

проектов на официальных сайтах государственных органов, других организаций в глобальной компьютерной сети Интернет и (или) средствах массовой информации».

В качестве результативного примера реализации организационно-экономического механизма непосредственного регулирования по защите экономических интересов может служить делегирование Белорусской торгово-промышленной палатой таких направлений деятельности как экспертиза количества, качества, комплектности товаров, сырья, материалов, оборудования в процессе приемки поставляемой продукции и предотгрузочной инспекции, сертификация происхождения товаров, сертификация продукции (работ, услуг) собственного производства.

Литература:

1. Барр, Р. Политическая экономия / Р. Барр. — М., 1995. — В 3 т.
2. Борисов, Е. Ф. Экономическая теория. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: 2005. — 399 с.
3. Экономическая безопасность: теория, методология, практика / под науч. ред. П. Г. Никитенко,

В. Г. Булавко; Институт экономики НАН Беларуси. — Минск: Право и экономика, 2009. — 394 с.

4. Указ Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 г. № 575 «Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь» // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2010 г., № 276, 1/12080 — Минск, 2018.

5. Борщевский, Г. А. Роль государства в формировании преемственного исторического сознания в контексте проблемы обеспечения национальной безопасности России // Информационный гуманитарный портал «Знание. Понимание. Умение». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2012/1/Borshchevskiy_Continual-Historical-Consciousness/. — Дата доступа: 16.10.2018.

6. Мясникович, М. В., Полоник, С. С., Пузиков, В. В. Управление системой обеспечения экономической безопасности / М. В. Мясникович, С. С. Полоник, В. В. Пузиков. — М.: ИООО «Право и экономика». 2005. — 264 с.

7. Указ Президента Республики Беларусь от 15 декабря 2016 г. № 466 «Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы» // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 27.12.2016, 1/16792 — Минск, 2018.

УДК 658.5

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ
КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ ВЫЕЗДНЫМИ РЕМОНТНЫМИ БРИГАДАМИ СЕРВИСНОГО
ЦЕНТРА**

**THE METHOD OF DETERMINATION CONTROL FREQUENCY OF RADIO
ELECTRONIC MEANS TECHNICAL CONDITION BY FIELD REPAIR CREWS
OF THE SERVICE CENTER**

В. В. Колодяжный,

начальник отдела НП ООО «ОКБ ТСП», д-р воен. наук, профессор, г. Минск, Республика Беларусь

А. А. Посудевский,

начальник сектора НП ООО «ОКБ ТСП», канд. техн. наук, доцент, г. Минск, Республика Беларусь

А. Н. Пальцев,

гл. науч. сотрудник НП ООО «ОКБ ТСП», канд. техн. наук, доцент, г. Минск, Республика Беларусь

В. Р. Драгун,

начальник кафедры УО «Военная академия Республики Беларусь», канд. воен. наук, доцент, г. Минск, Республика Беларусь

V. Kaladziashniy,

Head of military-scientific department in SPLLC "OKB TSP", Doctor of Military Science, Professor, Minsk, Republic of Belarus

A. Pasudzeuski,

Chief research associate in SPLLC "OKB TSP" Doctor of Science, A. P., Minsk, Republic of Belarus

A. Paltsau,

Chief research associate in SPLLC "OKB TSP", Doctor of Science, A. P., Minsk, Republic of Belarus

U. Drahun,

Head of department in EI «Belarusian Military Academy», Candidate of Military Sciences, A. P., Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 24.10.2018 г.

Рассмотрен один из возможных подходов к определению рациональной периодичности проведения контроля технического состояния радиоэлектронных средств на основе полумарковской модели процесса их технической эксплуатации.

One of the possible approaches to determining rational frequency of technical condition control of all types of radio electronic means based on a semi-Markov model of the process of their technical operation is considered.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, полумарковская модель.

Keywords: semi-Markov model, technical operation.

В современных условиях развитие телекоммуникации и связи, вычислительной техники и электроники привело к появлению сложных технических систем (СТС), используемых в функционировании экологически опасных и (или) социально значимых производств и технологических процессов, нарушение штатного режима которых может привести к чрезвычайной ситуации техногенного характера или к негативным последствиям в экологической или социальной сферах. К таким СТС можно отнести автоматизированные системы управления технологическими процессами объектов экономики и инфраструктуры, объекты системы мобильной связи, системы радиотехнического обеспечения полетов авиации и т. д. Поэтому поддержание их в постоянной технической готовности является одной из важных задач соответствующих эксплуатирующих организаций.

Большинство современных сложных технических системы содержат в своем составе существенные объемы радиоэлектронной аппаратуры и относятся к категории сложных радиоэлектронных систем (СРС).

Как известно, в процессе эксплуатации СРС происходит расход ресурса и снижение уровня надежности их элементов. Поддержание их в работоспособном состоянии эксплуатирующим персоналом связано с рядом проблем. Они обусловлены прежде всего сложностью современных радиоэлектронных средств, требующих при

их обслуживании и ремонте высокого уровня квалификации технического персонала, наличия специального диагностического оборудования, запасных частей, узлов и т. д.

Одним из возможных способов решения таких проблем является создание предприятием — изготовителем СРС специализированных центров для проведения их сервисного обслуживания.

Под сервисным обслуживанием понимается комплекс мероприятий по поддержанию (восстановлению) работоспособного состояния СРС, проводимых сервисными центрами. Сервисное обслуживание предполагает предоставление услуг по контролю технического состояния, обслуживанию и ремонту СРС в гарантийный и послегарантийный периоды их эксплуатации с использованием производственного потенциала сервисных центров.

В процессе сервисного обслуживания периодическое техническое обслуживание и ремонт (за исключением ремонта, не требующего участия квалифицированного персонала) проводятся силами и средствами сервисного центра. Это позволяет поддерживать высокий уровень готовности СРС за счет проведения работ высококвалифицированными специалистами с использованием специального диагностического оборудования.

Наиболее важной задачей, в наибольшей степени влияющей на уровень готовности СРС, является оперативное и качественное проведе-

ние текущего ремонта. Такой ремонт целесообразно проводить силами специалистов сервисных центров в составе выездных ремонтных бригад (ВРБ). Один из способов применения ВРБ заключается в том, что специалисты ВРБ с заданной периодичностью проводят контроль технического состояния СРС, настройку параметров, а в случае возникновения отказов производят установление причины отказов (в том числе скрытых), и их устранение. Ожидаемым результатом такого подхода является повышение уровня технической готовности СРС, обусловленное снижением вероятности постепенных отказов за счет точной настройки аппаратуры специалистами ВРБ, эксплуатационных отказов, возникающих по вине эксплуатирующего персонала, а также обнаружения и устранения скрытых отказов.

Для оценки влияния периодичности контроля СРС специалистами ВРБ на уровень ее готовности предлагается использовать модель процесса технической эксплуатации СРС (объекта), в ходе которого специалисты ВРБ периодически, в соответствии с установленным графиком, проводят контроль технического состояния и настройку аппаратуры объекта в месте его эксплуатации. При обнаружении в процессе диагностирования отказов производится их устранение с последующим контролем работоспособности.

В соответствии описанным процессом граф состояний и переходов модели имеет вид, представленный на рис. 1.

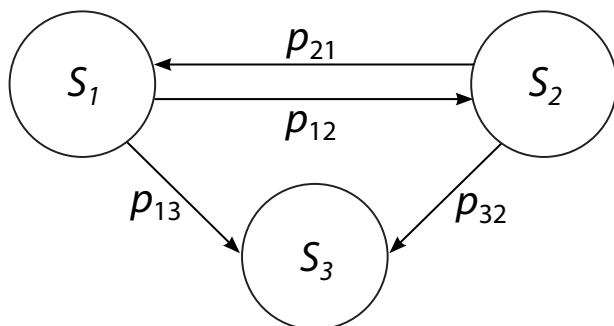


Рис. 1. Граф состояний и переходов модели

Объект может находиться в одном из состояний:

S_1 — объект работоспособен, проводится его плановая эксплуатация;

S_2 — состояние, при котором производится контроль технического состояния объекта спе-

циалистами ВРБ, в ходе которого производится устранение отказов (при их наличии);

S_3 — объект неработоспособен вследствие отказа (скрытого отказа);

В соответствии с приведенным выше описанием возможны следующие переходы:

S_1-S_2 — момент начала проведения периодических проверок технического состояния работоспособного объекта;

S_1-S_3 — момент возникновения отказа, потеря работоспособного состояния объекта;

S_2-S_1 — момент окончания процесса проверки технического состояния и восстановления работоспособного состояния объекта (в случае возникновения отказов);

S_3-S_2 — момент начала проведения периодических проверок технического состояния неработоспособного объекта.

Потоки случайных событий, соответствующие переходам S_1-S_3 , S_2-S_1 можно считать простейшими (стационарными пуассоновскими) с экспоненциальными законами распределения времени пребывания объекта в соответствующих состояниях [1].

Переход из состояния S_1 в состояние S_2 является детерминированным и осуществляется по истечении времени T_m — периодичности проведения контроля технического состояния объекта.

Таким образом, эволюция состояний объекта является следствием не только простейших (стационарных пуассоновских), но и непугассоновских потоков событий. Поэтому модель с графом состояний, приведенным на рис. 1, может быть описана с помощью теории полумарковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Полумарковский процесс может быть задан графом состояний объекта, независимыми функциями распределения $Q_{ij}(t)$ времени пребывания объекта в состоянии S_i до перехода в состояние S_j , если бы данный выход из состояния S_i был единственным а также начальным состоянием в момент $t=0$ [1]. На основании этих исходных данных в последующем будут найдены необходимые для анализа работоспособности объекта стационарные вероятности P_i его пребывания в состояниях S_i .

В соответствии с графом состояний (рисунок 1) и описанием процесса технической эксплуатации объекта выражения для $Q_{ij}(t)$ будут иметь вид:

$$Q_{12} = \begin{cases} 0, & t < T_{mn} \\ 1, & t \geq T_{mn} \end{cases};$$

$$Q_{13} = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_o t}, & t < T_{mn} \\ 0, & t \geq T_{mn} \end{cases};$$

$$Q_{21} = 1 - e^{-\lambda_a t},$$
(1)

где T_{mn} — периодичность проведения контроля технического состояния ВВТ;

$\lambda_o = \frac{1}{T_o}$, $\lambda_a = \frac{1}{T_a}$ — параметры потоков отказов и восстановления соответственно;
 T_o — средняя наработка на отказ;
 T_a — среднее время контроля технического состояния и восстановления работоспособного состояния объекта.

При нахождении выражения для функции $Q_{32}(t)$, определяющей переход из состояния S_3 в состояние S_2 , следует принять во внимание, что объект переходит в неработоспособное состояние в случайный момент времени, а из неработоспособного состояния в состояние проведения периодических проверок — в неслучайный момент времени T_{mn} .

По определению:

$$Q_{32}(t) = P(0 < \gamma < t / \eta < T_{mn}) = \frac{P(0 < \gamma < t, \eta < T_{mn})}{P(\eta < T_{mn})},$$
(2)

где η — случайное время пребывания объекта в состоянии S_1 до перехода в состояние S_3 ;
 γ — случайное время пребывания объекта в состоянии S_3 , при этом $\gamma = T_{mn} - \eta$.

Подставив в (2) $\gamma = T_{mn} - \eta$, получим:

$$Q_{32}(t) = \frac{P(0 < T_{mn} - \eta < t, \eta < T_{mn})}{P(\eta < T_{mn})} = \frac{P(T_{mn} - t < \eta < T_{mn})}{P(\eta < T_{mn})}$$
(3)

Учитывая, что случайная величина η распределена по экспоненциальному закону с параметром λ_o :

$$P(\eta < t) = 1 - e^{-\lambda_o t}.$$
(4)

Подставляя (4) в (3), получим:

$$Q_{32}(t) = \frac{e^{-\lambda_o t} - 1}{e^{-\lambda_o T_{mn}} - 1}.$$
(5)

Таким образом, учитывая (1), окончательное выражение для условной функции распределения $Q_{32}(t)$ имеет следующий вид:

$$Q_{32}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \frac{e^{-\lambda_o t} - 1}{e^{-\lambda_o T_{mn}} - 1}, & 0 \leq t \leq T_{mn} \\ 1, & t > T_{mn} \end{cases}.$$
(6)

В качестве примера графики функции $Q_{32}(t)$ при наработках на отказ объекта $T_o = 100$ ч, $T_o = 300$ ч и периодичности проведения контроля технического состояния $T_{mn} = 300$ ч. представлены на рис. 2.

Функция $Q_{32}(t)$ при $t = T_{mn}$ всегда принимает значение 1, крутизна экспоненты определяется значением T_o .

В соответствии с полученными выше функциями $Q_{ij}(t)$ вероятности переходов p_{ij} объекта из состояния S_i в состояние S_j определяются выражением:

$$p_{ij} = \int_0^{\infty} \prod_{k \neq j} [1 - Q_{ik}(\tau)] dQ_{ij}(\tau).$$
(7)

Для вырожденных функций распределения, какой является $Q_{12}(t)$, описывающей регулярный скачок, вся вероятность сосредоточена в моменте скачка ($t = T_{mn}$). Поэтому $dQ_{12}(T_{mn}) = 1$ и $p_{12} = e^{-\lambda_o \cdot T_{mn}}$. Вероятность p_{13} определяется из соотношения $p_{12} + p_{13} = 1$. Исходя из этого

$$p_{13} = 1 - p_{12} = 1 - e^{-\lambda_o \cdot T_{mn}}.$$
(8)

Переходные вероятности $p_{21} = p_{32} = 1$, так как переходы $S_2 \rightarrow S_1$ и $S_3 \rightarrow S_2$ являются единственно возможными.

Для расчета безусловных математических ожиданий t_i времени пребывания объекта в каждом из состояний используются безусловные функции распределения $F_i(t)$ времени нахождения объекта в каждом из состояний:

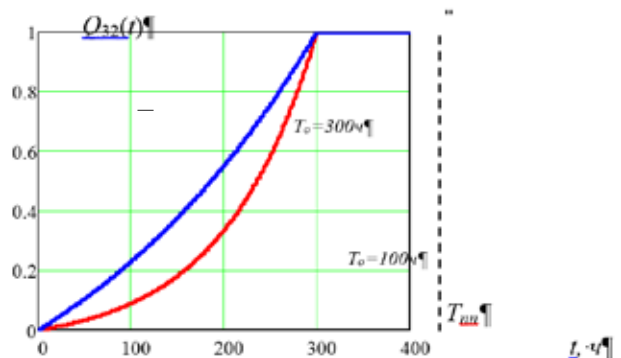


Рис. 2. Графики функции $Q_{32}(t)$

$$F_{ij}(t) = 1 - \prod_{j \in E} [1 - Q_{ij}(t)], \quad (9)$$

где E — множество состояний модели.

Если известна функция распределения случайной величины t на интервале $(0, \infty)$, то её математическое ожидание находится из выражения:

$$\bar{t}_i = \int_0^{\infty} [1 - F_i(t)] dt, \quad (10)$$

С учетом (9) выражение (10) принимает вид:

$$\bar{t}_i = \int_0^{\infty} \prod_{j \in E} [1 - Q_{ij}(t)] dt, \quad (11)$$

тогда

$$\bar{t}_1 = (1/\lambda_0) \cdot (1 - e^{-\lambda_0 \cdot T_{mn}}), \quad (12)$$

$$\bar{t}_2 = 1/\lambda_0, \quad (13)$$

$$\bar{t}_3 = T_{mn} - \frac{1}{\lambda_0} + \frac{1}{e^{\lambda_0 \cdot T_{mn}} \cdot \lambda_0} + \frac{T_{mn}}{e^{\lambda_0 \cdot T_{mn}}}. \quad (14)$$

Уравнения для определения стационарных вероятностей состояний вложенной марковской цепи π_i составляются в соответствии с выражением [1]:

$$\pi_i = \sum_{j \in E} \pi_j P_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (15)$$

где n — число состояний модели.

Тогда

$$\begin{cases} \pi_1 = \pi_2 \cdot P_{21} \\ \pi_2 = \pi_1 \cdot P_{12} + \pi_3 \cdot P_{32} \\ \pi_3 = \pi_1 \cdot P_{13} \end{cases} \quad (16)$$

Для решения системы (16) необходимо использовать нормирующее условие $\sum_{i=1}^n \pi_i = 1$ и сделать ряд подстановок. В итоге получим:

$$\pi_1 = \frac{P_{21}}{1 - P_{21} \cdot (1 + P_{13})},$$

$$\pi_2 = \frac{P_{21} \cdot P_{12} + P_{32} \cdot P_{21} \cdot P_{13}}{1 - P_{21} \cdot (1 + P_{13})},$$

$$\pi_3 = \frac{P_{21} \cdot P_{13}}{1 - P_{21} \cdot (1 + P_{13})}.$$

Искомые стационарные вероятности P_i нахождения объекта в состояниях S_i находятся из выражения:

$$P_i = \frac{\pi_i \cdot \bar{t}_i}{\sum_i \pi_i \cdot \bar{t}_i}. \quad (17)$$

Как известно [2] коэффициент готовности — это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусмотрено. В терминах рассматриваемой модели коэффициент готовности (K_z) соответствует вероятности нахождения объекта в состоянии S_1 , то есть $K_z = P_1$.

Практический интерес представляет зависимость коэффициента готовности от периодичности проведения проверок технического состояния объекта специалистами ВРБ.

В качестве примера на рис. 3 представлен график зависимости $K_z = f(T_{mn})$ для значений средней наработки на отказ $T_o = 400$ ч и среднего времени контроля технического состояния и восстановления работоспособности СРС $T_0 = 6$ ч.

Экстремальный характер этой зависимости позволяет определить оптимальное значение периодичности проведения контроля технического состояния СРС. Для приведенного случая оптимальной стратегией проведения проверок технического состояния объекта будут периодические проверки с интервалом 10 суток.

Очевидно, что увеличение значения K_z может быть достигнуто повышением величины

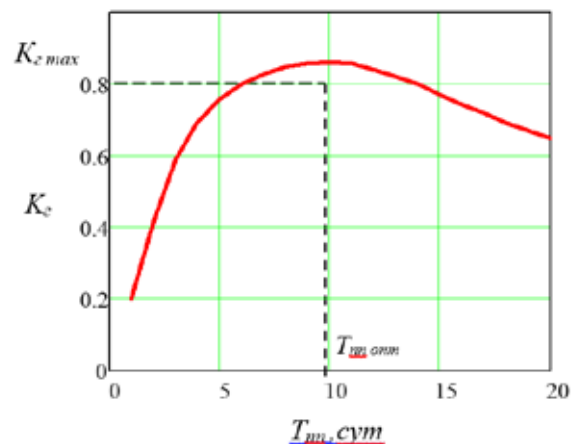


Рис. 3. График зависимости $K_z = f(T_{mn})$

T_o (например, методом резервирования объекта или его отдельных наименее надежных элементов) и снижением величины T_e за счет оптимизации логистики размещения ВРБ, комплектования их эффективным диагностическим оборудованием с необходимой глубиной диагностирования и повышением уровня квалификации персонала ВРБ.

Таким образом, используя полученные эмпирическим путем значения наработки на отказ и среднего времени проведения работ на объекте СРС, можно определить оптимальную периодичность проведения контроля технического

состояния объекта специалистами ВРБ специализированных сервисных центров, что позволит поддерживать необходимый уровень технической готовности СРС различного назначения.

Литература:

1. Волков, Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов / Л. И. Волков. — М.: Высшая школа, 1981. — 368 с.
2. ГОСТ 27002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

УДК 681.515

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

THE COMPERATIVE ANALYSIS OF DIGITAL CONTROLLERS FROM AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF A DIFFERENT STRUCTURE

А. Г. Стрижнев,

вед. научный сотрудник НПООО «ОКБ ТСП», канд. техн. наук, доцент, г. Минск, Республика Беларусь

А. А. Шихов,

вед. инженер-конструктор НПООО «ОКБ ТСП», г. Минск, Республика Беларусь

A. Stryznev,

Leading research engineer of the SPLLC "OKB TSP", Candidate of Technical Science, Associate Professor, Minsk, Republic of Belarus

A. Shykhau,

Leading engineer of the SPLLC "OKB TSP", Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 30.10.2018 г.

В статье рассмотрены различные по структуре системы автоматического управления, содержащие цифровые регуляторы в прямой и обратной цепях, и в гибкой обратной связи. Для астатических объектов управления, содержащих одно или два апериодических звена или одно колебательное звено, осуществлен расчет цифровых регуляторов. Используя метод придания одноконтурной замкнутой системе требуемых фильтрующих свойств, синтезирован регулятор, включенный в прямую цепь. Используя регулятор, включенный в гибкую обратную связь, осуществлена его трансформация в обратную цепь. Составлены схемы моделирования, и осуществлена проверка их работы. Даны практические рекомендации по использованию цифровых регуляторов, включенных в САУ различными способами.

Automatic control systems of a different structure with digital controllers in forward and reverse paths and in an elastic feedback loop are described in the article. The analytical synthesis of digital controllers is made for astatic objects with one or two aperiodic links or with one oscillating link. Using the method of imparting desired filtering properties for a closed loop control system, the synthesis of a digital controller in a forward path is made. The transformation of the digital controller from an elastic feedback to a reverse path is made. Models of controllers are made and been checked. Practical recommendations for using digital controllers from automatic control systems of a different structure are suggested.

Ключевые слова: система автоматического управления, объект управления, гибкая обратная связь, прямая цепь, обратная цепь, цифровой регулятор.

Keywords: automatic control system, control object, elastic feedback, forward path, reverse path, digital controller.