

Оценка эффективности контроля технического состояния сложного технического объекта с учетом экспертных оценок

С. А. Нестерович¹, А. Н. Брежнева² ✉

¹ Московский государственный университет технологий и управлений
имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)
ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва 109004, Российская Федерация

² Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
Стремянный пер., д. 36, г. Москва 117997, Российская Федерация

✉ e-mail: brezhneva.an@rea.ru

Резюме

Цель исследований – разработать метод оценки эффективности контроля технического состояния сложного технического объекта с учетом экспертных оценок.

Методы. Оценка эффективности применения сложного технического объекта производится с помощью соответствующих показателей эффективности, характеризующих степень выполнения поставленных перед ними задач. При выборе показателей эффективности необходимо учитывать следующие основные требования: показатель должен иметь количественное выражение и достаточно просто вычисляться; показатель должен выбираться с учетом специфики решаемой задачи и отражать основные характеристики оцениваемого явления; показатель должен быть представительным и обеспечивать сравнимость результатов оценки по степени предпочтительности, т. е. не допускать несравнимых (индифферентных) решений.

Результаты. Представлен метод оценки эффективности контроля технического состояния сложного технического объекта с учетом дополнительного расширенного информационного описания качественными признаками (экспертными оценками).

Заключение. Эффективность контроля напрямую зависит от точности, полноты контроля. Точность существующих систем контроля достаточно высокая, но полнота контроля не всегда учитывает качественные (экспертные) оценки об объекте контроля. Повышение эффективности систем контроля должно идти не только за счет точности и быстродействия, но и за счет полноты контроля. В качестве критерия оценки эффективности системы контроля предложена оценка вероятности работоспособного состояния, контролируемого сложного технического объекта. Предложен расчет эффективности системы контроля с учетом дополнительного расширенного информационного описания качественными признаками (экспертными оценками) об объекте контроля. Показано, что можно более точно оценить работоспособное состояние объекта контроля, если будет выше полнота контроля, при неснижаемой точности контроля.

Ключевые слова: вероятность принятия правильного решения; диагностика; достоверность контроля; информационное описание; количественные параметры; ошибка первого и второго рода; полнота контроля; сложный технический объект; техническое состояние; экспертные оценки качественных признаков; эффективность.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Нестерович С. А., Брежнева А. Н. Оценка эффективности контроля технического состояния сложного технического объекта с учетом экспертных оценок // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 2. С. 65–75. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-65-75>.

Поступила в редакцию 10.04.2023

Подписана в печать 05.05.2023

Опубликована 30.06.2023

Assessment of the Effectiveness of Monitoring the Technical Condition of a Complex Technical Object, Taking Into Account Expert Assessments

Sergey A. Nesterovich¹, Aleksandra N. Brezhneva² ✉

¹ Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University)
73 Zemlyanoy Val Str., Moscow 109004, Russian Federation

² Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny side-street, Moscow 117997, Russian Federation

✉ e-mail: brezhneva.an@rea.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop a method for evaluating the effectiveness of monitoring the technical condition of a complex technical object, taking into account expert assessments.

Methods. Evaluation of the effectiveness of the application of a complex technical object is carried out with the help of appropriate performance indicators that characterize the degree of fulfillment of the tasks assigned to them. When choosing performance indicators, the following basic requirements should be taken into account: the indicator should have a quantitative expression and be calculated simply enough; the indicator should be selected taking into account the specifics of the task being solved and reflect the main characteristics of the phenomenon being evaluated; the indicator should be representative and ensure comparability of the evaluation results by the degree of preference, i.e. to prevent incomparable (indifferent) decisions.

Results. A method for evaluating the effectiveness of monitoring the technical condition of a complex technical object is presented, taking into account an additional expanded information description with qualitative features (expert assessments).

Conclusion. The effectiveness of the control directly depends on the accuracy and completeness of the control. The accuracy of existing control systems is quite high, but the completeness of control does not always take into account qualitative (expert) assessments about the object of control. Improving the efficiency of control systems should go not only at the expense of accuracy and speed, but also at the expense of completeness of control. As a criterion for evaluating the effectiveness of the control system, an assessment of the probability of a functional state of a controlled complex technical object is proposed. The calculation of the effectiveness of the control system is proposed, taking into account the additional expanded information description by qualitative signs (expert assessments) about the object of

control. It is shown that it is possible to more accurately assess the operational state of the object of control if the completeness of control is higher, with an irreducible accuracy of control.

