

УДК 621.3.019.3

Методика расчета показателей достаточности системы ЗИП электронных средств

Полесский С. Н., Паньковский Б. Е.

Постановка задачи: надежность электронных средств (ЭС) обеспечивается на всех этапах жизненного цикла: проектировании, изготовлении и эксплуатации. Какими бы совершенными ни были ЭС, в них неизбежно будут происходить отказы, которые в той или иной степени скажутся на способности ЭС выполнять заданные функции. Выбор системы восстановления происходит на основе анализа отказов ЭС и поставленных требований. Как правило, для восстанавливаемых ЭС, выполняющих ответственные задачи в течение большого срока службы (5, 10 или 15 лет), разрабатываются комплекты запасных частей, инструментов и принадлежностей (комплекты ЗИП). Комплект ЗИП должен содержать необходимый набор запасных частей, которых достаточно для замены (восстановления) отказавших элементов в ЭС. Таким образом, необходимо оценить минимальный состав комплекта ЗИП, который позволит обеспечить эксплуатацию (ремонт и техническое обслуживание) изделия при заданных требованиях к коэффициенту готовности и среднему времени задержки в удовлетворении заявки на запасную часть. **Цель работы:** применить методику расчета коэффициента готовности и среднего времени задержки в удовлетворении заявки на запасную часть для ЭС со сложной структурой системы ЗИП, которая основывается на использовании аналитической модели «ЭС-комплект ЗИП» с оценкой уровня недостаточности. Основные достоинства такой методики: возможность декомпозировать основную структуру системы ЗИП; определение состава комплектов ЗИП для четырех типов стратегий пополнения; простота верификации модели оценки коэффициента готовности и среднего времени задержки в удовлетворении заявок. Вместе с тем методика имеет и существенный недостаток, который заключается в том, что такой методический прием дает приближенное значение показателей достаточности с неисследованной погрешностью. **Результат:** доказана возможность использования методики расчета коэффициента готовности и среднего времени задержки в удовлетворении заявки на запасную часть комплекта ЗИП для современных структур построения системы ЗИП электронных средств с использованием четырех типов стратегий пополнения, которая также позволяет рассчитывать коэффициент готовности и среднее время восстановления для модели «ЭС-система ЗИП».

Ключевые слова: электронные средства, ЗИП, ремонт, техническое обслуживание, интенсивность отказов, коэффициент готовности, среднее время задержки, надежность.

Актуальность

Практика показывает, что затраты на систему запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) сравнимы с затратами на сами электронные средства (ЭС), поэтому возникает задача проектирования системы ЗИП, обеспечивающей заданный уровень надежности ЭС при минимальных затратах.

Наиболее популярной на данный момент моделью для составления комплектов ЗИП является расчет показателей достаточности, а именно коэффици-

Библиографическая ссылка на статью:

Полесский С. Н., Паньковский Б. Е. Методика расчета показателей достаточности системы ЗИП электронных средств // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 35-47. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/02-Polesskiy.pdf>

Reference for citation:

Polesskiy S. N., Pankovsky B. E. Calculating Method of Determination Factors for Spare Parts System of the Electronic Means. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 4, pp. 35-47. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/02-Polesskiy.pdf> (in Russian).

ента готовности и среднего времени задержки в удовлетворении заявки на запасную часть пары «Изделие-комплект ЗИП». Подходы по расчету и оптимизации запасов комплектов ЗИП, приведённые в источниках [1-11], позволяют рассматривать изделия, которые комплектуются групповым или одиночным комплектом ЗИП.

Если ЭС в ходе эксплуатации предполагают использование системы ЗИП, то имеет смысл говорить не о показателе надежности самих ЭС, а о показателе надежности модели «ЭС – система ЗИП». Однако существующая практика проектирования ответственных ЭС предполагает раздельное проектирование ЭС и приданной им системы ЗИП. Поэтому вводится показатель достаточности системы ЗИП, характеризующий снижение надежности пары «ЭС – конкретная система ЗИП» по сравнению с надежностью пары «ЭС – бесконечная система ЗИП».

