

ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ И СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

О. В. Абрамов

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

Аннотация. *Актуальность и цели.* Выполнен анализ дестабилизирующих факторов и случайных процессов деградации параметров технических устройств и систем как причины параметрических отказов. *Материалы и методы.* Основное внимание уделено синтезу математических моделей, которые целесообразно использовать в рамках функционально-параметрического направления теории надежности. *Результаты и выводы.* Предлагаемые математические модели могут служить основой решения задач управления надежностью и безопасностью сложных систем ответственного назначения.

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

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки FFW-2021-0003.

Для цитирования: Абрамов О. В. Дестабилизирующие факторы и случайные процессы изменения параметров технических устройств и систем // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 1. С. 13–20. doi: 10.21685/2307-4205-2024-1-2

DESTABILIZING FACTORS AND RANDOM PROCESSES OF CHANGING PARAMETERS OF ENGINEERING DEVICES AND SYSTEMS

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.* The analysis of destabilizing factors and random processes of degradation of parameters of engineering devices and systems as the causes of parametric failures is carried out. *Materials and methods.* The main attention is paid to the synthesis of mathematical models that are advisable to use within the framework of the functional-parametric direction of reliability theory. *Results and conclusions.* The proposed mathematical models can serve as the basis for solving problems of reliability and safety management of complex systems of responsible purpose.

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

Financing: the work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science FW-2021-0003.

For citation: Abramov O.V. Destabilizing factors and random processes of changing parameters of engineering devices and systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(1):13–20. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-1-2

Введение

Основу методологии функционально-параметрического направления теории надежности (ФП-подхода) составляют методы управления случайными процессами изменения параметров исследуемых технических объектов [1–3]. В соответствии с ФП-подходом процесс функционирования системы и ее техническое состояние в любой момент времени определяются конечным набором некоторых переменных – параметров системы, а отказы есть следствие отклонений параметров от их исходных (номинальных, расчетных) значений. Формой проявления отказа является выход параметров за пределы области допустимых значений (области работоспособности).

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 изменения параметров) при решении задач анализа и обеспечения надежности должны быть известны.

Математические модели процессов изменения (деградации) параметров

Выбор математической модели случайного процесса изменения параметров представляет собой задачу идентификации, успех решения которой зависит от соотношения двух факторов – объема априорной информации о структуре и параметрах процесса деградации (этот объем определяется степенью изученности процесса) и объема измерительной (апостериорной) информации. Оба вида информации необходимы при синтезе модели, однако играют разные роли. Априорные сведения позволяют определить структуру модели, т.е. ее вид. Эту процедуру обычно называют идентификацией в широком смысле или структурной идентификацией. Задачу определения параметров модели по наблюдениям за процессом при заданной структуре модели обычно называют идентификацией в узком смысле или параметрической идентификацией. Качество решения задач идентификации во многом определяется характером изучаемого процесса.

Отклонения параметров от их расчетных (номинальных) значений обусловлены действием целого ряда факторов, из которых обычно выделяют производственные (технологические) и эксплуатационные.

К технологическим факторам можно отнести дефекты оборудования (неравномерность хода, вибрации, люфты механизмов, неточность шкал), колебания режимов работы, неоднородность исходных материалов, погрешность измерительных инструментов, приборов и т.д. Действие этих факторов приводит к технологическому разбросу параметров, а также некоторому отличию физико-химической структуры элементов, что в процессе эксплуатации может вызвать различие в поведении их параметров.

В процессе хранения и эксплуатации в элементах протекают физико-химические процессы, вызывающие необратимые изменения параметров. Это явление называют старением. Причины старения – диффузия вещества, изменение структуры материала, химические взаимодействия и т.д. Такие процессы могут протекать и при условии изоляции от внешней среды, однако скорость протекания процессов в этом случае существенно уменьшается. Воздействие температуры, влажности, перегрузок (нагрузки) и других внешних факторов ускоряет старение. Наряду со старением в процессе эксплуатации систем имеет место износ, проявляющийся в истирании трущихся механических поверхностей, уменьшении эмиссии электронов с катодов электронных ламп и т.д. Износ также приводит к изменению параметров технических электронных устройств и систем. В результате старения и износа возникают необратимые (накапливающиеся) изменения параметров.

Колебания температуры, влажности, нагрузок и других внешних воздействий могут вызывать сравнительно кратковременные обратимые отклонения параметров.

Изменения параметров технических устройств и систем во времени вследствие процессов старения и износа являются, как правило, достаточно медленными и монотонными. Для случайных процессов старения и износа типичны весьма жесткие связи между значениями параметра в последовательные моменты времени. Каждый тип элемента имеет обычно свою характерную кривую износа (старения); однотипные элементы дают близкие по форме кривые, но с различными параметрами. В связи с этим модели процессов старения обычно выбирают среди случайных процессов, которые имеют определенную функциональную зависимость от времени, а их случайный характер обуславливается случайными параметрами, не зависящими от времени [4–7]. Такие процессы иногда называют детерминированными случайными, квазидетерминированными или полуслучайными [4]. Наиболее распространенной формой моделей случайного процесса необратимых изменений параметров является модель вида

$$X(t) = \sum_{k=0}^N X_k u_k(t), \quad (1)$$

где X_k – случайные величины; $\{u_k(t)\}_{k=0}^N$ – непрерывные детерминированные функции времени. Такое представление можно интерпретировать как разложение случайного процесса по детерминированному базису. В качестве базисных чаще всего используются степенные $\{t^k\}_{k=0}^N$, а также экспоненциальные и логарифмические функции.

Остановимся на моделях вида

$$X(t) = \sum_{k=0}^N X_k t^k. \quad (2)$$

Исследования многих элементов (резисторов, конденсаторов, транзисторов, интегральных схем) показывают, что для большинства реализаций на максимальных интервалах наблюдения выполняется соотношение $(X_3 t^3) / (X_2 t^2) \leq 10^{-2} \div 10^{-3}$. Это позволяет использовать в качестве моделей полиномы второго порядка:

$$X(t) = X_0 + X_1 t + X_2 t^2, \quad (3)$$

где X_0 – начальное значение параметра, распределение которого определяется технологическими (производственными) факторами; X_1 – коэффициент скорости дрейфа параметра; X_2 – коэффициент ускорения дрейфа параметра.

Распространенным типом аппроксимации случайного процесса необратимых изменений параметров вида (2) является линейная аппроксимация

$$X(t) = X_0 + X_1 t. \quad (4)$$

Линейные случайные процессы [4] – очень удобная модель процессов старения и износа. Они достаточно просто описывают основные особенности процессов износа и старения, требуют минимального количества экспериментальных данных и вместе с тем во многих случаях позволяют с достаточной для практики точностью оценить реальные изменения параметров. Такие модели хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при хранении электрорадиоэлементов. Часто справочные данные о процессах дрейфа параметров отдельных элементов и схем задают только в виде коэффициентов старения (их моментных характеристик или распределений). В этом случае ничего не остается делать, как считать дрейф параметра линейным, и это почти всегда лучше, чем не учитывать его.

Следует отметить, что модель (4) в ряде случаев можно использовать и для описания нелинейных изменений параметров. Реальные нелинейные зависимости можно свести к линейным либо на основе линейно-кусочной аппроксимации, либо соответствующим преобразованием переменных. Например, не редко используемый на практике случай экспоненциального закона изменения параметра, т.е. $X(t) = X_0 \exp\{-X_1(t-t_0)\}$, можно свести к случаю линейного вида, если вместо X использовать новую величину $X' = \ln X$. Моделями такого вида описываются процессы изменения погрешностей измерительных приборов, процессы развития электромиграционных отказов в тонких пленках алюминия, процессы изменения параметров интегральных схем, некоторые процессы износа механических систем и др.

Значительно меньше в настоящее время изучены процессы изменения параметров под воздействием колебаний внешних факторов (обратимые изменения). Имеющиеся экспериментальные данные позволяют предполагать, что процесс обратимых изменений параметра является стационарным с интервалом корреляции значительно меньшим, чем у процесса необратимых изменений параметров. Таким образом, обратимые изменения параметра могут рассматриваться как некоторая высокочастотная (по сравнению с процессами старения или износа) составляющая случайного процесса изменения параметра.

Случайная обратимая составляющая обусловлена флюктуациями температуры, давления, влажности окружающей среды, электрической (или механической) нагрузки, напряжения питания, электромагнитных помех, ядерной радиации и др. Среди этих факторов выделяют обычно температурные воздействия, полагая, что изменение параметров наиболее существенно проявляется под влиянием температурных флюктуаций. На практике обратимые изменения параметров, происходящие под воздействием температуры, обычно учитывают с помощью температурных коэффициентов. Зная диапазон температур, в пределах которого будет эксплуатироваться аппаратура, и температурный коэффициент, можно оценить предельные (или наиболее вероятные, если температурный коэффициент считать случайной величиной) отклонения параметров от номинальных значений, что и делается при расчете допусков аппаратуры и ее точности. С учетом воздействия всех дестабилизирующих факторов случайный процесс изменения параметра можно аппроксимировать выражением

$$Z(t) = X(t) + \Psi(t), \quad (5)$$

где $X(t)$ – нестационарный (обычно монотонный) случайный процесс необратимых изменений параметра; $\Psi(t)$ – стационарный случайный процесс обратимых изменений параметра под воздействием внешних условий.

Случайные процессы $X(t)$ и $\Psi(t)$ обычно полагают статистически независимыми. В пользу такого предположения приводят соображения, связанные с различным характером корреляционных функций этих процессов. При этом в большинстве случаев считают, что отдельные внешние воздействия статистически независимы, а вызываемые ими отклонения незначительны по сравнению с абсолютным значением параметра. При такой модели процесса изменения параметра основной причиной отказа является случайный необратимый дрейф параметра $X(t)$. Влияние обратимой составляющей $\Psi(t)$ может оказаться существенным лишь в непосредственной близости к границам области допустимых изменений параметра.

Если начальное качество технических объектов достаточно однородно (случайный процесс необратимых изменений характеризуется постоянной средней скоростью), а воздействия внешних факторов варьируются в широких пределах, то более подходящей моделью случайных процессов изменения параметров будут, по-видимому, процессы с сильным перемешиванием, т.е. процессы, приращения которых обладают свойством асимптотической независимости. Внешне реализация таких процессов характеризуется тесным переплетением.

Тот факт, что период корреляции процесса $\Psi(t)$ невелик (во много раз меньше, чем процесса необратимых изменений), позволяет в некоторых случаях принимать предположение о некоррелированности $\Psi(t)$. В этом случае модель процесса изменения параметра можно представить в виде

$$Z(t) = X(t) + \Psi_t,$$

где Ψ_t – случайная величина.

Весьма перспективным представляется описание процессов изменения параметров в виде ортогональных канонических разложений [8]. Ортогональные канонические представления случайных процессов являются математическим аппаратом, который дает возможность описания широкого класса случайных процессов. Идея канонического разложения состоит в том, что любой случайный процесс может быть представлен в виде ряда, состоящего из комбинации неслучайных функций и некоторых некоррелированных случайных величин:

$$Z(t) = m_z(t) + \sum_{k=1}^N \lambda_k \phi_k(t), \quad (6)$$

где $m_z(t)$ – детерминированная функция, представляющая собой математическое ожидание случайного процесса $Z(t)$; λ_k – некоррелированные случайные величины, математические ожидания которых равны нулю; $\phi_k(t)$ – неслучайные функции времени, называемые координатными.

Для того, чтобы разложение (6) определяло исследуемый процесс дрейфа параметров, необходимо определить (или задать) коэффициенты λ_k и координатные функции $\phi_k(t)$. Среди представлений случайных процессов вида (6) наибольшее распространение получили канонические разложения В. С. Пугачева и разложения Карунена – Лозва [8]. Основное различие между ними заключается в тех требованиях, которые предъявляются к точности воспроизведения процесса любым заданным числом членов N суммы (6). Разложение Карунена – Лозва обеспечивает минимум среднего квадрата ошибки, усредненной на интервале наблюдения, а разложение В. С. Пугачева – минимум среднеквадратичной ошибки в каждой точке этого интервала.

В настоящее время, несмотря на хорошо развитый математический аппарат канонических представлений, их удобство для компьютерного моделирования и имеющиеся примеры применения результатов канонического представления случайных процессов изменения параметров для прогнозирования надежности [9], широкого распространения при исследовании параметрической надежности такие модели не получили. Основная причина этого – отсутствие необходимых данных о таких моделях в справочной литературе.

Случайные процессы изменения параметров технических объектов обычно считают нормально распределенными. В пользу такого утверждения приводят соображения о механизме образования

нормального закона, который порождается действием большого числа примерно равных по величине факторов, а также статистические данные, полученные в результате испытаний большого числа различных изделий электронной техники и электротехники. Справедливость гипотезы о нормальном распределении параметров подтверждается многолетним опытом исследований в теории точности. Гипотеза о нормальном распределении параметров в наибольшей степени находит подтверждение при экспериментальных исследованиях производственных (технологических) отклонений параметров, по которым накоплен наибольший фактический материал. Технологический разброс параметров определяет распределение случайного процесса дрейфа параметров в начальный момент времени (в сечении $t = 0$). Для монотонных процессов тип начального распределения в первом приближении сохраняется и для любых других временных сечений.

Использование гауссовских случайных процессов в некоторой степени оправдано еще и тем, что нормальный закон распределения содержит максимум энтропии по сравнению с любым непрерывным распределением с той же дисперсией. Следовательно, замена некоторого распределения нормальным не приведет к завышению оценок.

При описании закономерностей производственных и эксплуатационных изменений параметров находят применение также усеченный нормальный закон, логарифмически нормальный, некоторые асимметричные распределения. Имеются сведения, свидетельствующие о том, что при определенных условиях распределения параметров могут быть равномерными или полимодальными.

Марковские модели эксплуатационных вариаций параметров

Одним из видов моделей, которые весьма заманчиво было бы использовать для описания случайных процессов изменения параметров, являются модели непрерывных марковских процессов [10]. Марковские случайные процессы обладают целым рядом полезных свойств, которые следуют из того факта, что для полного описания марковского процесса достаточно двумерного закона распределения. Кроме того, для марковских процессов хорошо развит математический аппарат, что позволяет решать на его основе различные задачи теории надежности.

Если есть достаточные основания считать исследуемый технический объект марковским и известны необходимые характеристики процессов изменения его параметров (например, коэффициенты сноса и диффузии), то определение риска потери его работоспособности сводится к классической для теории непрерывных марковских процессов задаче о недостижении границ. Задача управления не является характерной, однако ее решение принципиальных затруднений не вызывает и может быть получено на основе уравнений Понтрягина или Фоккера – Планка – Колмогорова [10].

Если придать границам области допустимых значений смысл отражающего экрана, то процесс функционирования марковского объекта будет характеризоваться тем, что в момент достижения реализацией границы происходит мгновенное возвращение ее в некоторую случайную точку области допустимых значений. Из этой точки процесс начинается заново, независимо от прошлого. Такая модель может использоваться для описания процесса функционирования восстанавливаемых технических систем с мгновенным восстановлением работоспособности.

Более общим является случай существования конечного времени поглощения на каждой из границ. Очевидно, это время должно быть случайной величиной, что соответствует процессам функционирования восстанавливаемых марковских объектов со случайным временем восстановления работоспособности. Для этого случая известна обобщенная форма записи уравнения Фоккера – Планка – Колмогорова, включающая три дифференциальных уравнения, одно из которых описывает плотность вероятности значений параметра (реализаций), находящихся между границами, а два других характеризуют вероятности пребывания реализаций на обеих границах [10].

На основе моделей непрерывных марковских процессов с отражающими и полупоглощающими границами можно сформулировать и решать задачи управления надежностью и рисками с учетом функции потерь (ущерба, связанного с наступлением рискованного события).

Моделирование процессов изменения параметров технического состояния систем ответственного назначения

Моделирование процессов эксплуатационных изменений 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 большом числе экземпляров, эксплуатирующиеся в отличающихся условиях и реализующие экстремальные технологии. Стратегия эксплуатации таких систем должна носить индивидуальный и превентивный (упреждающий отказы) характер [11]. 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) [12, 13]. Выбор данного подхода оправдан, если к моменту возникновения проблемы моделирования деградации технического состояния уже накоплен определенный опыт решения похожих проблем, возникавших ранее на подобных технических объектах (аналогах). Представление этого опыта в виде прецедентов и его автоматизированная обработка при помощи 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.

Заключение

Накопленная к настоящему времени обширная информация о закономерностях процессов изменения параметров относится главным образом к параметрам элементов технических устройств и систем. Данные об изменениях выходных параметров можно найти только для сравнительно простых объектов. Для сложных систем, как правило, возникают трудности в получении статистических характеристик выходных параметров из опыта эксплуатации, так как для этого необходимо большое количество таких систем и продолжительный опыт их эксплуатации. В этих условиях целесообразным представляется определение статистических характеристик изменения выходных параметров системы на основе известных закономерностей изменения параметров элементов (внутренних параметров) и модели исследуемой системы. Использование математического аппарата преобразования случайных функций детерминированным оператором и методы компьютерного моделирования позволяют во многих случаях получить статистические данные необходимого объема, эквивалентные в достаточной мере испытанию большого числа образцов за длительный промежуток времени.

