

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТОВ

А. Ю. Дмитриевцев<sup>1</sup>, Ю. Т. Зырянов<sup>2</sup>, С. А. Нестерович<sup>3</sup>, С. П. Хрипунов<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия,

<sup>3</sup> Российский государственный социальный университет, Москва, Россия,

<sup>4</sup> Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

<sup>1</sup> dmitrievcev978@gmail.com, <sup>2</sup> zut-tmb@mail.ru, <sup>3</sup> sirial\_2005@mail.ru, <sup>4</sup> hsp61@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Актуальность работы обусловлена тем, что методы, применяемые в системе контроля и диагностирования, не в полной мере используют новые подходы с применением новых информационных технологий. Это происходит вследствие отсутствия возможности инструментальной оценки некоторых технических характеристик и их значений. Данные характеристики принято называть признаками, так как невозможно определить их значение количественно. Целью работы является изучение возможности создания базы данных для системы контроля и диагностики, которая позволяла бы специалистам с недостаточным уровнем подготовки и знаний диагностировать и устранять сложные неисправности (системный сбой, нехарактерный отказ, «плавающий» дефект), в тех случаях, когда отсутствует возможность передачи опыта и знания более опытных сотрудников. *Материалы и методы.* Рассматривается метод формализации количественных решений, данных от системы контроля, описанных экспертами, применение теории нечетких множеств. Данный метод позволяет получать актуальную информацию, которая в свою очередь дает возможность разработки более современных систем диагностирования, имеющих более высокие качества. *Результаты и выводы.* Предложенный подход может существенно сократить усилия, время, потраченное на поиски места отказа, а также повысить качество результатов проведения контроля. При использовании алгоритмов нечеткой логики или нейросетевых технологий возможно улучшить качество контроля и диагностики.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы контроля, качественные и количественные характеристики объекта диагностирования, знания экспертов

**Для цитирования:** Дмитриевцев А. Ю., Зырянов Ю. Т., Нестерович С. А., Хрипунов С. П. Постановка задачи оценки технического состояния информационно-измерительных систем на основе формализованного описания знаний экспертов // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 2. С. 113–119. doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-13

## FORMULATION OF THE PROBLEM OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS BASED ON A FORMALIZED DESCRIPTION OF EXPERT KNOWLEDGE

A.Yu. Dmitrievtsev<sup>1</sup>, Yu.T. Zyryanov<sup>2</sup>, S.A. Nesterovich<sup>3</sup>, S.P. Khripunov<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>3</sup> Russian State Social University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikov  
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>1</sup> dmitrievcev978@gmail.com, <sup>2</sup> zut-tmb@mail.ru, <sup>3</sup> sirial\_2005@mail.ru, <sup>4</sup> hsp61@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* The relevance of the work is due to the fact that the methods used in the monitoring and diagnostic system do not fully use new approaches using new information technologies. This occurs due to the lack of possibility of instrumental assessment of some technical characteristics and their values. These characteristics are usually called attributes, since it is impossible to determine their value quantitatively. The purpose of the work is to study the possibility of creating a database for a monitoring and diagnostic system that would allow specialists with an insufficient level of training and knowledge to diagnose and eliminate complex faults (system failure, uncharacteristic failure, "floating" defect), in cases where there is no possibility, transfer of experience and knowledge to more experienced employees. *Materials and methods.* This paper discusses a method for formalizing quantitative decisions, data from the control system, described by experts, and the application of the theory of fuzzy sets. This method allows you to obtain

up-to-date information, which in turn makes it possible to develop more modern diagnostic systems with higher quality. *Results and conclusions.* The proposed approach can significantly reduce the effort and time spent searching for a failure location, as well as improve the quality of inspection results. When using fuzzy logic algorithms or neural network technologies, it is possible to improve the quality of control and diagnostics.

**Keywords:** intelligent control systems, qualitative and quantitative characteristics of the object being diagnosed, expert knowledge

**For citation:** Dmitriyev A.Yu., Zyryanov Yu.T., Nesterovich S.A., Khripunov S.P. Formulation of the problem of assessing the technical condition of information and measuring systems based on a formalized description of expert knowledge. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(2):113–119. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-13

### Введение

Как показывает оценка методов, применяемых в системе контроля и диагностирования, содержание и качество контроля оказываются невысоким (табл. 1), хотя данные методы постоянно развиваются [1–11].

Таблица 1

Наименование метода	Полнота контроля	Достоверность контроля
Последовательный	0,8	0,6
Комбинированный	0,7...0,8	0,5
По обобщенному диагностическому параметру	0,9	0,7...0,75

Указанные системы контроля совершенствуются в связи с созданием и реализацией цифровых алгоритмов обработки данных. Именно по этой причине, если меняются особенности диагностирования, алгоритмы процесса, такой параметр, как полнота контроля, находится в неизменном состоянии.

Но по опыту оценки применения технических устройств известно, что определенные характеристики и их значения, такие как разрешающая способность телевизионного канала, качество управления линии визирования, неустойчивая работа следящих систем, колебания линии визирования и диафрагмы, тест-таблица, плохо различаются (появление запаха, появление гула и вибрации и т.д.), не имеют инструментальную оценку.

Именно по этой причине их невозможно оценить количественно, особенно когда нет допусков на эти характеристики, так как не существует измерительных средств. Данные параметры называются признаками, они отличаются качественной оценкой с точки зрения профессионалов. Данных параметров могло быть от двадцати процентов и выше от общего представленного описания технического устройства.

Благодаря привлечению актуальной информации об объекте контроля можно повысить полноту проводимого контроля и показатели его достоверности. Поэтому требуется формализовать диагностируемую информацию и опыт высококлассных специалистов (экспертов). Для этого можно использовать системы искусственного интеллекта. Они в свою очередь могут основываться на математических решениях нечеткого множества.

Есть еще один важный аспект в диагностировании [12], во время проведения диагностики нельзя точно указать на место отказа, если не разорвать обратную связь. Тем не менее эксперты понимают, как функционирует объект контроля. Они способны по количественным характеристикам, внешним данным сказать о месте отказа и причине.

Возможность привлечь формализованное расширенное информационное описание параметров и признаков об объекте исследования дает возможность повысить полноту и достоверность процесса распознавания особенностей объекта контроля. В ней содержится алгоритм анализа состояния как по количественным, так и по качественным характеристикам. Большое количество разработанных методов экспертного распознавания технических особенностей основывается на применении устоявшихся данных об отказе, полученных специалистами по опыту диагностирования, по обработке итогов проведения контроля в поиске отказов.

### Методы решения

В центре внимания при изучении современных систем контроля и диагностирования находятся особые методы статистики по распознаванию технических особенностей. Использование статистических методов в целях распознавания технических состояний подходит в той ситуации, в которой зоны

вероятных состояний описанных объектов будут пересекающимися, и нельзя точно сказать о том, какой объект и какие у него возможности.

Главная цель, которая стоит перед диагностикой в рассмотрении именно статистического подхода, заключается в поиске определенного правила [12–16]. Благодаря ему по совокупности признаков удается понять особенности состояния выбранного объекта для диагностирования  $\bar{D}(t)$  :

$$\bar{P}(t) \xrightarrow{R} \bar{D}(t).$$

Каждый из них отличается своим набором преимуществ в применении на практике [14]: метод Байеса; метод последовательного анализа (метод Вальда); метод минимального риска; метод Неймана – Пирсона.

Необходимо точно знать о том, что количественные параметры играют далеко не последнюю роль во время изучения систем контроля, их возможностей и характеристик. Минусы рассматриваемых систем: описание объектов недостаточное; трудности в достоверном, полноценном описании; нет актуальной информации, так как существует ряд проблем в создании условий применения объекта контроля технических систем.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в системе контроля есть главные минусы, на которые стоит обратить внимание: недостаточный опыт специалистов для контроля и диагностики технических устройств, которые смогут достоверно оценить отказ; нахождение в эксплуатации рассматриваемых технических систем потребует время, для того чтобы ее освоить, подготовить экспертов.

Все те подходы, решения, которые были отмечены при распознавании особенностей, характеристик технического состояния, стоит изучить как базу создания систем контроля и диагностики, обучения сотрудников в сфере эксплуатации. В реальности можно использовать правильно подобранные средства, инструменты в решении задач по поиску места отказа. Процесс должен отличаться точным выполнением. Набор выбранных для работы параметров должен в полной мере соответствовать основным параметрам, характеристикам предусмотренного допуска. Активный поиск мест отказа может выполнить исключительно профессионал своего дела, с отличным уровнем подготовки. У него в наличии должны быть специальные инструментальные средства в проведении контроля. Но при этом стоит уточнить следующий немаловажный момент. Дело все в том, что бывают такие ситуации, когда опыт, знания не могут быть переданы малоопытным сотрудникам.

Сегодня нет никакой конкретной информационной системы, способной накапливать, реализовывать навыки профессионалов в сфере ремонта, контроля и технического диагностирования. Действие указанных систем по контролю главным образом связано с количественными характеристиками и параметрами. Требуется больше статистики, особенно если отказы отличаются не типовым характером. Для того, чтобы их найти, используются различные рекомендации, отмеченные в инструкции по применению. К примеру, когда возникает сбой, появляется нехарактерный отказ, некорректная или неточная работа объекта контроля, т.е. техническое устройство работает с ошибками, в этой ситуации очень необходима помощь эксперта [9–12].

Такой процесс, как формализация количественных решений, данных от системы контроля, описанных экспертами (применении теории нечетких множеств), дает возможность увеличить возможность разработки современных систем диагностирования высокого качества. Это позволит добиться получения актуальной информации. Главная задача указанных систем – помощь начинающему специалисту в выполнении профессиональных задач во время необходимости принять правильные решения, особенно когда есть неопределенность в правильном принятии решения.

Неопределенность отличается тем, что в ней нет достаточных данных, также нельзя использовать привычные решения с использованием средств измерений. Кроме того, особенности принятия правильных решений основываются на итогах обобщенных знаний и опыте.

Далее потребуется рассмотреть, как учитываются и оцениваются состояние и характеристики объекта контроля  $\tilde{I}_s$  :

$$\tilde{I}_s = \{\tilde{I}'_s, \tilde{I}^*_s\},$$

где  $\tilde{I}'_s$  – информационное описание текущего состояния объекта контроля на основе количественных параметров;  $\tilde{I}^*_s$  – информационное описание текущего технического состояния объекта контроля на основе качественных признаков:

$$\begin{aligned}\tilde{I}'_s &= \{\pi'_1(\Pi'_{s1}), \pi'_2(\Pi'_{s2}), \dots, \pi'_i(\Pi'_{si}), \dots, \pi'_n(\Pi'_{sn})\}, \\ \tilde{I}^*_s &= \{\pi^*_1(\Pi^*_{s1}), \pi^*_2(\Pi^*_{s2}), \dots, \pi^*_j(\Pi^*_{sj}), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_{sk})\}, \\ i &= \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, k},\end{aligned}$$

где  $\pi'_i$  – название текущего  $i$ -го количественного параметра;  $\Pi'_{si}$  – значение текущего  $i$ -го количественного параметра;  $\pi^*_j$  – название текущего  $j$ -го качественного признака;  $\Pi^*_{sj}$  – значение текущего  $j$ -го качественного признака; знак  $\sim$  указывает на неопределенность исходной информации об объекте контроля (ОК).

Представим информационное описание эталонного технического состояния о ОК  $\tilde{I}_3$  в виде множества:

$$\tilde{I}_3 = \{\tilde{I}'_3, \tilde{I}^*_3\},$$

где  $\tilde{I}'_3$  – информационное (работоспособное) описание эталонного технического состояния ОК на основе количественных параметров:

$$\begin{aligned}\tilde{I}'_3 &= \{\pi'_1(\Pi'_{31}), \pi'_2(\Pi'_{32}), \dots, \pi'_i(\Pi'_{3i}), \dots, \pi'_n(\Pi'_{3n})\}, \\ \tilde{I}^*_3 &= \{\pi^*_1(\Pi^*_{31}), \pi^*_2(\Pi^*_{32}), \dots, \pi^*_j(\Pi^*_{3j}), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_{3k})\}, \\ i &= \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, k},\end{aligned}$$

где  $\pi'_i$  – название  $i$ -го количественного параметра;  $\Pi'_{3i}$  – заданное значение  $i$ -го количественного параметра, определенное как эталон;  $\pi^*_j$  – название  $j$ -го качественного признака;  $\Pi^*_{3j}$  – заданное значение  $j$ -го качественного признака, определенное как эталон.

Причем количество  $i = \overline{1, n}$   $j = \overline{1, k}$  для  $\tilde{I}'_3$  и  $i = \overline{1, n}$   $j = \overline{1, k}$  для  $\tilde{I}^*_3$  должно совпадать.

Потребуется сделать все возможное для того, чтобы при использовании информационного описания сделать полноценный анализ и вывод о характеристиках ОК:

$$\mu(\tilde{I}_s, \tilde{I}_3) = \min(\max(1 - \tilde{I}_s, \tilde{I}_3), \max(1 - \tilde{I}_3, \tilde{I}_s)),$$

где  $\mu(\tilde{I}_s, \tilde{I}_3)$  – операция нечеткого равенства технических состояний  $\tilde{I}_s$  и  $\tilde{I}_3$ :

$$\mu(\tilde{I}_s, \tilde{I}_3) \geq \Delta_{\text{зад}},$$

где  $\Delta_{\text{зад}}$  – заданная степень точности.

Для решения этой задачи необходимо:

1. Создать особую интегрированную модель в отношении ОК, при этом указав на основные признаки:

$$\tilde{I}^n_s = \{\pi'_1(\Pi'_{s1}), \pi'_2(\Pi'_{s2}), \dots, \pi'_i(\Pi'_{si}), \dots, \pi'_n(\Pi'_{sn}), \pi^*_1(\Pi^*_{s1}), \pi^*_2(\Pi^*_{s2}), \dots, \pi^*_j(\Pi^*_{sj}), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_{sk})\},$$

где  $\tilde{I}^n_s$  – интегрированная информация о параметрах и признаках ОК:

$$V(I_s) \subseteq \Omega_s,$$

$$\{\Omega'_{I_s}, \Omega^*_{I_s}\} \subset \Omega_s,$$

где  $V(I_s)$  – имеющийся объем информации о ОК;  $\Omega_s$  – описание объекта контроля;  $\Omega'_{I_s}$  – расшифровка объекта контроля по средствам его выполнения;  $\Omega^*_{I_s}$  – информация об ОК (по опыту профессионалов).

2. Создать образец в описании состояния ОК, его основных параметров и характеристик. Для этого стоит воспользоваться следующими решениями:

$$\tilde{I}^n_s = \{\pi'_1(\Pi'_{s1}), \pi'_2(\Pi'_{s2}), \dots, \pi'_i(\Pi'_{si}), \dots, \pi'_n(\Pi'_{sn}), \{\pi^*_1(\Pi^*_{s1}), \pi^*_2(\Pi^*_{s2}), \dots, \pi^*_j(\Pi^*_{sj}), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_{sk})\}\}$$

3. Сформировать основные этапы работы, благодаря которым по настоящему описанию ОК можно достаточно однозначно указать на его принадлежность к образцу технических характеристик:

$$\tilde{I}_s^n = \Phi_D(\tilde{I}_3^n),$$

где  $\Phi_D$  – алгоритм контроля.

Для того, чтобы реализовать этот подход, важно предусмотреть возможность построить отдельный алгоритм уточнения технического процесса, связанного с воспроизведением в форме операций процесса разработки логической структуры в рассуждении исследователей во время контроля объектов технической системы. Во время осуществления диагностирования важное значение имеет богатый опыт профессионалов, занимающихся ремонтом (подготовка как профессионалов своего дела). Сложности в процессе диагностирования связаны с разными видами нарушений, имеющих отличия друг от друга, создают проблемы в применении конкретной выбранной модели, способной грамотно описать все характеристики выбранного ОК.

Кроме того, основная цель диагностирования заключается в поиске дефектов, если нет достоверной информации, то это приводит к ограничениям возможностей использования привычных, понятных способов в распознавании (основаны на применении данных статистики).

### Заключение

Во время подробного изучения сложностей в диагностировании технических устройств стоит обратить внимание на некоторые особенности. В качестве эффективного решения основных проблем стоит объединить некоторые популярные модели диагностики, алгоритмов на базе современных интегрированных умных систем в отношении контроля. Они сочетают в себе характеристики привычных систем, которые применяют строгие алгоритмы, модели. Стоит использовать элементы современных систем, таких как простой и понятный интерфейс, способность к самообучению. Предложенный подход может существенно сократить усилия, время, потраченное на поиски места отказа, а также повысить качество результатов проведения контроля.

### Список литературы

1. Карибский В. В., Пархоменко П. П., Согомонян Е. С., Халчев В. Ф. Основы технической диагностики. М. : Энергия, 1976. 464 с.
2. Глазунов Л. П., Смирнов А. Н. Проектирование технических систем диагностирования. Л. : Энергоатомиздат, 1982. 168 с.
3. Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин [и др.]. Надежность технических систем : справочник / под ред. И. А. Ушакова. М. : Радио и связь, 1985. 608 с.
4. Абрамов О. В., Розенбаум А. Н. Прогнозирование состояния технических систем. М. : Наука, 1990. 126 с.
5. Животкевич И. Н., Смирнов А. П. Надежность технических изделий. М. : Олита, 2003. 473 с.
6. Михайлов В. С., Юрков Н. К. Интегральные оценки в теории надежности. Введение и основные результаты. М. : Техносфера, 2020. 152 с.
7. Острейковский В. А. Математическое моделирование надежности систем по ограниченной информации. Сургут : Новости Югры, 2016. 197 с.
8. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности: основные характеристики надежности и их статистический анализ. 2-е изд., испр. и доп. М. : Либроком, 2012. 582 с.
9. Вященко Ю. Л., Афанасьев А. С., Иванов К. М., Матвеев С. А. Системная инженерия, риски, надежность в разработке и производстве изделий военного назначения. СПб. : Балт. гос. техн. ун-т «Военмех», 2018. 572 с.
10. Водолазская Н. В., Стребков С. В. Надежность и эксплуатация технических систем. Белгород : Белгород. гос. аграр. ун-т им. В. Я. Горина, 2017. 151 с.
11. Труханов В. М., Клюев В. В. Надежность, испытания, прогнозирование ресурса на этапе создания сложной техники. М. : Спектр, 2014. 313 с.
12. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Статистика, 1980. 263 с.
13. Болховитинов О. В., Иванов В. В., Новожилов А. А., Савинов А. Ю. Боевые авиационные комплексы и их эффективность. М. : ВВИА им. проф. Жуковского, 1990. 186 с.
14. Закутаев В. Д., Хрипунов С. П., Зырянов Ю. Т. Робототехнические системы подготовки и контроля комплексов авиационного вооружения. М. : ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 2011. 360 с.
15. Евланов Л. Г. Контроль динамических систем. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Наука, 1979. 431 с.
16. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М. : Мир, 1976. 165 с.

References

1. Karibskiy V.V., Parkhomenko P.P., Sogomonyan E.S., Khalchev V.F. *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki = Fundamentals of technical diagnostics*. Moscow: Energiya, 1976:464. (In Russ.)
2. Glazunov L.P., Smirnov A.N. *Proektirovanie tekhnicheskikh sistem diagnostirovaniya = Design of technical diagnostic systems*. Leningrad: Energoatomizdat, 1982:168. (In Russ.)
3. Belyaev Yu.K., Bogatyrev V.A., Bolotin V.V. [i dr.]. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: spravochnik = Reliability of technical systems: handbook*. Moscow: Radio i svyaz', 1985:608. (In Russ.)
4. Abramov O.V., Rozenbaum A.N. *Prognozirovaniye sostoyaniya tekhnicheskikh system = Forecasting the state of technical systems*. Moscow: Nauka, 1990:126. (In Russ.)
5. Zhivotkevich I.N., Smirnov A.P. *Nadezhnost' tekhnicheskikh izdeliy = Reliability of technical products*. Moscow: Olita, 2003:473. (In Russ.)
6. Mikhaylov V.S., Yurkov N.K. *Integral'nye otsenki v teorii nadezhnosti. Vvedenie i osnovnyye rezul'taty = Integral estimates in reliability theory. Introduction and main results*. Moscow: Tekhnosfera, 2020:152. (In Russ.)
7. Ostreykovskiy V.A. *Matematicheskoe modelirovaniye nadezhnosti sistem po ogranichennoy informatsii = Mathematical modeling of reliability of systems based on limited information*. Surgut: Novosti Yugry, 2016:197. (In Russ.)
8. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solov'ev A.D. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti: osnovnyye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskii analiz. 2-e izd., ispr. i dop. = Mathematical methods in the theory of reliability: the main characteristics of reliability and their statistical analysis. 2nd ed., ispr. and add.* Moscow: Librokom, 2012:582. (In Russ.)
9. Vyashchenko Yu.L., Afanas'ev A.S., Ivanov K.M., Matveev S.A. *Sistemnaya inzheneriya, riski, nadezhnost' v razrabotke i proizvodstve izdeliy voennogo naznacheniya = System engineering, risks, reliability in the development and production of military products*. Saint Petersburg: Balt. gos. tekhn. un-t «Voenmekh», 2018:572. (In Russ.)
10. Vodolazskaya N.V., Strebkov S.V. *Nadezhnost' i ekspluatatsiya tekhnicheskikh system = Reliability and operation of technical systems*. Belgorod: Belgorod. gos. agrar. un-t im. V.Ya. Gorina, 2017:151. (In Russ.)
11. Trukhanov V.M., Klyuev V.V. *Nadezhnost', ispytaniya, prognozirovaniye resursa na etape sozdaniya slozhnoy tekhniki = Reliability, testing, resource forecasting at the stage of creating complex equipment*. Moscow: Spektr, 2014:313. (In Russ.)
12. Beshelev S.D., Gurvich F.G. *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok. 2-e izd., pererab. i dop. = Mathematical and statistical methods of expert assessments. 2nd ed., rep. and add.* Moscow: Statistika, 1980:263. (In Russ.)
13. Bolkhovitinov O.V., Ivanov V.V., Novozhilov A.A., Savinov A.Yu. *Boevye aviatsionnye komplekсы i ikh effektivnost' = Combat aviation complexes and their effectiveness*. Moscow: VVIA im. prof. Zhukovskogo, 1990:186. (In Russ.)
14. Zakutaev V.D., Khripunov S.P., Zyryanov Yu.T. *Robototekhnicheskie sistemy podgotovki i kontrolya kompleksov aviatsionnogo vooruzheniya = Robotic systems for training and control of aviation weapons complexes*. Moscow: VUNTs VVS «VVA im. prof. N.E. Zhukovskogo i Yu.A. Gagarina», 2011:360. (In Russ.)
15. Evlanov L.G. *Kontrol' dinamicheskikh sistem. 2-e izd., pererab. i dop. = Control of dynamic systems. 2nd ed., rep. and add.* Moscow: Nauka, 1979:431. (In Russ.)
16. Zade L.A. *Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy = The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*. Moscow: Mir, 1976:165. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

**Андрей Юрьевич Дмитриевцев**

аспирант,  
Тамбовский государственный технический университет  
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)  
E-mail: dmitrievcev978@gmail.com

**Andrey Yu. Dmitrievtsev**

Postgraduate student,  
Tambov State Technical University  
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

**Юрий Трифонович Зырянов**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры конструирования  
радиоэлектронных и микропроцессорных систем,  
Тамбовский государственный технический университет  
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)  
E-mail: zut-tmb@mail.ru

**Yury T. Zyryanov**

Doctor of technical sciences, professor,  
professor of the sub-department of design  
of radioelectronic and microprocessor systems,  
Tambov State Technical University  
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

**Сергей Александрович Нестерович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий, искусственного интеллекта и общественно-социальных технологий цифрового общества, Российский государственный социальный университет (Россия, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1)  
E-mail: sirial\_2005@mail.ru

**Сергей Петрович Хрипунов**

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова Российской академии наук (Россия, г. Москва ул. Профсоюзная, 65)  
E-mail:hsp61@yandex.ru

**Sergey A. Nesterovich**

Candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the sub-department of information technologies, artificial intelligence and social technologies of the digital society, Russian State Social University (build. 1, 4 Wilhelma Pika street, Moscow, Russia)

**Sergey P. Khripunov**

Doctor of technical sciences, professor, leading researcher, Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences (65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 05.12.2023**

**Поступила после рецензирования/Revised 12.01.2024**

**Принята к публикации/Accepted 12.02.2024**