Постановка задачи

Для обеспечения высокой эксплуатационной надежности ЭС придается система обеспечения их работоспособности, которая включает диагностические и ремонтные средства, комплекты запасных элементов, средства доставки запасных элементов и т. д.

Система ЗИП – совокупность всех запасов конструктивных элементов, входящих в систему обеспечения работоспособности ЭС.

Возможная нехватка запасных элементов увеличивает среднее время замены отказавшего элемента исправным запасным (среднее время ремонта изделия), причем ограниченность объема системы ЗИП может весьма существенно сказаться на значении показателя надежности ЭС, и ограниченность объема ЗИП нельзя не учитывать при расчетах надежности.

Таким образом, необходимо оценивать минимальный состав системы ЗИП при заданных требованиях к показателям надежности, который позволит обеспечить эксплуатацию (ремонт и техническое обслуживание) изделия. Система ЗИП, как правило, должна содержать оптимальный набор запасных частей, которых достаточно для замены (восстановления) отказавших элементов ЭС.

Описание структуры системы ЗИП

Для современных ЭС характерно наличие трёх уровней ремонтпригодности составных частей:

- ТЭЗ-1 (ТЭЗ – типовой элемент замены) – самый мелкий конструктивный элемент, ремонту не подлежит;
- ТЭЗ-2 – включает в себя ТЭЗ-1 и ремонтируется за счет его замены;
- ТЭЗ-3 – включает в себя ТЭЗ-2 и ремонтируется за счет его замены.

Поскольку мы ограничиваемся тремя уровнями сложности элементов и двумя уровнями в иерархии системы ЗИП (одиночный; групповой), можно построить общую структуру системы ЗИП (см. рис. 1).

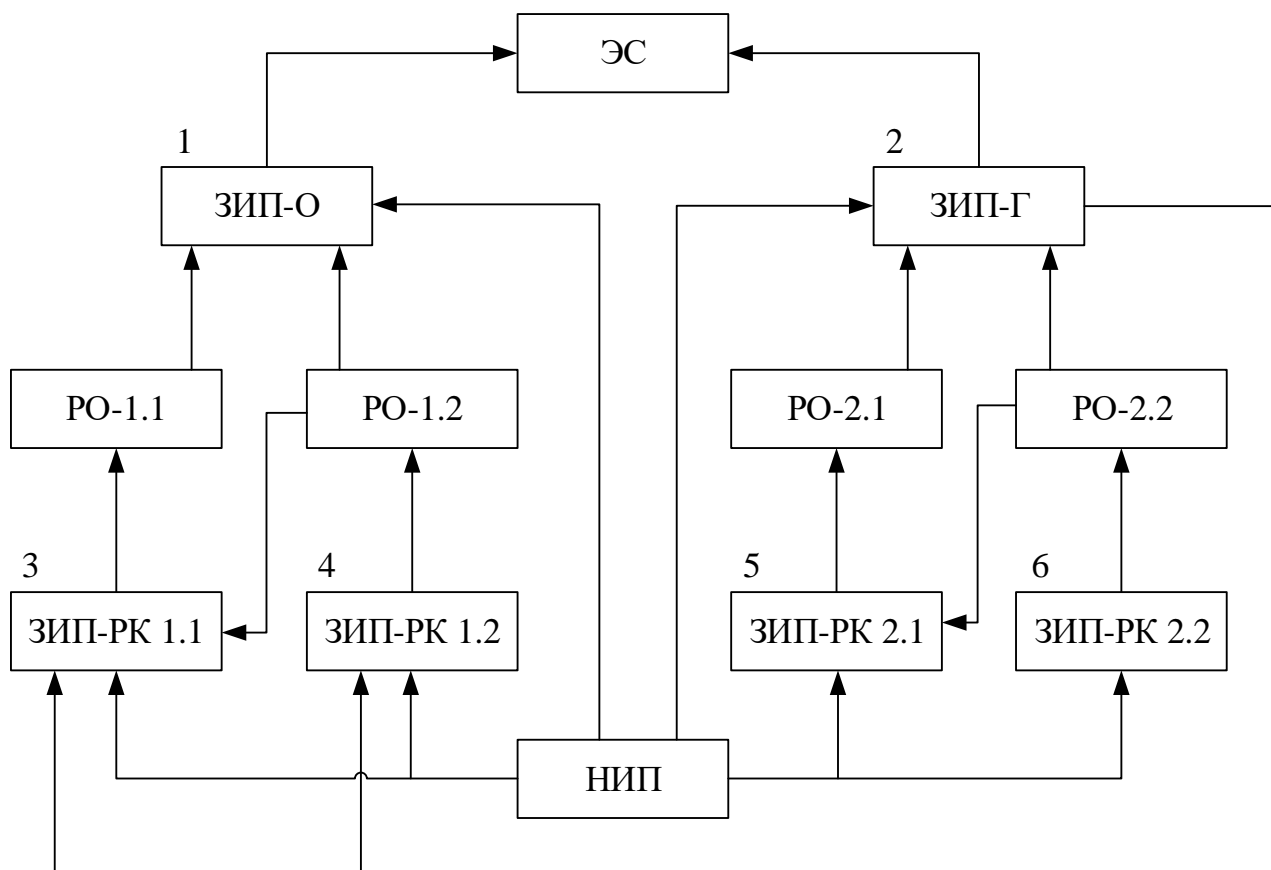


Рис. 1. Общая структура системы ЗИП

На рис. 1 стрелками (31) указаны возможные направления движения запасных элементов.

Такая структура включает в себя 6 комплектов: (1) одиночный (ЗИП-О); (2) групповой (ЗИП-Г) и 4 ремонтных (ЗИП-РК), из которых (3) ЗИП-РК1.1 и (4) ЗИП-РК1.2 припадают к ремонтному органу (РО), совмещенному с изделием (РО-1.1, РО-1.2), а (5) ЗИП-РК2.1 и (6) ЗИП-РК2.2 к РО, совмещенному с групповым комплектом (РО-2.1, РО-2.2).

Одиночный и групповой комплекты в общем случае содержат запасы ТЭЗ1, ТЭЗ2, ТЭЗ3, причем некоторые запасные элементы отсутствуют в одиночном комплекте и поставляются ЭС непосредственно из группового комплекта. ЗИП-РК1.1 и ЗИП-РК2.1 содержат запасы ТЭЗ2, которые могут пополняться за счет ЗИП-РК1.2 и ЗИП-РК2.2, а также за счет неисчерпаемого источника. Ремонтные комплекты ЗИП-РК1.2 и ЗИП-РК2.2 содержат запасы ТЭЗ1, которые пополняются за счет неисчерпаемого источника (запасы в комплектах ЗИП-РК1.1, ЗИП-РК1.2 могут также пополняться за счет группового комплекта). Запасы элементов в одиночном комплекте могут пополняться за счет комплектов ЗИП-Г, ЗИП-РК1.1, ЗИП-РК1.2 и неисчерпаемого источника пополнения. Подобные структуры представлены в статье [12].

На практике реализуемые структуры систем ЗИП являются частными случаями этой общей структуры (см. рис. 1).

Показатели достаточности системы ЗИП

Показателем достаточности системы ЗИП согласно [2, 4, 5] является среднее время задержки Δ^* в удовлетворении заявки на запасной элемент; задержка вызывается возможным отсутствием необходимого запасного элемента в системе ЗИП.

Из всех параметров, определяющих надежность ЭС, ограниченность системы ЗИП сказывается только на времени их ремонта. Время ремонта ЭС увеличивается при отсутствии в системе ЗИП необходимого запасного элемента в тот момент, когда он понадобился.

Среднее время ремонта ЭС, снабженных конкретной системой ЗИП:

$$\tau = \tau_{\infty} + \Delta^*, \quad (1)$$

где τ_{∞} – среднее время ремонта при наличии запасного элемента; Δ^* – среднее время задержки в удовлетворении заявки на запасной элемент. Время τ_{∞} не зависит от системы ЗИП, оно определено к этапу ее проектирования, Δ^* – являющееся первым показателем достаточности системы ЗИП, определяется ее параметрами функционирования и структурой.

При проектировании ЭС требования к их надежности выражаются заданием R_0 требуемого значения показателя надежности.

После того как закончено проектирование системы, можно считать известными расчетные значения функции $R(\tau)$ – показателя надежности ЭС в зависимости от среднего времени ремонта при условии, что необходимый запасной элемент всегда имеется.

Тогда требования к системе ЗИП, обеспечивающей заданную надежность ЭС, выражаются ограничением на показатель ее достаточности:

$$\Delta^* \leq \Delta_0 = \tilde{\tau} - \tau_{\infty}, \quad (2)$$

где $\tilde{\tau}$ – корень уравнения $R(\tau) = R_0$; τ_{∞} – заданное среднее время замены отказавшего элемента ЭС исправным запасным.

Задача проектирования системы ЗИП сводится к поиску такой системы ЗИП, показатель достаточности которой будет не больше Δ_0 .

Коэффициентом готовности системы ЗИП [4, 13] называется средняя по времени вероятность того, что система ЗИП не находится в состоянии отказа:

$$K^* = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\int_0^T P^*(t) dt}{T} = \frac{T^*}{T^* + \tau^*}, \quad (3)$$

где $P^*(t)$ – вероятность того, что в момент t система ЗИП не находится в состоянии отказа; T^* – среднее время между отказами системы ЗИП; τ^* – средняя продолжительность одного отказа системы ЗИП (индексом «*» отмечены показатели системы ЗИП).

Отказом системы ЗИП [14] условно называется такое состояние модели «ЭС – система ЗИП», при котором ЭС полностью или частично потеряли работоспособность из-за отказа одного из элементов ЭС, а система ЗИП не может предоставить нужного запасного. Из определения следует, что отказ системы ЗИП не обязательно совпадает с отказом выполнить требование на элемент, а лишь с таким отказом в выполнении требования, который ведет к простоя ЭС.

Применение методики

расчета показателей достаточности системы ЗИП электронных средств

Рассмотрим применение методики на примере персонального компьютера (ПК), для которого используются следующие исходные данные.

Дано изделие, состоящее из семи СЧ:

а) первого уровня сложности (ТЭЗ1):

- 1) клавиатура;
- 2) манипулятор «мышь»;
- 3) монитор;
- 4) системный блок
 - 4.1 блок питания;
 - 4.2 видеокарта;
 - 4.3 жесткий диск;
 - 4.4 материнская плата.

б) одной СЧ 2-ого уровня (ТЭЗ2) – системный блок.

Структура системы ЗИП в соответствии с планируемыми условиями эксплуатации имеет следующий вид (см. рис. 2)

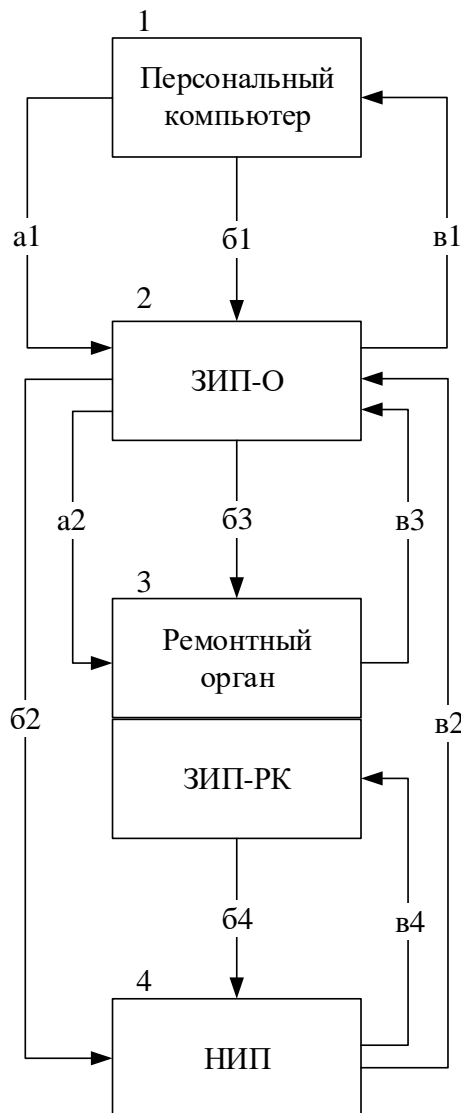


Рис. 2. Структура системы ЗИП ПК, совмещенного с ремонтным органом

При выходе из строя элемента ПК (1) отправляется заявка (б1) на поставку запасного. Вместе с ней отправляется и сам неисправный элемент (а1). ЗИП-О (2) удовлетворяет заявку (в1) и оценивает на каком уровне произошла поломка элемента (в нашем случае изделие имеет два уровня сложности – ТЭЗ-2, т. е. состоит из двух уровней элементов замены). Если элемент отказал на уровне ТЭЗ-1, т. е. его не восстановить путём замены СЧ, то высылается заявка (б2) на восстановление (в2) комплекта ЗИП-О в неисчерпаемый источник пополнения (4). Если же отказ элемента произошел на уровне ТЭЗ-2, т. е. элемент отказал по причине отказа одной из СЧ ТЭЗ-1 уровня, то он отсылается (а2) в РО (3), где и происходит замена (в3) (ремонт, восстановление) вышедшей из строя СЧ. Туда же высылается и заявка (б3) на пополнение ЗИП-О (2). По исчерпанию запаса комплекта ЗИП-РК, ремонтный орган (3) подает заявку (б4) на восстановление (в4) ЗИП-РК (3) в неисчерпаемый источник пополнения (4).

Введем следующие обозначения, которые будем использовать далее:

$N_1 = 4; N_2 = 4; (N_j - \text{количество составных частей в } j\text{-ом комплекте});$

$i - \text{номер составной части};$

$m_i - \text{количество основных элементов } i\text{-ого типа в ЭС};$

$\lambda_i - \text{интенсивность отказов основного элемента } i\text{-ого типа в ЭС};$

$\alpha_i - \text{тип стратегии пополнения элемента } i\text{-ого типа в ЭС};$

$T_{il} - \text{числовой параметр стратегии пополнения (среднее время ремонта)}$

элемента i -ого типа в ЭС;

$n_i - \text{количество запасных элементов } i\text{-ого типа в ЭС};$

$\alpha_i = 1 - \text{периодическое пополнение отказавших элементов};$

$\alpha_i = 3 - \text{ремонт (восстановление) отказавших элементов. Одновременно может ремонтироваться сколько угодно элементов данного типа};$

$\Lambda_{i0} - \text{интенсивность спроса на запасную часть } i\text{-ого типа из ЗИП-О};$

$L - \text{максимальный уровень запасных частей в комплекте ЗИП.}$

Исходные данные для одиночного и ремонтного комплектов ЗИП системы представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Исходные данные одиночного комплекта

Наименование	i	m_i	λ_i	α_i	T_{il}	n_i
Монитор	1	1	3,30000	1	8760	2
Мышь	2	1	0,99100	1	8760	1
Клавиатура	3	1	2,31000	1	8760	3
Системный блок	4	1	4,63912	3	336	1

Таблица 2 – Исходные данные ремонтного комплекта

Наименование	i	λ_i	α_i	T_i	n_j
Материнская плата	4.1	0,91630	1	8760	1
Видеокарта	4.2	0,83392	1	8760	1
Жесткий диск	4.3	2,49990	1	8760	2
Блок питания	4.4	0,38900	1	8760	1

При проведении расчета учтено, что элементы всех типов в ПК не резервированы, в хранении не отказывают.

Для проведения расчета показателей достаточности структуры системы ЗИП (см. рис. 2) последовательно рассчитаем показатели достаточности комплекта ЗИП-О и ЗИП-РК.

Сначала проведем расчеты для элементов ЗИП-О.

Для элементов с периодическим пополнением (при $\alpha_i=1$ периодическое пополнение) вероятность недостаточности считается следующим образом:

$$P_i = \frac{1}{a} e^{-a} \sum_{j=n+2}^L (j-n-1) \frac{a^j}{j!}; \quad (4)$$

где $T_{il} = T_{\Pi}$, $a = m\lambda T_{\Pi}$.

Для восстанавливаемого элемента (при $\alpha_i=3$ одновременно ремонтируется сколько угодно элементов данного типа) вероятность недостаточности считается по формуле:

$$P_i = \frac{a^{n+1}}{(n+1)! \sum_{k=0}^{n+1} \frac{a^k}{k!}}; \quad (5)$$

где $T_{il} = T_p$.

Для расчета составных частей 1-3 (см. таблицу 1) используется формула (4), а для 4 составной части используется формула (5).

Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчета показателя достаточности для ЗИП-О

Номер составной части	a	P
1	0,0290800000	0,00000098927585169
2	0,0086811000	0,00001250604535037
3	0,0202350000	0,00000000137856458
4	0,0015587432	0,00000121294977545

После расчета для составных частей перейдем к показателям достаточности для комплекта ЗИП, которые рассчитываются по формулам:

$$K_i = 1 - P_{i,l_i+1};$$

$$K = \prod_{i=1}^N (1 - P_{i,l_i+1}); \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{1}{\Lambda_{i0}} \sum_{j=1}^{l_i+1} j P_{ij}.$$

Коэффициент готовности для комплекта ЗИП-О по формуле (6) получается равным

$$K_{\Gamma\text{ЗИП-О}} = 0,9999852904. \quad (7)$$

Среднее время задержки в удовлетворении заявки на запасную часть комплекта ЗИП-О по формуле (6) получается равным

$$\Delta = 1,3086737101 \text{ ч.} \quad (8)$$

Аналогично проводится расчет комплекта ЗИП-РК.

Так как в нашем случае стратегия пополнения $\alpha_i = 1$ и периодическое пополнение $\sigma = 0$ (σ – интенсивность отказов при хранении), то формула имеет следующий вид:

$$P_j = \frac{1}{a} e^{-a} \sum_{k=n+j+1}^L \frac{a^k}{k!}. \quad (9)$$

где L – максимальный уровень запасных частей в комплекте ЗИП.

Показатели составных частей ЗИП-РК, рассчитанные с использованием формулы (9), приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет показателя достаточности для ЗИП-РК

Номер составной части	a	P
1	0,0080267880	0,00001067378296054
2	0,0073051392	0,00000884558866041
3	0,0218991240	0,00000042999482805
4	0,0034076400	0,00000193039560329

Показатели достаточности для ремонтного комплекта ЗИП-РК рассчитываются по формулам

$$K = \prod_{i=1}^N (1 - P_{i,l_i+1});$$

$$K_i = 1 - P_{i,l_i+1}; \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L j P_{ij}.$$

Рассчитаем коэффициент готовности комплекта ЗИП-РК по формуле (10):

$$K_{\Gamma\text{ЗИП-РК}} = 0,9999781203, \quad (11)$$

А также, среднее время задержки в удовлетворении заявки на запасную часть ЗИП-РК по формуле (10):

$$\Delta = 4,7163604416 \text{ ч.} \quad (12)$$

Общий коэффициент готовности модели «ЭС – система ЗИП»

Расчет общего коэффициента готовности модели «ЭС – система ЗИП» проведем, используя две различные методики [15, 16], с целью их последующего сравнения.

1) По методике из справочника [16] получены следующие результаты:

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma\text{ЭС}} \cdot K_{\Gamma\text{ЗИП-О}} \cdot K_{\Gamma\text{ЗИП-РК}} = 0,9999174704 \cdot 0,9999852904 \times \\ \times 0,9999781204 = 0,9998808840. \quad (13)$$

2) Используя систему АСОНИКА-К-ЗИП [15], получаем следующий коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma\text{ЭС}} \cdot K_{\Gamma\text{ЗИП-О}} \cdot K_{\Gamma\text{ЗИП-РК}} = 0,9999174704 \cdot 0,9999865033 \times \\ \times 0,9999779254 = 0,9998819020. \quad (14)$$

Из расчетов видим, что коэффициенты готовности для модели «ЭС – система ЗИП», полученные при использовании традиционной методики [1, 6, 7, 13] и с помощью представленной методики для рассматриваемой системы ЗИП [16], близки по значению. Это подтверждает, что использование предложенной ранее методики для расчета описанной системы ЗИП (см. рис. 2) является правомерным и допустимым.

Выводы

Методика расчета коэффициента готовности и среднего времени задержки в удовлетворении заявки системы ЗИП ЭС для некоторых стратегий пополнения комплектов ЗИП позволяет получить количественную оценку коэффициента готовности и среднего времени ремонта модели «ЭС – система ЗИП» для произвольных структур системы ЗИП, полученных из общей структуры (см. рис. 1).

Подход, взятый из [16], при котором сначала рассчитываются показатели достаточности системы ЗИП, а потом с их помощью происходит корректировка показателя надежности ЭС изделия (коэффициента готовности или среднего времени ремонта), имеет ряд достоинств: возможность декомпозировать основную задачу; оценить показатели достаточности комплектов ЗИП при использовании разных стратегий пополнения запасных элементов комплектов ЗИП; легкость в верификации модели расчета.

Отличительной особенностью разработанной методики является прямое включение показателей достаточности системы ЗИП в модель надежности «ЭС – система ЗИП».

Полученные результаты доказывают актуальность работы, а также эффективность методики. Данная методика облегчает расчет нормативных значений показателей надежности и достаточности, а именно коэффициента готовности и среднего времени ремонта.

Очевидно, что рассмотренная методика расчета модели «ЭС – система ЗИП» имеет ограничения: использование методики для ЭС, не имеющих резервирования, приводит к необоснованной избыточности комплектов ЗИП; оптимизация комплектов ЗИП только по одному из параметров (стоимость, вес или объем), ведет к трудностям проектирования комплекта ЗИП при одновременном ограничении по двум и более параметрам.

Несмотря на приведенные выше ограничения, методика расчета показателей достаточности модели «ЭС–система ЗИП» может применяться на ранних этапах проектирования для ориентировочной оценки состава системы ЗИП.

Литература

1. ГОСТ РВ 27.3.03-2005 Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП. – М.: Стандартинформ, 2005. – 38 с.
2. Черкесов Г. Н. Оценка надежности с учетом ЗИП: учебное пособие. – СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 480 с.
3. MIL-HDBK-472 Maintainability prediction – Washington D.C.: Department of defense, 1966. – 298 p.

4. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем: учебное пособие. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.
5. ГОСТ 27.507-2015 Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 48 с.
6. Авдеев Д. К., Жаднов В. В. Автоматизация проектирования систем ЗИП // Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT & QM). