

References

1. Savos'kin A.N., Baranov L.A., Plaks A.V., Feoktistov V.P. *Avtomatizatsiya elektropodvizhnogo sostava* [Automation of Electric Rolling Stock]. Moscow, Transport Publ., 1990, 311 p. (In Russian).
2. *Universalnaya sistema avtovedenia elektrovozov passajirskogo dvizhenia USAVPP* [Universal system of automatic driving of electric locomotives of passenger traffic UAPTDS]. User manual KNGM.466451.001 RE, Moscow, AVP «Technologia» Publ., 2016, 127 p. (In Russian).
3. Kashtanov A.L., Larin A.N., Ponomarev A.V. Evaluation of the effectiveness of USAVP use in freight traffic [Ochenka effektivnosti ispolzovaniya USAVP v gruzovom dvizhenii]. *Izvestiia Transsiba – Journal of Transsib Railway Studies*, 2010, no. 4 (4), pp. 49-54 (In Russian).
4. *Stend dilya proverki system avtovedenia CHS100S* [Stand for checking the automatic train control systems CHS100S]. User manual SVTI.468222.021 RE, AVP «Technologia» Publ., 2019, 98 p. (In Russian).
5. Rosenfeld V.E., Isaev I.P., Sidorov N.N. *Teoria elektricheskoi tyagi: uchebnik* [Theory of electric traction: textbook]. Moscow, Transport Publ., 1983, 328 p. (In Russian).
6. Blokhin E.P., Manashkin L.A. *Dinamica poezda (nestacionarnie prodolnie kolebania)* [Train dynamics (unsteady longitudinal oscillations)]. Moscow, Transport Publ., 1982, 222 p. (In Russian).
7. Vershinskii S.V., Danilov V.N., Husidov V.D. *Dinamica vagona* [The dynamics of the car]. Moscow, Transport Publ., 1991, 360 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Жухин Никита Олегович

Российский университет транспорта (ПУТ (МИИТ)).

Образцова ул., д. 9, стр. 9, г. Москва, 127994, Российская Федерация.

Ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы», ПУТ (МИИТ).

Тел.: +7 (916) 859-49-37.

E-mail: rzd1997@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Zhukhin Nikita Olegovich

Russian University of Transport (RUT(MIIT)).

9, b. 9, Obraztsova st., Moscow, 127994, the Russian Federation.

Assistant of the department «Locomotives and multiple-unit trains», RUT (MIIT).

Phone: +7 (916) 859-49-37.

E-mail: rzd1997@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Жухин, Н. О. Применение модели поезда для исследования работы системы автоведения / Н. О. Жухин. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2023. – № 1 (53). – С. 27 – 36.

BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION

Zhukhin N.O. Application of the train model to research the operation of the automatic train driving system. *Journal of Transsib Railway Studies*, 2023, no. 1 (53), pp. 27-36 (In Russian).

УДК 656.25

А. Р. Азизов, Э. К. Аметова

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ), г. Ташкент, Республика Узбекистан

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ БЛОКОВ НАБОРНОЙ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Аннотация. В статье приведены результаты теоретических исследований в организации построения системы диагностирования, микропроцессорных блоков наборной группы железнодорожной автоматики и телемеханики. Проведен анализ известных способов диагностирования технических устройств, таких как субъективные способы, которые основаны на определении состояния объекта человеком с использованием слуха, зрения, осязания и обоняния. Применение данного способа диагностирования в устройствах, содержащих

микропроцессоры, не является эффективным. Показана актуальность для условий железнодорожного транспорта с его высокими требованиями по обеспечению безопасного движения поездов, решения задач, технического исследования и разработки модели. Исследованию подлежали изделия, выполненные с применением микроконтроллеров, математических выражений для определения критериев оценки процесса диагностирования. Рассмотрена возможность осуществления операции по диагностированию устройств при использовании микропроцессорной техники в оборудовании, не отвечающем за безопасность движения поездов системы блочной маршрутной релейной централизации в период отсутствия действий по заданию либо по отмене маршрутов, при этом с целью достижения максимальной эффективности в процессе диагностирования необходимо учитывать особенности каждой конкретной станции в отдельности.

Разработан и проанализирован граф сетей Петри переходов системы диагностирования блоков наборной группы для определения показателя готовности системы. В результате анализа функционирования системы блочной маршрутной централизации получены математические выражения для определения критериев оценки процесса диагностирования. Разработан и проанализирован граф переходов системы диагностирования блоков наборной группы для определения показателя готовности использованы программируемые микроконтроллеры, повышающие возможности разработки и применения полностью автоматических систем диагностики.

Показано, что момент времени, определяющий фактический заступ области с рабочими параметрами, является случайной величиной и подчиняется гауссову закону распределения.

Предложен метод получения коэффициента готовности и его математического выражения с использованием аппарата полумарковских процессов при законе распределения времени до возникновения отказов.

Ключевые слова: методы диагностирования, области исследования, автоматизированные процессы, железнодорожная автоматика и телемеханика, микроконтроллеры, коэффициент готовности, теория вероятности, качество и эффективность систем, марковские процессы.

Asadulla R. Azizov, Elnara K. Ametova

Tashkent State Transport University (TSTU), Tashkent, Republic of Uzbekistan

METHOD OF MATHEMATICAL MODELING OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DIAGNOSTICS SYSTEM OF MICROPROCESSOR UNITS OF RAILWAY AUTOMATION AND TELEMCHANICS SETTING GROUP

Abstract. The article presents the results of theoretical research in the organization of the construction of a diagnostic system, microprocessor blocks of a typesetting group of railway automation and telemechanics. The analysis of known methods of diagnosing technical devices, such as subjective methods that are based on determining the state of an object by a person using hearing, sight, touch and smell. The use of this diagnostic method in devices containing microprocessors is not effective. The relevance for the conditions of railway transport, with its high requirements for ensuring the safe movement of trains, problem solving, technical research and development, models is shown. The products made with the use of microcontrollers, using mathematical expressions to determine the criteria for evaluating the diagnostic process, were subject to research. The possibility is considered to carry out operations for diagnosing devices when using microprocessor technology in equipment that is not responsible for the safety of trains of the block route relay centralization system during the absence of actions on the assignment or cancellation of routes, while in order to achieve maximum efficiency in the process of diagnosis, it is necessary to take into account the specifics of each specific station separately.

A graph of Petri nets of transitions of the diagnostic system of blocks of a set group has been developed and analyzed to determine the readiness indicator. As a result of the analysis of the functioning of the block route centralization system, mathematical expressions were obtained to determine the criteria for evaluating the diagnostic process. The graph of transitions of the diagnostic system of the blocks of the set group was developed and analyzed, programmable microcontrollers were used to determine the readiness indicator, increasing the possibilities of developing and using fully automatic diagnostic systems.

It is shown that the moment of time determining the actual spade of the area with operating parameters is a random variable and obeys the Gaussian distribution law.

A method is proposed for obtaining the readiness coefficient and its mathematical expression using the apparatus of semi-markov processes with the law of time distribution before the occurrence of failures.

Keywords: diagnostic methods, research areas, automated processes of railway automation and telemechanics, microcontrollers, availability coefficient, probability theory, quality and efficiency of systems, markov processes.

Большие возможности в повышении эффективности технологической системы железнодорожной автоматики и телемеханики зарезервированы в организации их эксплуатации и обслуживании по действительной потребности. При этом необходимость в

техническом обслуживании объектов определяется по их действительному состоянию, а не по наработке или истекшему сроку эксплуатации. Однако внедрение подобного принципа в практику обслуживания технических объектов связано с необходимостью оценки их состояния. Процесс оценки состояния технических объектов получил название диагностирования.

Известны несколько способов проведения диагностирования – органолептические (субъективные) и инструментальные (объективные) [9]. Субъективные способы основаны на определении состояния объекта человеком с использованием слуха, зрения, осязания и обоняния. Использование данного способа диагностирования в устройствах, содержащих микропроцессоры, не является эффективным. В данной статье рассматривается объективный способ диагностирования, базирующийся на резервных вычислительных мощностях микропроцессора. Процедура диагностирования, в которой часть заранее определенных функций выполняет человек-оператор, предусматривает существенное взаимодействие объекта и технических средств, подверженных диагностированию, как правило, такие системы входят в состав автоматизированной. В настоящее время, когда в автоматических системах широко применяются программируемые микроконтроллеры, имеются возможности разработки и применения полностью автоматических систем диагностики, что весьма актуально для условий железнодорожного транспорта с его высокими требованиями по обеспечению безопасного движения поездов [1, 4]. Использование микроэлектронных технологий в блоках наборной группы системы маршрутной релейной централизации позволяет возложить функции диагностирования на встроенные программируемые устройства, которые помимо управления объектами имеют возможность проводить операции диагностирования в период между поездными операциями. Анализ технологического процесса железнодорожных станций показывает, что имеется достаточное количество времени для диагностирования устройств между операциями по замыканию и размыканию маршрутов, даже если предположить, что межпоездной интервал составляет минимальное время, равное 8 – 10 минут.

Высокая эффективность процесса диагностирования может быть достигнута только в том случае, когда в процессе диагностирования будет максимально учтена специфика технологического процесса работы станции железнодорожного транспорта, в нашем случае это график движения поездов и межпоездной интервал, что требует тщательного анализа программного обеспечения, перечня оборудования его состояния в период между заданиями маршрутов.

Можно предположить, что процесс создания системы диагностирования состоит из нескольких этапов. На первом этапе предполагается рассматривать процесс диагностирования с учетом выбранных критериев и на их основе определять требования к алгоритмам действия процесса диагностирования [6 – 10].

На втором этапе осуществляется процесс проектирования программного обеспечения микроконтроллера [4].

Наконец, на третьем этапе должны быть оценены эффективность диагностирования и его программного обеспечения [5, 10].

Рассмотрим один из способов оценки эффективности процесса диагностирования элементов наборной группы системы блочной маршрутной релейной централизации. Для этого в качестве критерия оценки организации взаимодействия элементов системы диагностирования предложено использовать вероятность отсутствия отказа в произвольный момент времени при нахождении блоков наборной группы в рабочем состоянии (период установки и размыкания маршрутов либо период между процедурой задания маршрутов). Этот критерий принято называть показателем готовности и обозначать K_r [10 – 13]. Логично предположить, что указанный показатель находится в прямой зависимости от суммарной вероятности пребывания элементов блоков наборной группы в произвольный момент времени в подмножестве n состояний, включающем в себя все ситуации, когда в блоках, находящихся

в рабочем режиме, отсутствуют отказы. Следует предположить, что имеет место исследование вопроса, как часто необходимо проводить процедуру диагностирования.

Для расчета частоты диагностирования в работах [6, 9] предложены следующие выражения:

$$\begin{aligned} \nu_0 &= 1 / T_{\text{опт}} = \sqrt{\lambda / t_d} - \xi; \\ R &= R_p / R_d; \\ \lambda_{\Sigma} &= \lambda + R\lambda'; \\ \nu_0 &= \sqrt{\frac{\lambda_{\Sigma}}{t_d}} (1 + R), \end{aligned} \quad (1)$$

где ν_0 – частота диагностирования;

$T_{\text{опт}}$ – период оптимального опроса диагностируемого блока;

λ – интенсивность отказов элементов блока в период задания/размыкания маршрутов;

t_d – время диагностирования исследуемого блока;

ξ – интенсивность использования блоков (задание/размыкание маршрутов);

R_p – вероятность пребывания блока в период задания/размыкания маршрутов;

R_d – вероятность пребывания блока в период отсутствия задания/размыкания маршрутов;

λ' – интенсивность возникновения отказов в период отсутствия задания/размыкания маршрутов (специальный режим).

Известен близкий к коэффициенту готовности показатель – коэффициент использования ($K_{\text{и}}$) [5 – 8]. Это значение вероятности застать объект в произвольный момент времени t в работоспособном состоянии с учетом того, что исправные объекты по графику ставятся на профилактику, т. е. исключаются из рабочего цикла. Статистически коэффициент использования $K_{\text{и}}(t)$ интерпретируется выражением

$$K_{\text{и}}(t) = \frac{\sum_{r=1}^l T_{\text{пр}}}{\sum_{r=1}^l T_{\text{пр}} + \sum_{j=1}^m T_{\text{пж}} + \sum_{i=1}^n T_i}, \quad (2)$$

где n – число отказов объекта в интервале времени $(0, t)$;

m – число профилактик в интервале времени $(0, t)$;

l – число рабочих циклов в интервале времени $(0, t)$;

$T_{\text{пр}}$ – время сохранения работоспособности объекта в R -м цикле;

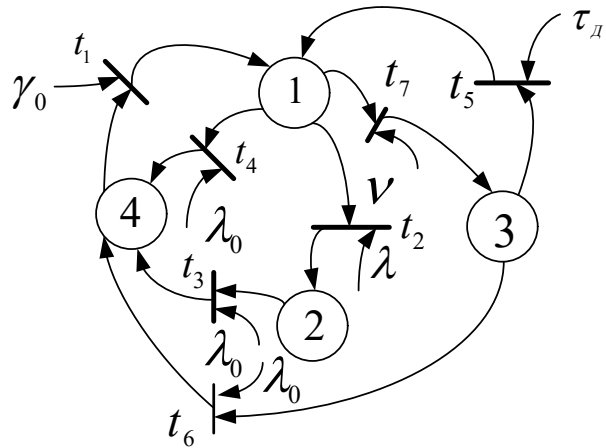
$T_{\text{пж}}$ – длительность j -й проверки;

T_i – длительность ремонта после i -го отказа объекта.

При этом следует иметь в виду, что $K_{\text{и}}(t) \rightarrow 1$. Определимся с численными значениями – к примеру, интервал времени $(0, t)$ для блоков наборной группы может достигать нескольких лет, переменная n определяется по результатам статистического наблюдения, m определяется нормативными значениями профилактических работ блоков наборной группы, $T_{\text{пр}}$ определяется по результатам статистического анализа, численные значения переменных $T_{\text{пж}}$ и T_i определяются нормативными документами по проведению профилактических работ и ремонту оборудования, переменная l определяется интенсивностью работы станции в предположении, что в течение года с интервалом времени 8 – 10 мин будут задаваться маршруты, эта переменная может достигнуть значений $(24 \times 365 \times 60) / 8 = 65700$ циклов.

Так как устройства наборной группы системы блочной маршрутной централизации предназначены для непрерывного использования, то они могут быть продиагностированы в период отсутствия поездной работы на станции, т.е. в специальном режиме. Граф переходов системы диагностирования из состояния в состояние, выполненный на основе теории сетей Петри, показан на рисунке [3].

Позиции графа, изображенного на рисунке, представляют собой следующие состояния: 1 – объект используется по назначению и в нем отсутствуют отказы; 2 – наборный блок используется по назначению и в нем возник отказ, который обнаружен в процессе задания маршрута; 3 – испытуемое устройство в специальном режиме диагностирования и в нем обнаружен отказ; 4 – наборный блок не функционирует, так как возник отказ в результате неисправностей внешних устройств, не входящих в состав объектов диагностирования (к примеру, кнопка, излом контактов кнопки, отсутствие питания на клеммах кнопки и т. д.).



Граф переходов системы диагностирования блоков наборной группы для определения показателя готовности τ_d

Показатель готовности для этого случая оценивается по вероятности нахождения объекта в состоянии 1 ($r=1$) и вычисляется по формуле (1), где λ_0 и γ_0 – интенсивности отказов и восстановления блоков наборной группы; τ – интенсивность проведения диагностирования блоков наборной группы:

$$K_r = \nu / \left[(1/\tau_d)\nu^2 + (1 + \lambda/\tau_d)\nu + \lambda \right]. \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что показатель готовности системы диагностирования блоков наборной группы зависит от организации диагностирования и ν – частоты диагностирования, интенсивности возникновения отказов λ , а также его контроле пригодности τ_d , т. е. более полно характеризует предлагаемую систему диагностирования.

Рассмотрим процедуру смены состояния объекта диагностирования, выполненную на основе графа сети Петри, где λ_0 и γ_0 – интенсивности отказов и восстановления блоков наборной группы:

$$\begin{aligned} I(1) &= \{t_1, t_5\}; O(1) = \{t_4, t_7, t_2\}; \\ I(2) &= \{t_2\}; O(2) = \{t_3\}; \\ I(3) &= \{t_7\}; O(3) = \{t_5, t_6\}; \\ I(4) &= \{t_3, t_4, t_6\}; O(4) = \{t_1\}; \\ I(t_1) &= \{\gamma_0, 4\}; O(t_1) = \{1\}; \\ I(t_2) &= \{\lambda, 1\}; O(t_2) = \{2\}; \\ I(t_3) &= \{2, \lambda_0\}; O(t_3) = \{4\}; \\ I(t_4) &= \{\lambda_0, 1\}; O(t_4) = \{4\}; \\ I(t_5) &= \{\tau_d, 3\}; O(t_5) = \{1\}; \\ I(t_6) &= \{\lambda_0, 3\}; O(t_6) = \{4\}; \\ I(t_7) &= \{\nu, 1\}; O(t_7) = \{3\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Согласно системе уравнений (4) блок наборной группы, находясь в нормальном исправном работающем состоянии 1 (т. е. идет процесс по установке или размыканию маршрута), может перейти в другое состояние 3 при выполнении условий перехода t_7 , т. е. зависит от организации диагностирования согласно переменной ν , что способствует переходу системы в позицию 3, а также возможно изменение состояния по переходу t_4 в соответствии с показателями интенсивностей возникновения отказов наборных блоков λ_0 , что способствует переходу системы в позицию 4, кроме этого система может перейти в позицию 2 по переходу t_2 в соответствии с показателями интенсивности возникновения отказов наборных блоков λ . Элементами, которые обеспечивают выполнение условий переходов из одного состояния в другое, являются переменные t_i (где $i = 7$). Рассмотрим значения этих переменных: входной функцией переменной t_1 является выражение $I(t_1) = \{\gamma_0, 4\}$, из которого следует, что с учетом интенсивности восстановления блоков наборной группы γ_0 устройство из состояния 4 (с наличием отказа) после восстановления перейдет в нормальный режим работы; переменная t_2 , входные воздействия которой описывается формулой $I(t_2) = \{\lambda, 1\}$, из которой следует, что при наличии значения интенсивности возникновения отказов блока наборной группы устройство способно перейти из нормального рабочего состояния 1 в позицию 2, когда в устройстве возникает отказ; переменная t_3 , входные воздействия которой описываются формулой $I(t_3) = \{2, \lambda_0\}$, из которой следует, что с учетом интенсивностей возникновения отказов блоков наборной группы и согласно его выходной функции $O(t_3) = \{4\}$ диагностируемое устройство перейдет из состояния 2, когда наборный блок используется по назначению и в нем возник отказ, в состояние 4, соответствующее наличию отказа в диагностируемом устройстве; переменная t_4 определяется входной функцией $I(t_4) = \{\lambda_0, 1\}$, из которой следует, что при нахождении объекта диагностирования в позиции 1 и при наличии переменной интенсивности возникновения отказов наборных блоков λ_0 диагностируемый объект согласно выходной функции $O(t_4) = \{4\}$ должен переместиться в позицию 4; переменная t_5 в соответствии с ее входной функцией $I(t_5) = \{\tau_d, 3\}$ способна изменить состояние диагностируемого объекта и при наличии составляющей контролепригодности τ_d перевести диагностируемый объект согласно выходной функции $O(t_5) = \{1\}$ из состояния объекта в режиме диагностирования при возникновении в нем устранимого отказа в позицию 1; переменная t_6 в соответствии с ее входной функцией $I(t_6) = \{\lambda_0, 3\}$ при наличии известной переменной интенсивности возникновения отказов наборных блоков λ_0 , способная перевести диагностируемый объект из состояния в режиме диагностирования при возникновении в нем отказа, который устраняется, в позицию 4, соответствующую наличию отказа в наборном блоке; переменная t_7 в соответствии с ее входной функцией $I(t_7) = \{\nu, 1\}$ при наличии составляющей, отражающей организацию диагностирования ν , согласно выходной функции $O(t_7) = \{3\}$ переводит устройство в состояние режима диагностирования блока наборной группы.

Выход характеристик и составляющих элементов блока за границы области, ограничивающей пространство допустимых отклонений, дает основание сделать предположение о возможном возникновении отказа. Отрезок времени, определяющий момент до первого пересечения границ области с рабочими параметрами, является случайной величиной, вероятность значения которой соответствует гауссову закону распределения, который и характеризует надежность показатели блока наборной группы.

Если периодически, с постоянным периодом времени (Т), с помощью надежных микроэлектронных средств в специальном режиме производится диагностирование элементов блока наборной группы при условии, что блок находится в режиме постоянного

использования, то процесс взаимодействия элементов диагностирования может находиться в одной из трех позиций, а именно: блоки наборной группы находятся в рабочем режиме, в них возможен отказ; диагностируется исправный блок; составные элементы находятся в состоянии диагностирования и по результатам этого действия, при необходимости, восстанавливаются. При этом математическая формула определения вероятности возникновения отказа в наборном блоке за интервал времени T примет вид:

$$F(T) = 0,5 + \int_m^T \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right] dt, \quad (5)$$

где m и σ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины времени до возникновения отказа в диагностируемом устройстве.

Известно [8], что полумарковский процесс – это случайный процесс, который меняет свои состояния в соответствии с заранее известным законом распределения вероятностей, при этом время нахождения случайного процесса в одном из состояний, которое является также случайной характеристикой, закон распределения которой зависит как от текущего состояния, так и от состояния, в которое оно перейдет в следующий момент времени.

Следующие постулаты приняты за основу построения модели, они позволяют считать функционирование блоков наборной группы системы маршрутной централизации полумарковскими:

изменение состояний блоков наборной группы происходит случайным образом (стохастический процесс);

изменение состояний и длительность нахождения элементов наборной группы обеспечиваются двумя независимыми множествами потоков с произвольными распределениями вероятностей (время перехода из состояния ожидания в рабочее носит случайный характер, время нахождения в рабочем состоянии также носит случайный характер, так как зависит от типа маршрута и количества стрелок в маршруте);

статистические свойства процессов блоков наборной группы, происходящих в процессе их изменения (задание или отмены маршрутов) и определяющих время пребывания системы в состояниях, которые определяется временем действия дежурного по станции в период задания или отмены маршрутов и не зависят от числа уже установленных маршрутов (система является однородной) и от способа попадания системы в каждое из возможных состояний;

действия, при которых происходит изменение состояния элементов системы при выполнении управляющих функций, происходят в течение времени, равного нескольким секундам.

Используя аппарат теории полумарковских процессов, получим выражение для определения коэффициента готовности:

$$K_r = \omega_1(T + [1 - F(T)]\tau_d + F(T)\tau_b), \quad (6)$$

где τ_d – контролепригодность;

τ_b – ремонтпригодность;

ω_1 – среднее время пребывания объекта в исправном состоянии за период времени T ,

$$\omega_1 = \int_0^T [1 - F(t)] dt. \quad (7)$$

Используя выражения (5 – 7) и в силу того, что вероятность возникновения неисправности в блоках наборной группы пренебрежимо мала, получим:

$$K_r = \frac{m - 3\sigma + \int_{m-3\sigma}^T \left\{ 0,5 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_m^t \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right] dt \right\} dt}{T + 0,5(\tau_b + \tau_d) + \frac{(\tau_b - \tau_d)}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_m^T \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right] dt}. \quad (8)$$

Выражение (8) отражает зависимость K_r от показателей контролепригодности τ_d , ремонтпригодности τ_b , безотказности m , σ и периодичности диагностирования T .

Приближенное значение оптимального периода диагностирования, при котором достигается максимум K_r , можно рассчитать по формуле

$$T = -x + \sqrt{(x+m)^2 + \sqrt{2\pi}\sigma(x-m) - 1,5\sigma^2},$$

где

$$x = \frac{\sqrt{2\pi\sigma(\tau_d + \tau_b) - 2m(\tau_b - \tau_d)}}{2(\sqrt{2\pi}\sigma + \tau_b - \tau_d)}. \quad (9)$$

Рассмотрен способ анализа, организации и построения системы диагностирования блоков наборной группы железнодорожной автоматики и телемеханики с учетом применения в каждом блоке индивидуального программируемого микроконтроллера. Введение в программное обеспечение контроллеров дополнительных функций диагностирования потребовало изменения принципов построения обслуживания этих устройств работниками дистанции сигнализации и связи. Применение процедуры диагностирования предполагает использовать автоматическую систему, так как исключает функции, выполняемые специалистами, рассмотрены известные критерии оценки системы диагностирования, основанные на использовании известных статистических характеристик устройств наборных блоков. В результате анализа функционирования системы блочной маршрутной централизации получены математические выражения для определения критериев оценки процесса диагностирования. Разработан и проанализирован граф переходов системы диагностирования блоков наборной группы для определения показателя готовности. Метод получения K_r и его математического выражения с использованием аппарата полумарковских процессов при законе распределения времени до возникновения отказов (гауссовом) носит общий характер и поэтому может быть использован при других исходных данных. Оговоренный выше способ позволяет с достаточной достоверностью рассчитать максимальное значение K_r и соответствующий оптимальный период диагностирования при различных значениях статистических показателей. Анализ полученного для K_r выражения позволяет определить зависимость этого показателя от переменных τ_d , τ_b , безотказности и периодичности диагностирования.

Список литературы

1. Azizov A.R., Ametova E.K. Developing of microelectronic block HCC. *IJARSET*, India, vol. 6, issue3, March 2019, pp. 8563-8567.
2. Азизов, А. Р. Контроль технического состояния микроэлектронного блока НСС как задача распознавания образов / А. Р. Азизов, Э. К. Аметова. – Текст : непосредственный // Технические науки и инновация. – 2019. – № 1. – С. 20–25.
3. Аметова, Э. К. Теория сетей Петри при разработке и исследовании математической модели блока НСО / Э. К. Аметова, А. Р. Азизов. – Текст : непосредственный. – Фергана : Научно-технический журнал ФарПИ. – 2020. – Том 24. – № 5. – С. 218–221.

4. Ametova E., Azizov A., Yuldashev Sh. Microprocessor technology in the devices railway automation and telemechanics. *Asian Journal of Research*, 2020, SJIF 6,1, IFS 3,7.
5. Ефанов, Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2016. – 171 с. – Текст : непосредственный.
6. Васильев, Б. В. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств / Б. В. Васильев, Б. А. Козлов, Л. Г. Ткаченко. – Москва : Советское радио, 1964. – 151 с. – Текст : непосредственный.
7. Вульман, И. Д. Определение оптимальной периодичности профилактического контроля радиотехнических устройств при стационарном потоке отказов / И. Д. Вульман. – Текст : непосредственный // Радиотехника. – 1973. – № 9. – С. 41–45.
8. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности (основные характеристики надежности и их статистический анализ) / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – Москва : Наука, 1965. – 254 с. – Текст : непосредственный.
9. Волков, Ю. В. Системы технического диагностирования, автоматического управления и защиты : учебное пособие / Ю. В. Волков. – Санкт-Петербург : Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД, 2019. – Часть 1. – 115 с. – Текст : непосредственный.
10. Койда, А. Н. Организация диагностирования объектов сложной структуры / А. Н. Койда, А. В. Мозгалеvский. – Текст : непосредственный // Техническая диагностика, эксплуатация управляющих вычислительных машин : сборник научных трудов. – Киев : Наукова думка, 1980. – С. 63–71.

References

1. Azizov A.R., Ametova E.K. Developing of microelectronic block HCC. *IJARSET*, India, vol. 6, issue 3, March 2019, pp. 8563-8567.
2. Azizov A.R., Ametova E.K. Monitoring of the technical condition of the NSS microelectronic unit as an image recognition task. *Tekhnicheskie nauki i innovacija – Technical sciences and innovation*, 2019, no. 1, pp. 20-25.
3. Ametova E.K., Azizov A.R. The theory of Petri nets in the development and research of the mathematical model of the NSO block. *Scientific and Technical Journal of FarPI*, Fergana, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 218-221.
4. Ametova E., Azizov A., Yuldashev Sh. Microprocessor technology in the devices railway automation and telemechanics. *Asian Journal of Research*, 2020, SJIF 6,1, IFS 3,7.
5. Efanov D.V. *Funkcional'nyj kontrol' i monitoring ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki: monografija* [Functional control and monitoring of railway automation and telemechanics devices : monograph]. Saint Petersburg, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University Publ., 2016, 171 p. (In Russian).
6. Vasil'ev B.V., Kozlov B.A., Tkachenko L.G. *Nadezhnost' i jeffektivnost' radiojelektronnyh ustrojstv* [Reliability and efficiency of electronic devices]. Moscow, Soviet radio Publ., 1964, 151 p. (In Russian).
7. Vul'man I.D. Determination of the optimal frequency of preventive monitoring of radio engineering devices with a stationary flow of failures. *Radiotekhnika – Radio engineering*, 1973, no. 9, pp. 41-45 (In Russian).
8. Gnedenko B.V. Beljaev Ju.K., Solov'ev A.D. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti (osnovnye harakteristiki nadezhnosti i ih statisticheskij analiz)* [Mathematical methods in reliability theory (main reliability characteristics and their statistical analysis)]. Moscow, Science Publ., 1965, 254 p. (In Russian).
9. Volkov Ju.V. *Sistemy tehničeskogo diagnostirovanija, avtomatičeskogo upravlenija i zashhity: uchebnoe posobie* [Systems of technical diagnostics, automatic control and protection : textbook]. St. Petersburg, Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg GUPTD Publ., 2019, part 1, 115 p. (In Russian).

10. Kojda A.N., Mozgalevskij A.V. Organization of diagnostics of objects of complex structure. Technical diagnostics, operation of control computers: collection of scientific papers. Kiev, Naukova dumka Publ., 1980, pp. 63-71.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Азизов Асадулла Рахимович

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ).

Темирйулчилар ул., д. 1, г. Ташкент, 100167, Республика Узбекистан.

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика», ТГТрУ.

Тел.: + 998 (93) 539-54-21.

E-mail: azizov_asadulla@mail.ru

Аметова Элнара Куандиковна

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ).

Темирйулчилар ул., д. 1, г. Ташкент, 100167, Республика Узбекистан.

Доктор философии (Ph. D.) по техническим наукам, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика», ТГТрУ.

Тел.: + 998 (90) 975-88-82.

E-mail: elnara.ametova.84@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Azizov Asadulla Rakhimovich

Tashkent State Transport University (TSTU).

1, Temiryulchilar st., Tashkent, 100167, Republic of Uzbekistan.

Ph. D. in Engineering, professor of the department «Automation and telemechanics», TSTU.

Phone: + 998 (93) 539-54-21.

E-mail: azizov_asadulla@mail.ru

Ametova Elnara Kuandikovna

Tashkent State Transport University (TSTU).

1, Temiryulchilar st., Tashkent, 100167, Republic of Uzbekistan.

Ph. D. in Engineering, associate professor of the department «Automation and telemechanics», TSTU.

Phone: + 998 (90) 975-88-82.

E-mail: elnara.ametova.84@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Азизов, А. Р. Метод математического моделирования организационно-технологической системы диагностирования микропроцессорных блоков наборной группы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. Р. Азизов, Э. К. Аметова. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2023. – № 1 (53). – С. 36 – 45.

BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION

Azizov A.R., Ametova E.K. Method of mathematical modeling of organizational and technological diagnostics system of microprocessor units of railway automation and telemechanics setting group. *Journal of Transsib Railway Studies*, 2023, no. 1 (53), pp 36-45 (In Russian).

УДК 656.259.12:681.518.52:517.54

М. М. Соколов, А. Г. Ходкевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ НА ОСНОВАНИИ ЗНАЧЕНИЯ ЕЕ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. На железных дорогах Российской Федерации основным устройством определения свободности или занятости путевого участка является электрическая рельсовая цепь. В статье представлены результаты моделирования влияния параметров рельсовой линии на область входного сопротивления рельсовой цепи в различных режимах. В качестве математического аппарата применены теории четырехполюсников и конформных отображений. В качестве объекта исследования выбрана современная рельсовая цепь тональной частоты частотой 420 Гц. Для наглядности в работе приведено изменение номограмм входных сопротивлений при отклонении параметров рельсовой линии, а также при внесении продольных и поперечных неисправностей.

Приведенные результаты моделирования позволяют утверждать, что графическое представление области входного сопротивления дает возможность однозначно определить состояние, в котором находится исследуемая рельсовая цепь, а области входных сопротивлений для контрольного и шунтового режимов работы рельсовой цепи полностью разделены во всем диапазоне изменения параметров рельсовой линии. Данный факт позволяет использовать значение входного сопротивления в качестве дополнительного критерия уточнения