь к решению задачи на основе принципа оптимальности Беллмана [16]. При этом поиск искомой стратегии можно рассматривать как многошаговый управляемый процесс принятия решений для синтеза оптимальной системы управления, а S_g – финальная функция потерь (сумма потерь, связанных со всеми шагами принятия решений). Соответствующие алгоритмы являются адаптивными, так как совместно с принятием основных решений оценивают неизвестную обстановку, чем улучшают процесс принятия решений, достаточно просты и могут быть реализованы в рекуррентном виде.

Заключение

Исследуются некоторые подходы к решению задачи предотвращения аварий и обеспечения техногенной безопасности. Даны формальные постановки задач управления безопасностью, для решения которых целесообразно использовать методологию функционально-параметрического направления теории надежности. Показано, что основные идеи функционально-параметрического направления теории надежности могут быть использованы и при решении достаточно широкого круга задач, теории безопасности. Предложены некоторые подходы к решению задачи предотвращения аварий на технических объектах ответственного назначения. Показано, что реализация возможностей функционально-параметрического подхода теории надежности при решении задач обеспечения безопасности объектов ответственного назначения связана с внедрением методов и средств технического контроля состояния и диагностирования в практику их эксплуатации.

Список литературы

- Северцев Н. А., Юрков Н. К. Безопасность динамических систем на этапах жизненного цикла. Пенза : Изд-во ПГУ, 2023.
- Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Новосибирск : Наука, 2005.
- Абрамов О. В. К проблеме предотвращения аварий технических объектов ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 1. С. 11–16.
- Северцев Н. А., Бецов А. В. Системный анализ безопасности. М. : МГУ «ТЕИС», 2009.
- Abramov O., Dimitrov B. Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach // Reliability: Theory & Applications. 2017. Vol. 12, № 4. P. 39–48.
- Абрамов О. В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности // Информатика и системы управления. 2014. № 4. С. 53–66.
- Абрамов О. В. Дестабилизирующие факторы и случайные процессы изменения параметров технических устройств и систем // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 1. С. 13–20.
- Берман А. Ф. Деградация механических систем. Новосибирск : Наука, 1998.
- Абрамов О. В. Прогнозирование состояния и планирование эксплуатации систем ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 3. С. 5–14.
- Abramov O. Failure prevention based on parameters estimation and prediction // Reliability: Theory & Applications. 2006. Vol. 1, № 2. P. 57–62.
- Aamodt A., Plaza E. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches // AI Communications. 1994. Vol. 7, № 1. P. 39–59.
- Абрамов О. В., Назаров Д. А. Методы и средства интеллектуальной поддержки прогноза технического состояния систем ответственного назначения // Информатика и системы управления. 2022. № 4. С. 54–63.
- Abramov O., Nazarov D. Methods and tools of intelligent support for forecasting the technical condition of critical systems // Reliability: Theory & Applications. 2024. Vol. 19, № 4. P. 924–930.
- Абрамов О. В. Основные особенности и свойства метода гарантированного прогноза // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 1. С. 3–10.
- Карлин С., Стадден В. Чебышевские системы и их применение в анализе и статистике : пер. с англ. М. : Наука, 1976.
- Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М. : Наука, 1965.

References

- Severtsev N.A., Yurkov N.K. *Bezopasnost' dinameshchikh sistem na etapakh zhiznennogo tsikla = Safety of dynamic systems at the stages of the life cycle*. Penza: Izd-vo PGU, 2023. (In Russ.)

2. Makhutov N.A. *Konstruktionsnaya prochnost', resurs i tekhnogennaya bezopasnost' = Structural strength, resource and technogenic safety*. Novosibirsk: Nauka, 2005. (In Russ.)
3. Abramov O.V. On the problem of accident prevention of technical facilities of responsible purpose. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2013;(1):11–16. (In Russ.)
4. Severtsev N.A., Betskov A.V. *Sistemnyy analiz bezopasnosti = System analysis of safety*. Moscow: MGU «TEIS», 2009. (In Russ.)
5. Abramov O., Dimitrov B. Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach. *Reliability: Theory & Applications*. 2017;12(4):39–48.
6. Abramov O.V. Possibilities and prospects of the functional-parametric direction of reliability theory. *Informatika i sistemy upravleniya = Informatics and Control systems*. 2014;(4):53–66. (In Russ.)
7. Abramov O.V. Destabilizing factors and random processes of changing the parameters of technical devices and systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2024;(1):13–20. (In Russ.)
8. Berman A.F. *Degradatsiya mekhanicheskikh system = Degradation of mechanical systems*. Novosibirsk: Nauka, 1998. (In Russ.)
9. Abramov O.V. Forecasting the condition and operation planning of responsible systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2020;(3):5–14. (In Russ.)
10. Abramov O. Failure prevention based on parameters estimation and prediction. *Reliability: Theory & Applications*. 2006;1(2):57–62.
11. Aamodt A., Plaza E. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches. *AI Communications*. 1994;7(1):39–59.
12. Abramov O.V., Nazarov D.A. Methods and means of intellectual support for forecasting the technical condition of responsible systems. *Informatika i sistemy upravleniya = Informatics and management systems*. 2022;(4):54–63. (In Russ.)
13. Abramov O., Nazarov D. Methods and tools of intelligent support for forecasting the technical condition of critical systems. *Reliability: Theory & Applications*. 2024;19(4):924–930.
14. Abramov O.V. Main features and properties of the guaranteed method forecasting. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2017;(1):3–10. (In Russ.)
15. Karlin S., Stadden V. *Chebyshevskie sistemy i ikh primenenie v analize i statistike: per. s angl. = Chebyshev systems and their application in analysis and statistics : translated from English*. Moscow: Nauka, 1976. (In Russ.)
16. Bellman R., Dreyfus S. *Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya = Applied problems of dynamic programming*. Moscow: Nauka, 1965. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Олег Васильевич Абрамов

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
главный научный сотрудник лаборатории
управления надежностью сложных систем,
Институт автоматизации и процессов управления
Дальневосточного отделения
Российской академии наук
(Россия, г. Владивосток, ул. Радио, 5)
E-mail: abramov@iacp.dvo.ru

Oleg. V. Abramov

Doctor of technical sciences, professor,
honored scientist of the Russian Federation,
chief researcher of the laboratory
of complex systems reliability management,
Institute for Automation and Control processes,
Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
(5 Radio street, Vladivostok, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /

The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 20.01.2025

Поступила после рецензирования / Revised 13.02.2025

Принята к публикации / Accepted 25.02.2025