

УДК 623.4.017

И.Н. Терехуха

Воинская часть А080, Одесса

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ СИСТЕМЫ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА РЭС ЗРК С РАЗРАБОТКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ

Разрабатываются модель функционирования подсистемы обеспечения запасными частями в составе комплексной модели совместного функционирования функциональных подсистем системы текущего ремонта. В дополнении к этой модели, опубликованной ранее, рассматриваются основные расчетные соотношения показателей эффективности ее функционирования. Разработанную модель предлагается использовать при оценивании показателей эффективности функционирования системы текущего ремонта и задании требований.

Ключевые слова: система текущего ремонта, контроль технического состояния, обеспечения запасными частями, комплексная модель.

Введение

Постановка проблемы. В настоящее время общепризнанным направлением совершенствования системы эксплуатации и ремонта разрабатываемого и эксплуатируемого зенитного ракетного оружия (ЗРО) является внедрение методов эксплуатации и ремонта по техническому состоянию. Внедрение методов эксплуатации и ремонта по техническому состоянию связано с необходимостью решения задач повышения уровня эксплуатационной и ремонтной технологичности ЗРК, совершенствования организации и технологии проведения технических обслуживаний и ремонтов (ТО и Р), с поиском более эффективных методов текущего ремонта, совершенствованием процессов поиска места отказов, обеспечения запасными частями, организации и технологии их проведения.

Разработка (модернизация) таких сложных технических систем (СТС) должна проводиться с обоснованием требований к системе ТО и Р и, в частности, к системе текущего ремонта (СТР). При этом необходимо задавать требования к ее функциональным подсистемам (поиска места отказов (ПМО), обеспечения запасными частями (ОЗЧ), обеспечения замен составных частей (ОЗСЧ), контроля работоспособности (КРС)) и СТР в целом. Для этого необходимо располагать комплексными моделями, совместно описывающими процесс ПМО на разных иерархических уровнях РЭС ЗРК с глубиной до типовых элементов замен (ТЭЗ), поиска необходимой запасной части в комплектах ЗИП и доставки к месту ТР, последующего КРС восстанавливаемых функциональных узлов (ФУ), функциональных систем (ФС) и РЭС ЗРК.

Научно-методический аппарат по комплексному обоснованию требований к СТР и ее функциональным подсистемам разработан недостаточно.

В связи с этим актуальным является задача разработки комплексной модели совместного функционирования функциональных подсистем СТР РЭС ЗРК.

Анализ литературы. Вопросам теории и практики КТС, ПМО и восстановления работоспособности (РС) СТС посвящено большое количество работ [2-5]. В частности в [2] рассматриваются принципы и теоретические аспекты построения системы контроля технического состояния (КТС) СТС в процессе их создания, приводятся методики анализа и синтеза системы контроля СТС. В [3, 5] рассматриваются методы и средства технической диагностики СТС, принципы выбора параметров для контроля РС и алгоритмов ПМО в сложных структурах, при этом система технического диагностирования рассматривается как подсистема ТО и Р.

Вопросы обоснования подсистем системы ТО и Р СТС с многоуровневой структурой, эксплуатируемой по техническому состоянию, проработаны не достаточно, в частности, задачи обоснования требований и синтеза подсистем КТС, ПМО, восстановления РС формулируются и решаются, как правило, к каждой подсистеме в отдельности, при этом объекты контроля, ПМО и др. рассматриваются одноуровневыми.

Для СТС с многоуровневой структурой требуется формализация и решение выше названных задач, как в известной постановке, так и в комплексной. В современной литературе комплексный подход для решения таких задач отсутствует.

В [7] рассматриваются общие положения по построению модели совместного функционирования функциональных подсистем СТС РЭС ЗРК. При этом процесс поиска необходимых для восстановления работоспособности запасных частей по эксплуатационной документации и доставки их к месту те-

кущего ремонта представлен упрощенно. В связи с этим ниже разрабатывается модель функционирования подсистемы ОЗЧ.

Цель статьи. Разработка модели функционирования подсистемы обеспечения запасными частями в составе комплексной модели совместного функционирования функциональных подсистем системы текущего ремонта РЭС ЗРК.

Основная часть

Радиоэлектронные средства ЗРК представляют собой сложную иерархическую структуру, состоящую из функционально связанных ФС, ФУ, ФМ, ТЭЗов.