Приведенный краткий и, естественно, далеко не полный анализ сведений о закономерностях и случайных процессах изменения параметров технических объектов позволяет тем не менее сделать вывод о том, что в настоящее время уже накоплена исходная информация, необходимая для решения задач управления надежностью и безопасностью. Перспективным представляется привлечение экспертно-статистического подхода и метода аналогов к решению проблемы моделирования процессов изменения параметров технического состояния систем ответственного назначения и планирования их эксплуатации.

Список литературы

1. Abramov O., Dimitrov B. Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach // *Reliability: Theory & Applications*. 2017. Vol. 12, № 4. P. 39–48.
2. Абрамов О. В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности // *Информатика и системы управления*. 2014. № 4. С. 53–66.
3. Абрамов О. В. О функционально-параметрическом направлении теории рисков // *Труды Международного симпозиума Надежность и качество*. 2015. Т. 1. С. 5–6.
4. Дружинин Г. В. Методы оценки и прогнозирования качества. М. : Радио и связь, 1982. 160 с
5. Берман А. Ф. Д. Деградация механических систем. Новосибирск : Наука, 1998. 329 с.

6. Козлова И. Н., Пиганов М. Н., Тюлевин С. В. Математические модели дрейфа функциональных параметров // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, № 4. С. 668–673.
7. Переверзев Е. С. Об одной модели постепенного отказа // Надежность и контроль качества. 1985. № 1. С. 10–14.
8. Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М. : Физматгиз, 1962. 884 с.
9. Кудрицкий В. Д. Прогнозирующий контроль радиоэлектронных устройств. Киев : Техника, 1982. 168 с.
10. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы. М. : Сов. радио, 1977. 488 с.
11. Абрамов О. В. Контроль и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем 2018. № 4. С. 108–115.
12. Aamodt A., Plaza E. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches // AI Communications. 1994. Vol. 7, № 1. P. 39–59.
13. 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.

References

1. Abramov O., Dimitrov B. Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach. *Reliability: Theory & Applications*. 2017;12(4):39–48.
2. 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.)
3. Abramov O.V. On the functional parametric direction of risk theory. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2015;1:5–6. (In Russ.)
4. Druzhinin G.V. *Metody otsenki i prognozirovaniya kachestva = Methods of quality assessment and forecasting*. Moscow: Radio i svyaz', 1982:160. (In Russ.)
5. Berman A.F.D. *Degradatsiya mekhanicheskikh system = Degradation of mechanical systems*. Novosibirsk: Nauka, 1998:329. (In Russ.)
6. Kozlova I.N., Piganov M.N., Tyulevin S.V. Mathematical models of drift of functional parameters. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(4):668–673. (In Russ.)
7. Pereverzev E.S. Ob odnoy modeli postepenno go otказа. *Nadezhnost' i kontrol' kachestva = Reliability and quality control*. 1985;(1):10–14. (In Russ.)
8. Pugachev V.S. *Teoriya sluchaynykh funktsiy i ee primenenie k zadacham avtomaticheskogo upravleniya = Theory of random functions and its application to automatic control problems*. Moscow: Fizmatgiz, 1962:884. (In Russ.)
9. Kudritskiy V.D. *Prognoziruuyushchiy kontrol' radioelektronnykh ustroystv = Predictive control of radio-electronic devices*. Kiev: Tekhnika, 1982:168. (In Russ.)
10. Tikhonov V.I., Mironov M.A. *Markovskie protsessy = Markov processes*. Moscow: Sov. radio, 1977:488. (In Russ.)
11. Abramov O.V. Control and forecasting of the technical condition of responsible purpose systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2018;(4):108–115. (In Russ.)
12. Aamodt A., Plaza E. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*. 1994;7(1):39–59.
13. Abramov O.V., Nazarov D.A. Methods and means of intellectual support for forecasting the technical condition of responsible purpose systems. *Informatika i sistemy upravleniya = Informatics and control systems*. 2022;(4): 54–63. (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 15.01.2024

Поступила после рецензирования/Revised 27.01.2024

Принята к публикации/Accepted 05.02.2024