Keywords: probability of making the right decision; diagnostics; reliability of control; information description; quantitative parameters; error of the first and second kind; completeness of control; complex technical object; technical condition; expert assessments of qualitative signs; efficiency.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Nesterovich S. A., Brezhneva A. N. Assessment of the Effectiveness of Monitoring the Technical Condition of a Complex Technical Object, Taking Into Account Expert Assessments. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023; 13(2): 65–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-65-75>.

Received 10.04.2023

Accepted 05.05.2023

Published 30.06.2023

Введение

Информационное описание об объекте контроля складывается из количественных показателей и качественных признаков. Количественные показатели обычно получаются с помощью измерительных средств контроля (контрольно-измерительной аппаратуры). Обычно в количественной оценке технического состояния (ТС) сложного технического объекта (СТО) качественные признаки не учитываются. Качественные признаки – это признаки, которые сложно оценить количественно, они оцениваются с помощью экспертных оценок экспертами. Формализацию качественных признаков можно выполнить с помощью математического аппарата нечетких множеств [1; 2]. Поэтому, если система контроля, не снижая точности и полноты (глубины) контроля, сможет оценивать не только количественные параметры, но и качественные признаки, тогда система контроля будет лучше, так как информационное описание об объекте контроля будет шире, а значит, объём данных контролируемой информации будет больше, чем только при количественном методе. Одним из важнейших показате-

лей системы контроля является достоверность [3; 4]. Достоверность контроля есть степень доверия к принимаемым решениям в процессе контроля и определяется мерой их определённости после контроля объекта [5; 6; 7]. В качестве показателя достоверности используется вероятность принятия правильного решения по результатам контроля [8]. Как известно, достоверность контроля зависит от точности и объема контролируемых параметров, и чем больше объем контролируемых параметров, тем выше достоверность контроля [4; 9; 10; 11]. Тогда можно утверждать, что более точная оценка технического состояния СТО будет напрямую зависеть от полноты контроля при заданной точности контроля.

Материалы и методы

Оценка эффективности применения СТО производится с помощью соответствующих показателей эффективности, характеризующих степень выполнения поставленных перед СТО задач.

При выборе показателя эффективности необходимо учитывать следующие основные требования [12; 13]:

– показатель должен иметь количественное выражение и достаточно просто вычисляться;

– показатель должен выбираться с учетом специфики решаемой задачи и отражать основные характеристики оцениваемого явления;

– показатель должен быть представительным (удовлетворять принципу: большому значению показателя соответствует лучший вариант решения) и обеспечивать сравнимость результатов оценки по степени предпочтительности, т. е. не допускать несравнимых (индифферентных) решений.

В зависимости от цели действий в качестве показателя эффективности обычно используется или вероятность

какого-то события, или математическое ожидание некоторой случайной величины.

Для определения качества работы алгоритма распознавания ТС СТО воспользуемся методикой оценки эффективности распознающих систем, предложенной в [4] и основанной на методе статистических испытаний. Согласно данной методике, в качестве значения $\gamma_{\text{расп}}$ примем вероятность получения правильных решений при распознавании образов, относящихся к различным классам. Функциональная схема модели оценки показателя $\gamma_{\text{расп}}$ эффективности алгоритма распознавания технического состояния (ТС) представлена ниже (рис. 1).

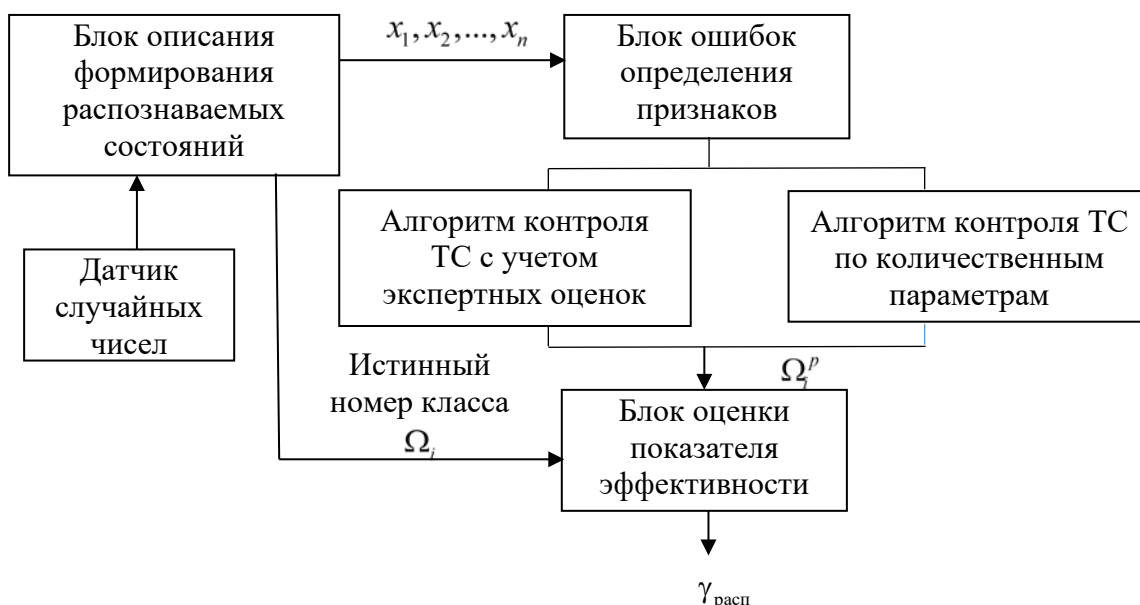


Рис. 1. Функциональная схема модели оценки показателя эффективности алгоритма распознавания ТС

Fig. 1. Functional diagram of the model for evaluating the effectiveness of the vehicle recognition algorithm

Пусть имеется m классов групп технического состояния, которые необходимо распознать и которые образуют множество $\Omega = \{\Omega_i\}$. На основе имеющихся значений признаков $x_1, x_2, \dots, x_n$

(измеренных с помощью информационных средств контроля или полученных иным способом) формируются описания объектов, составляющих описание ТС объекта контроля и принадлежность которых к определенному классу заранее

известна. Датчик случайных чисел позволяет выбирать заранее известное ТС случайным образом из имеющейся выборки. С помощью блока ошибок определения признаков значения $x_1, x_2, \dots, x_n$ подвергаются случайному искажению, имитирующему неточность определения значений признаков. Возникающие неточности и неопределенности обусловлены точностными характеристиками информационной системы контроля и неполнотой имеющихся сведений о ОК в условиях эксплуатации, а также воздействием различного рода ошибок [12].

В результате воздействия ошибок формируются искаженные значения признаков $x'_i = x_i + \xi_i$,

где ξ_i – ошибка определения значения признака x_i .

Искаженные значения признаков поступают на вход алгоритма распознавания ТС, который определяет принадлежность объектов к тому или иному классу из множества $\Omega = \{\Omega_i\}$ $i = 1, 2, \dots, m$. Блок оценки показателя эффективности сопоставляет номер класса Ω_i^p , к которому отнесен объект алгоритма распознавания, с «истинным» номером, т. е. с тем, который задавался блоком формирования описаний распознаваемых ситуаций, определяет правильность распознавания объекта и запоминает полученный результат. Затем заново формируется описание случайно выбранной ситуации, которая должна быть распознана алгоритмом распознавания, и описанная выше процедура

определения правильности распознавания повторяется.

Число испытаний N определяется доверительной вероятностью. Пусть ϵ – доверительный интервал, γ^i – вероятность принятия правильного решения годен для i -го класса, $\gamma_{\text{расп}}^i$ – вероятности правильного распознавания объектов i -го класса, а α – доверительная вероятность. Тогда число испытаний, необходимое для того, чтобы вероятность отклонения оценки величины γ^i от своего истинного значения $\gamma_{\text{расп}}^i$ меньше, чем на $2\Delta_\alpha$, была равна α , можно определить по формуле [14]

$$N = \frac{\gamma_{\text{расп}}^i (1 - \gamma_{\text{расп}}^i)}{\Delta_\alpha^2} \left[\Phi_0^{-1} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]^2, \quad (1)$$

где $\Phi_0^{-1}(\cdot)$ – обратная функция Лапласа.

При правильном распознавании ставилась «1», а при неправильном – «0».

Рассчитаем доверительный интервал для полученных оценок вероятности принятия правильного решения об отказе ОК по формуле [3; 13; 14]

$$\Delta_\alpha \Phi_0^{-1} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \sqrt{\frac{\gamma^* q^*}{n}}, \quad (2)$$

где α – доверительная вероятность оценки; γ^* – оценка вероятности правильного распознавания ТС;

$$q^* = 1 - \gamma^*;$$

n – число испытаний.

Обозначим N^i – общее количество испытаний оценки ТС, в которых имелись объекты из класса Ω , а $N_{\text{пр}}^i$ – число правильных решений. Тогда оценка γ^i правильности распознавания

объектов i -го класса может быть получена по формуле

$$\gamma^i = \frac{N_{\text{пр}}^i}{N^i}. \quad (3)$$

Если априорные вероятности $P(\Omega_i)$ появления объектов из различных классов известны, то безусловная вероятность правильного решения задачи распознавания алгоритмом распознавания ТС может быть вычислена по формуле

$$\gamma_{\text{расп}} = \sum_{i=1}^m \gamma^i P(\Omega_i), \quad (4)$$

где m – число классов.

Важным показателем эффективности контроля является его достоверность.

Достоверность контроля есть мера определенности его результатов. На достоверность контроля и качество принимаемых решений значительно влияет полнота (глубина) контроля изделия с точки зрения проверки всех его конструктивных элементов.

Результаты и их обсуждение

Методика расчета достоверности ТС СТО подробно изложена в [6; 10; 15].

Расчет достоверности результатов контроля по количественным (n) параметрам осуществляется по формуле (5), а с учетом качественных (k) признаков – по формуле (6):

$$D_n = 1 - \prod_{i=1}^n (\alpha'_i + \gamma'_i) \prod_{i=n+1}^d P_i - \prod_{i=1}^n (\beta'_i + \gamma'_i) + 2 \prod_{i=1}^n \gamma'_i \prod_{i=n+1}^d P_i, \quad (5)$$

$$D_{n+k} = 1 - \prod_{i=1}^n (\alpha'_i + \gamma'_i) = \prod_{i=n+1}^d P_i \prod_{j=1}^k \gamma_j^* - \prod_{i=1}^n (\beta'_i + \gamma'_i) \prod_{j=1}^k \gamma_j^* + 2 \prod_{i=1}^n \gamma'_i \prod_{j=1}^k \gamma_j^* \prod_{i=n+1}^d P_i, \quad (6)$$

где D_n – достоверность результата контроля с существующими средствами контроля; D_{n+k} – достоверность результата контроля с помощью дополнительных экспертных оценок; α'_i – ошибка 1-го рода (вероятность ложного отказа) по i -му количественному параметру; β'_i – ошибка 2-го рода (вероятность не обнаружения отказа) по i -му количественному параметру; P_i – априорная вероятность исправного состояния по i -му параметру; γ'_i – вероятность принятия правильного решения (годен) по i -му количественному признаку; γ_j^* – вероятность принятия правильного решения (годен) по j -му качественному признаку; d – общее количество количественных параметров и качественных признаков, участвующих в контроле; $i = \overline{1, n}$ количество количественных контролируемых параметров; $j = \overline{1, k}$ количество качественных контролируемых параметров;

Расчет ошибок α'_i и β'_i можно произвести на основе методики, предложенной в [12].

Значения α'_i и β'_i рассчитываются по графикам, приведенным на рисунке 2 и 3, для случая, когда закон распределения параметра и закон распределения погрешности измерения являются нормальными.

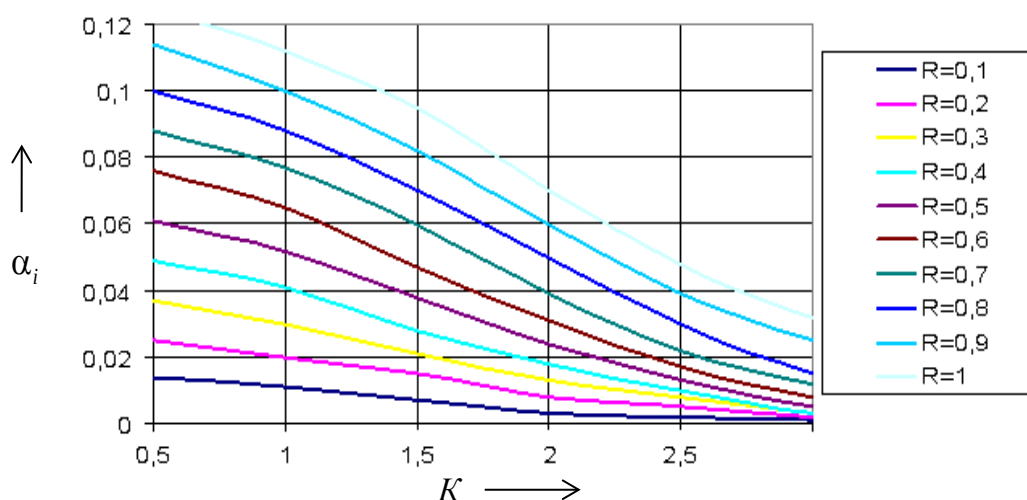


Рис. 2. Графики для определения условных вероятностей ложных отказов (отклонения контролируемых параметров и погрешности измерения распределены по нормальному закону)

Fig. 2. Graphs for determining conditional probabilities of false failures (deviations of controlled parameters and measurement errors are distributed according to the normal law)

В случае, когда законы распределения параметра и погрешности его измерения неизвестны, их рекомендуется

определять путем анализа факторов, формирующих отклонения параметра (погрешности измерения).

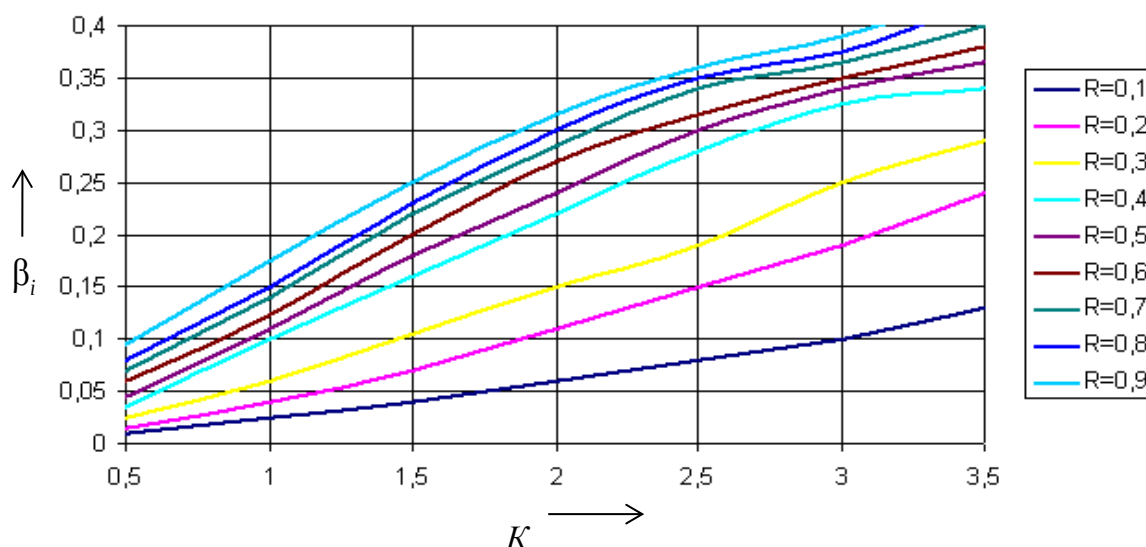


Рис. 3. Графики для определения условных вероятностей необнаруженных отказов

Fig. 3. Graphs for determining conditional probabilities of undetected failures

Если число факторов более пяти и ни одному из них нельзя отдать предпочтение, то закон распределения следует принимать нормальным. Если эти условия не выполняются, то закон распределения следует принимать равномерным.

Под факторами следует понимать причины отклонения параметра (погрешности измерения) от номинального значения, например реальный разброс характеристик элементов ОК:

– изменение напряжений питания;

– изменение внешних условий (давления, температуры, влажности, освещенности, цвета индикаторов, электромагнитных излучений и т. д.);

– временной дрейф параметра и др.

Зная достоверность контроля, можно определить вероятность работоспособного состояния P^* СТО среди годных параметров [16; 17; 18; 19]:

$$P^* = \frac{pD}{1 - v(1 - p)}, \quad (7)$$

где v – полнота контроля; P – априорная вероятность работоспособного состояния.

Если принять некоторые заданные достоверности и априорные вероятности работоспособного состояния, то можно рассчитать вероятность работоспособного ТС СТО (рис. 4).

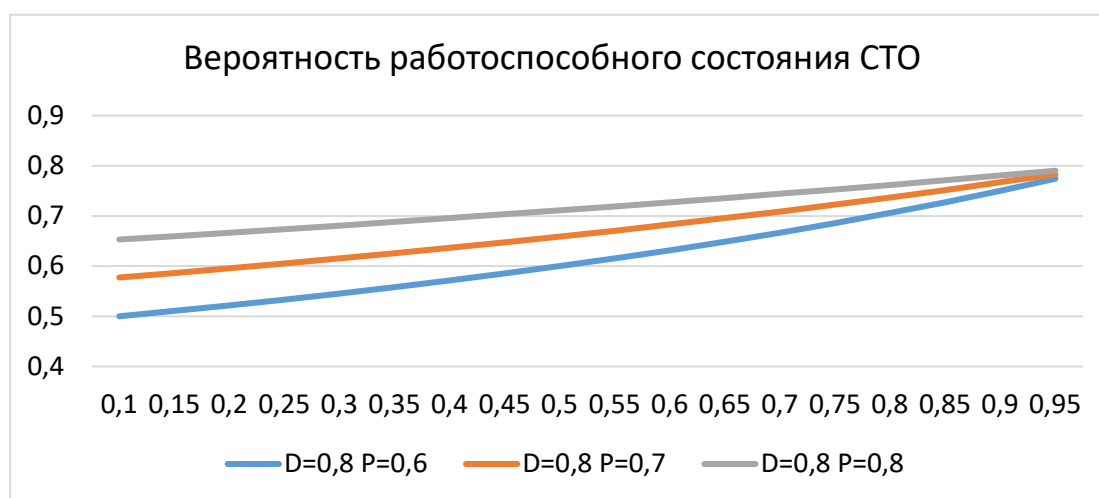


Рис. 4. Вероятность работоспособного состояния в зависимости от полноты контроля

Fig. 4. The probability of a working condition depending on the completeness of the control

Из рисунка 4 видно, что чем выше полнота контроля, тем точнее можно оценить работоспособное техническое состояние объекта.

Аналогично можно рассчитать вероятность исправного, неисправного, неработоспособного и предельного технического состояния.

Выводы

Эффективность контроля напрямую зависит от точности и полноты контроля. Точность существующих систем контроля достаточно высокая, но полнота контроля не всегда учитывает

качественные (экспертные) оценки о СТО. Повышение эффективности систем контроля должно идти не только за счет точности оценки контролируемых параметров, но и за счет полноты контроля. Предложен расчет эффективности системы контроля с учетом дополнительного расширенного информационного описания качественными признаками (экспертными оценками) о СТО. Показано, что более точная оценка технического состояния СТО будет напрямую зависеть от полноты контроля при заданной точности контроля.

Список литературы

1. Леоненко А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БВХ – Петербург, 2005. 736 с.
2. Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, Физматлит, 1990. 272 с.
3. Аполлонский С. М. Электромагнитная и функциональная безопасности в сложных технических системах. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2023. 631 с.
4. Гелинг А. К., Матвеев А. С. Введение в математическую теорию обучаемых распознающих систем и нейронных сетей. М.: КноРус, 2017. 395 с.
5. Мороз С. М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2023. 240 с.
6. Потюпкин А. Ю. Регуляризация задачи контроля состояния сложных технических объектов путем использования дополнительной семантической информации // Измерительная техника. 2010. № 4. С. 41–46.
7. Потюпкин А. Ю., Чечкин А. В. Интеллектуализация сложных технических систем. М.: Военная академия РВСН им. Петра Великого, 2013. 289 с.
8. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1979. 496 с.
9. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009481> (дата обращения: 10.03.2023).
10. Технический контроль в машиностроении. Справочник проектировщика / под общей редакцией В. Н. Чупрынина, А. Д. Никифорова. М.: Машиностроение, 1987. 512 с.
11. Шишмарёв В. Ю. Надежность технических систем. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2023. 289 с.
12. Буравлев А. И., Доценко Б. И., Казаков И. Е. Управление техническим состоянием динамических систем / под общ. ред. И. Е. Казакова. М.: Машиностроение, 1995. 240 с.
13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 10-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2006. 575 с.
14. Гниденко Б. В. Курс теории вероятностей. М.: ЛЕНАНД, 2010. 446 с.
15. Тимошенков С. П., Симонов Б. М., Горошко В. Н. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: Юрайт, 2023. 502 с.
16. Евланов Л. Г. Контроль динамических систем. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. 432 с.
17. Шишмарёв В. Ю. Диагностика и надежность автоматизированных систем. 2-е изд. М.: Юрайт, 2023. 341 с.
18. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2023. 538 с.

19. Лобанова Н. М., Алтухова Н. Ф. Эффективность информационных технологий. М.: Юрайт, 2023. 237 с.
20. Науменко А. П. НЗ4 Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль / Омский государственный технический университет. Омск, 2019. 152 с.

References

1. Leonenko A. V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BVKh – Petersburg Publ., 2005. 736 p.
2. Melikhov A. N., Bershtein L. S., Korovin S. Ya. Situatsionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoi logikoi [Situational advising systems with fuzzy logic]. Moscow, Nauka, Fizmatlit, 1990. 272 p.
3. Apollonsky S. M. Elektromagnitnaya i funktsional'naya bezopasnosti v slozhnykh tekhnicheskikh sistemakh [Electromagnetic and functional safety in complex technical systems]. 2nd ed. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 631 p.
4. Geling A. K., Matveev A. S. Vvedenie v matematicheskuyu teoriyu obuchaemykh raspoznayushchikh sistem i neironnykh setei [Introduction to the mathematical theory of trainable recognition systems and neural networks]. Moscow, KnoRus Publ., 2017. 395 p.
5. Moroz S. M. Metody obespecheniya rabotosposobnogo tekhnicheskogo sostoyaniya avtotransportnykh sredstv [Methods for ensuring the efficient technical condition of vehicles]. 2nd ed. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 240 p.
6. Potyupkin A. Yu. Regularizatsiya zadachi kontrolya sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh ob'ektov putem ispol'zovaniya dopolnitel'noi semanticheskoi informatsii [Regularization of the problem of monitoring the state of complex technical objects by using additional semantic information]. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring Technique*, 2010, no. 4, pp. 41–46.
7. Potyupkin A. Yu., Chechkin A. V. Intellektualizatsiya slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Intellectualization of complex technical systems]. Moscow, Military Academy of the Strategic Missile Forces. Peter the Great Publ., 2013. 289 p.
8. Pugachev V. S. Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 496 p.
9. GOST 20911 – 89. Tekhnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya [Technical diagnostics. Terms and definitions]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200009481>. (accessed 10.03.2023)
10. Tekhnicheskii kontrol' v mashinostroenii. Spravochnik proektirovshchika [Technical control in mechanical engineering. Designer's Handbook]; ed. by V. N. Chuprynina, A. D. Nikiforov. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1987. 512 p.
11. Shishmarev V. Yu. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem [Reliability of technical systems]. 2nd ed. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 289 p.

12. Buravlev A. I., Dotsenko B. I., Kazakov I. E. Upravlenie tekhnicheskim so-stoyaniem dinamicheskikh sistem [Management of the technical condition of dynamic systems]; ed. by I. E. Kazakova. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995. 240 p.
13. Wentzel E. S. Teoriya veroyatnostei [Probability theory]. 10th ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2006. 575 p.
14. Gnidenko B. V. Kurs teorii veroyatnostei [Probability theory course]. Moscow, LENAND Publ., 2010. 446 p.
15. Timoshenkov S. P., Simonov B. M., Goroshko V. N. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk [Reliability of technical systems and technogenic risk: textbook and workshop for universities]. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 502 p.
16. Evlanov L. G. Kontrol' dinamicheskikh sistem [Control of dynamic systems]. Moscow, Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoi literatury Publ., 1979. 432 p.
17. Shishmarev V. Yu. Diagnostika i nadezhnost' avtomatizirovannykh sistem [Diagnostics and reliability of automated systems]. 2nd ed. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 341 p.
18. Kremer N. Sh. Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. 5th ed. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 538 p.
19. Lobanova N. M., Altukhova N. F. Effektivnost' informatsionnykh tekhnologii [Efficiency of information technologies]. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 237 p.
20. Naumenko A. P. N34 Vvedenie v tekhnicheskuyu diagnostiku i nerazrushayu-shchii kontrol' [N34 Introduction to technical diagnostics and non-destructive testing]. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2019. 152 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Нестерович Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и цифровых технологий, Московский государственный университет технологий и управлений им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва, Российская Федерация, e-mail: sirial_2005@mail.ru

Брежнева Александра Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: brezhneva.an@rea.ru, ORCID: 0000-0001-5226-329X

Sergey A. Nesterovich, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies, Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky (First Cossack University), Moscow, Russian Federation, e-mail: sirial_2005@mail.ru

Aleksandra N. Brezhneva, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation e-mail: brezhneva.an@rea.ru, ORCID: 0000-0001-5226-329X