Процесс КРС и восстановления РС таких систем можно разбить на следующие этапы:

- обнаружение факта неработоспособности (НРС) РЭС ЗРК по результатам контроля функционирования (КФ) или КРС и определение НРС ФС;

- определение НРС ФУ в выделенной на предшествующем этапе НРС ФС по результатам ПМО на уровне ФС;

- локализация места отказа в НРС ФУ с точностью до ФМ либо отдельного ТЭЗа по результатам ПМО на уровне ФУ (посредством анализа результатов определенной совокупности проверок, показаний встроенных и внешних средств контроля и диагностики, либо путем выполнения последовательности проверок и пробных замен ТЭЗов);

- замена НРС ТЭЗа на исправный и, при необходимости, регулировка восстановленного ФУ (замененного ТЭЗа) либо ФС;

- проверка РС восстанавливаемой ФС и РЭС ЗРК в целом.

Система контроля и диагностики РЭС ЗРК должна обеспечивать требуемую полноту КРС РЭС ЗРК и соответствующую величину коэффициента глубины ПМО, т.е. система восстановления РС (СВР) должна обеспечивать ПМО для всего перечня неисправностей, обнаруживаемых КРС РЭС, а периодически выполняемый КРС должен своевременно и с требуемой достоверностью обнаруживать факт возникновения отказа РЭС ЗРК.

Контроль функционирования (КФ) современных РЭС ЗРК, как правило, проводится при каждом их включении, в паузах между выполнениями задач и перед выключением, что позволяет при условии высокой достоверности КФ своевременно обнаруживать большинство отказов.

Поиск мест отказов и их устранение в РЭС ЗРК осуществляется по результатам КФ (или периодического КРС) и представляет собой последовательный логический процесс переработки информации, получаемой оператором при ПМО на уровнях ФС, ФУ и т.д. до отыскания НРС ТЭЗа с помощью регламентированных внешних и встроенных средств контро-

ля и диагностики. Процесс КРС РЭС ЗРК, ПМО и их устранения можно рассматривать стохастическим, что обусловлено неопределенностью места нахождения отказа в РЭС ЗРК.

Адекватное описание таких процессов можно осуществить с помощью стохастического сетевого графа (ССГ) [7], в котором имеются 3 типа элементов: контроля, замены и регулировки; сравнения, выполнения условий, принятия решений; объединения, изображаемых на ССГ соответственно прямоугольниками, ромбами и кругами.

При этом множеству прямоугольников соответствуют операции КРС, замены ТЭЗов, регулировки и настройки ФС (ФМ, ФУ); множеству ромбов – операции принятия решений по результатам ПМО, КФ, КРС; множеству кругов – операции объединения. Множество направленных дуг-связей такого ССГ определяет логическую последовательность выполнения вышеозначенных операций восстановления РС СТС.

Разработка математических моделей процессов ТР РЭС ЗРК [7] проводилась в предположении, что известны м.о.ж. $\bar{t}_{пзч}(ijk)$ и дисперсия $\sigma_{пзч}^2(ijk)$ продолжительности поиска з.ч. в комплектах ЗИП и их доставки к месту ТР. Ниже разрабатывается аналитическая модель зависимостей $\bar{t}_{пзч}(ijk)$ и $\sigma_{пзч}^2(ijk)$ от показателей эффективности поиска з.ч. в комплектах ЗИП-1, ЗИП-2, ЗИП-3 и др и их доставки к месту ремонта. При этом предполагаются известными показатели достаточности запасов з.ч. подсистемы ЗИП. Математические модели их расчёта изложены в [9,10] и др.

Процесс ОЗЧ рассматривается с момента принятия решения о НРС съёмной с.ч. (типового элемента замены (ТЭЗ)) по момент доставки соответствующей з.ч. к месту ТР РЭС ЗРК.

Показатели эффективности процесса поиска з.ч. (ПЗЧ) и её доставки к месту ТР определяются:

- показателями эффективности процесса определения типа отказавшей съёмной с.ч. (ТЭЗ'а), её характеристик (обозначение з.ч., наименование з.ч., место укладки, применяемость, количество в изделии, количество в комплекте) по принципиальной схеме блока (шкафа) и спецификации к нему, установления по ведомости ЗИП-1 места размещения соответствующей з.ч. в комплекте ЗИП-1 и, при наличии з.ч. в комплекте ЗИП-1, её изъятия и доставки к месту ТР. Если этой з.ч. не оказалось в комплекте ЗИП-1, то проверяется её наличие в комплекте ЗИП-2 по ведомости комплекта ЗИП-2 и другим учётным документам в зрдн и службе РАВ зрп (зрбр). В случае отыскания этой з.ч. в комплекте ЗИП-2 осуществляется, при необходимости, упаковка в специальную тару, оформление учётных документов и доставка з.ч. к месту ремонта;

показателями ефективності підсистеми ЗИП, характеризуючими состояние запасов з.ч. в комплектах ЗИП-1, ЗИП-2, других запасов, структурой підсистеми ЗИП, стратегіями поповнення её запасов, правильним и достоверным учётом расходовання з.ч. и их поповнення в комплектах ЗИП, их правильным размещением по местам укладки и др.

Нижче розробляються математическі моделі процесу ОЗЧ при восстановлении РС РЭС ЗРК с учётом показателей эффективности процессов расходовання и поповнення запасов з.ч. в підсистемі

ЗИП при неавтоматизированном и автоматизированном поиске з.ч.

На рис. 1 представлен процесс функционирования підсистеми ОЗЧ при неавтоматизированном ПЗЧ в виде ССГ. При этом ПЗЧ осуществляется в комплекте ЗИП-1, далее, при необходимости, в комплекте ЗИП-2 и на складах более высокого уровня (группировки ЗРВ, центральных складов ВС Украины) по соответствующим ведомостям комплекта ЗИП-1, комплекта ЗИП-2, карточкам учёта запасов з.ч. на складах.

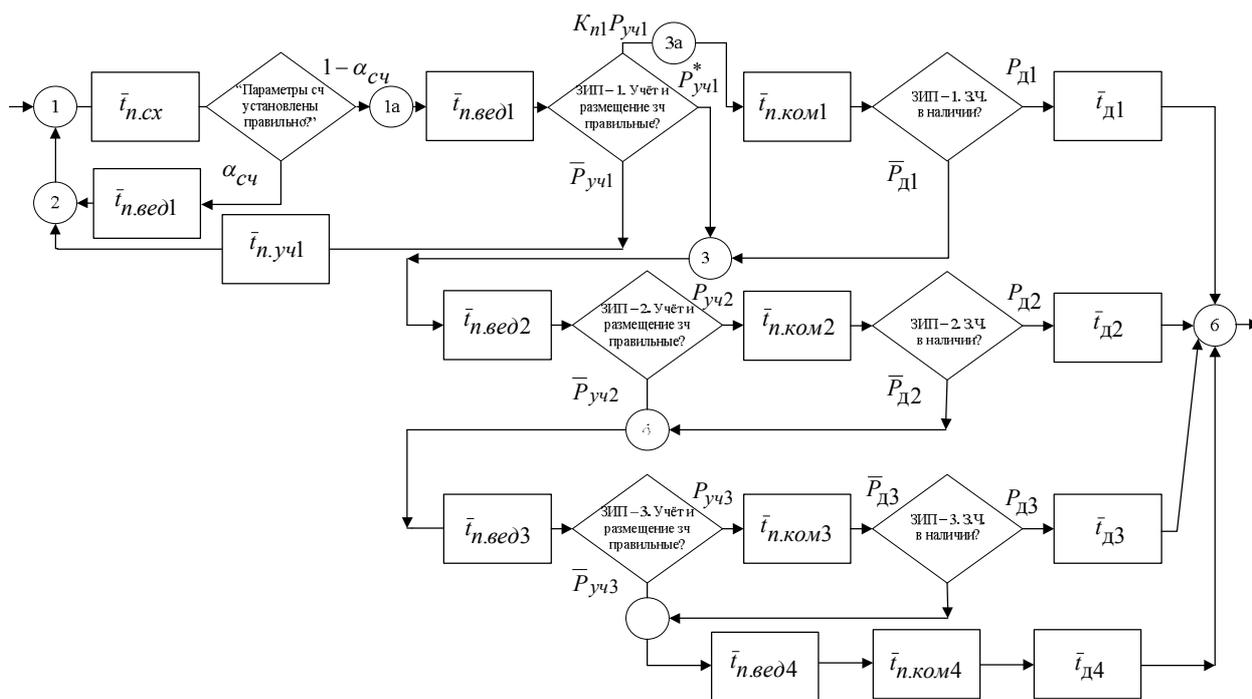


Рис. 1. ССГ процесса функционирования підсистеми обеспечения ТР РЭС ЗРК запасными частями при неавтоматизированном ПЗЧ в виде ССГ

На этом графе круг 1 означает момент окончания ПМО и начало поиска запасной части (ПЗЧ). Процесс ПЗЧ начинается с определения исполнителем ТР типа отказавшей съёмной сч (ТЭС'а) и её характеристик по принципиальной схеме блока и спецификации к нему. На ССГ прямоугольник $\bar{t}_{п.сч}$ характеризует продолжительность этого процесса, далее ромб 1 – “Параметры сч установлены правильно?” характеризует достоверность “считывания” информации о типе и других параметрах сч через вероятность возможной ошибки $\alpha_{сч}$ при считывании и регистрации информации, необходимой для поиска соответствующей зч в ведомости комплекта ЗИП – 1 и, при необходимости, в ведомости комплекта ЗИП-2. Далее прямоугольник “ $\bar{t}_{п.вед1}$ ” характеризует среднюю продолжительность поиска соответствующей зч по ведомости комплекта ЗИП-1, ромб 2 – “ЗИП-1. Учёт и размещение зч правильные?” – характеризует правильность учёта и коррек-

тировок соответствующих записей в ведомости комплекта ЗИП-1, отражающих фактическое наличие и размещение з.ч., через вероятность $P_{уч1}$. На ромбе 2 показаны 3 выхода – выход с вероятностью $K_{п1}P_{уч1}$, где $K_{п1}$ – коэффициент полноты номенклатуры з.ч. комплекта ЗИП – 1; выход с вероятностью $P_{уч1}^* = (1 - K_{п1})P_{уч1}$ и выход с вероятностью $\bar{P}_{уч1} = 1 - P_{уч1}$, характеризующий вероятность не-правильного учёта з.ч. либо неправильное их размещение в комплекте ЗИП-1. Если учёт и размещение з.ч. в комплекте ЗИП – 1 ведутся правильно и соответствует фактическому и отыскиваемая з.ч. предусмотрена в комплектации ЗИП-1, то соответствующий выход ромба 2 и прямоугольник “ $\bar{t}_{п.ком1}$ ” характеризует среднюю продолжительность поиска необходимой з.ч. в комплекте ЗИП-1, а следующий за этим прямоугольником ромб 3 – “ЗИП-1. Запасные части в наличии?” – характеризу-

ет наличие необходимой з.ч. в комплекте ЗИП-1, при этом вероятность наличия этой з.ч. характеризуется показателем достаточности $P_{дijк1}$, а $\bar{P}_{дijк1}$ – вероятность отсутствия, причём

$$P_{дijк1} + \bar{P}_{дijк1} = 1.$$

Далее прямоугольник $\bar{t}_{д1}$ – характеризует среднюю продолжительность доставки з.ч. от места размещения комплекта ЗИП – 1 до места ТР. Описанный выше на ССГ “кратчайший путь” от круга 1 до круга 6 через ромбы 1, 2, 3 характеризует одну из множества возможных реализаций процесса функционирования подсистемы ОЗЧ.

На этом графе

прямоугольники “ $\bar{t}_{п.вед2}$ ”, “ $\bar{t}_{п.вед3}$ ”, “ $\bar{t}_{п.вед4}$ ” характеризуют средние продолжительности поиска необходимой з.ч. в ведомостях комплекта ЗИП-2 и ЗИП-3, либо карточках учёта вышестоящего органа снабжения 4 (склада, ремпредприятия и др.);

прямоугольники “ $\bar{t}_{п.ком2}$ ”, “ $\bar{t}_{п.ком3}$ ”, “ $\bar{t}_{п.ком4}$ ”, характеризуют средние продолжительности поиска необходимой з.ч. в комплектах ЗИП-2, ЗИП-3, местах укладки з.ч. склада 4;

прямоугольники “ $\bar{t}_{п.д2}$ ”, “ $\bar{t}_{п.д3}$ ”, “ $\bar{t}_{п.д4}$ ” характеризуют продолжительность упаковки з.ч. (при необходимости) и экстренной доставки от мест размещения комплектов ЗИП-2, ЗИП-3, склада 4 до места ТР;

ромб 4 “ЗИП-2. Учёт и размещение з.ч. правильное?”, ромб 6 – “ЗИП-3. Учёт и размещение з.ч. правильное?” – характеризуют правильность учёта и корректировок соответствующих записей в ведомостях комплектов ЗИП-2 и ЗИП-3, по мере расходования и пополнения запасов з.ч.;

ромб 5 – “ЗИП-2. З.ч. в наличии?”, ромб 7 – “ЗИП-3. З.ч. в наличии?” – характеризует наличие необходимой з.ч. в комплекте ЗИП-2 и ЗИП-3 соответственно, при этом вероятность наличия этой з.ч. характеризуется показателями достаточности подсистемы ЗИП $P_{дijк2}$ и $P_{дijк3}$ соответственно, а вероятности её отсутствия – $\bar{P}_{дijк2}$ и $\bar{P}_{дijк3}$, причём:

$$P_{дijк2} + \bar{P}_{дijк2} = 1;$$

$$P_{дijк3} + \bar{P}_{дijк3} = 1.$$

На графе (рис. 1) для упрощения записей индексы ijk при обозначении \bar{t} , σ , P опущены.

Расчёт показателей эффективности процесса ОЗЧ проведём с использованием рекомендаций [4, 8]. Получим расчётные соотношения для \bar{t}_{16} по ССГ, приведённой на рис. 1.

Для этого сначала заменим часть графа 1-1а (рис.1) эквивалентным нециклическим процессом (рис.1) со средней продолжительностью

$$\bar{t}_{11a} = \frac{t_{п.сч} + \alpha_{сч} \bar{t}_{п.вед1}}{1 - \alpha_{сч}}. \quad (1)$$

Тогда часть ССГ 1-3а, 3б (рис. 1) можно представить в виде эквивалентного графа 1-2, в котором круг 3 является объединением выходов 3а, 3б ромба 2. Заменим граф 1-3 с циклом, эквивалентным ему нециклическим процессом со средней продолжительностью

$$\bar{t}_{13} = \frac{\bar{t}_{11a} + \bar{t}_{п.вед1} + t_{п.уч}(1 - P_{уч1})}{P_{уч1}}. \quad (2)$$

Исходный ССГ (рис.1) преобразуется к эквивалентному графу с нециклическим процессом, что позволяет записать следующие соотношения

$$\bar{t}_{16i} = \bar{t}_{13} + \bar{t}_{д1} P_{36-i}, \quad (3)$$

где

$$P_{36-i} = K_{п1} P_{д1},$$

$$P_{36-2} = (K_{п1} \bar{P}_{д1} + 1 - K_{п1}) \bar{P}_{уч2} P_{д2};$$

$$P_{36-3} = (K_{п1} \bar{P}_{д1} + 1 - K_{п1}) (\bar{P}_{уч2} + P_{уч2} P_{д2}) P_{уч3} P_{д3};$$

$$P_{36-4} = (K_{п1} \bar{P}_{д1} + 1 - K_{п1}) (\bar{P}_{уч2} + P_{уч2} P_{д2}) \times \\ \times (\bar{P}_{уч3} + P_{уч3} \bar{P}_{д3});$$

$$\bar{t}_{16i} = \bar{t}_{13} + \sum_{i=1}^A \bar{t}_{д1} P_{36-i}. \quad (4)$$

Тогда среднюю продолжительность ОЗЧ можно рассчитать по соотношению

$$\bar{t}_{16i} = \bar{t}_{13} + \sum_{i=1}^A \bar{t}_{д1} P_{36-i}. \quad (4)$$

Соответствующие расчётные соотношения для дисперсии продолжительности работ 1-6 получены с использованием рекомендаций [4, 8].

При известных величинах м.о.ж. и дисперсии продолжительности ОЗЧ и известном типе закона распределения этой с.в. можно получить расчётные соотношения для оценки параметров этого закона и вероятности своевременного обеспечения ТР з.ч.

Задача отыскания параметров законов распределения продолжительности ОЗЧ по известным м.о.ж. и дисперсии этой с.в. сводится к установлению зависимостей параметров законов распределения от известных величин м.о.ж. и дисперсии методом моментов.

Так, область допустимых значений продолжительности ОЗЧ принадлежит интервалу $(0, \infty)$ и при нормальном законе распределения случайной продолжительности ОЗЧ необходимо анализировать усечённое нормальное распределение.

Обозначим m и σ – параметры нормального распределения, а м.о.ж. и дисперсию продолжительности ОЗЧ \bar{t}_{16} и σ_{16}^2 . Тогда можно получить следующие зависимости

$$\bar{t}_{16i} = m + k\sigma; \quad (5)$$

$$\sigma_{16}^2 = \sigma^2 \left[1 - k^2 - km / \sigma \right]; \quad (6)$$

$$c = \left[\Phi_0 \left(\frac{m}{\sigma} \right) \right]^{-1}, \quad \Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-y^2/2} dy,$$

где

$$k = \frac{c}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{m}{\sigma} \right)^2 \right].$$

Отыскание неизвестных m и σ сводится к решению системы нелинейных уравнений (9), (10), которое в общем случае находится численными методами.

Будем считать известными параметры m и σ нормального распределения как решение системы (9), (10).

Тогда искомая вероятность своевременного ОЗЧ (т.е. вероятность ОЗЧ за время, не превышающее t) можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{ОЗЧ}} = c \Phi_0 \left(\frac{t - m}{\sigma} \right). \quad (7)$$

Таким образом, полученные расчетные соотношения (1)-(7) позволяют по заданным исходным данным рассчитать показатели эффективности подсистемы ОЗЧ.

Выводы

Разработана модель функционирования подсистемы обеспечения запасными частями в составе комплексной модели совместного функционирования функциональных подсистем системы текущего ремонта РЭС ЗРК, представляет собой ССГ и расчетные соотношения для показателей эффективности ее функционирования, которые могут использоваться самостоятельного и совместно с показателями эффективности других подсистем СТР РЭС ЗРК.

Модель можно использовать при решении задачи оценивания показателей эффективности для

СТР РЭС ЗРК и комплексного обоснования требований к ней и к ее функциональным подсистемам.

Список литературы

1. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкевич – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
2. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
3. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П.С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г.В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
5. Мозгалевский А.В. Вопросы проектирования систем диагностирования / А.В. Мозгалевский, А.Н. Койда. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.
6. ГОСТ 23564-79. Техническая диагностика. Показатели диагностирования. – М.: Изд-во станд., 1979. – 16 с.
7. Ланецкий Б.Н. Комплексная модель контроля технического состояния и восстановления работоспособной структуры / Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, И.Н. Теребуха // Системи озброєння і військова техніка. – Х., 2011. – № 4(28). – С. 73-75.
8. Дружинин Г.В. Анализ эрготехнических систем / Г.В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
9. Головин И.Н. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем / И.Н. Головин, Б.В. Чуваргин, А.Э. Шура-Бура. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
10. Надежность технических систем. Справочник / под. ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 602 с.

Поступила в редколлегию 28.01.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. А.Б. Леонтьев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ СПІЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПІДСИСТЕМ СИСТЕМИ ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ РЕЗ ЗРК З РОЗРОБКОЮ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ

I.M. Terebucha

Розробляються модель функціонування підсистеми забезпечення запасними частинами у складі комплексної моделі спільного функціонування функціональних підсистем системи поточного ремонту. У доповненні до цієї моделі, опублікованої раніше, розглядаються основні розрахункові співвідношення показників ефективності її функціонування. Розроблену модель пропонується використовувати при оцінюванні показників ефективності функціонування системи поточного ремонту і задані вимоги.

Ключові слова: система поточного ремонту, контроль технічного достатку, забезпечення запасними частинами, комплексна модель.

INTEGRATED MODEL OF CO-OPERATION OF FUNCTIONAL SUBSYSTEMS OF RADIO-ELECTRONIC MEANS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS MAINTENANCE TO THE DEVELOPMENT OF SUBSYSTEM FUNCTIONING MODEL FOR PROVIDED SPARE PARTS

I.M. Terebucha

Developed model of the subsystems provide spare parts in the complex model for co-operation of functional subsystems of maintenance. In addition to this model, previously published, examines the main settlement ratio performance of its operation. Developed model is proposed to use when evaluating performance system operation and maintenance requirements of the job.

Keywords: system maintenance, technical inspection, the spare, parts, the integrated model.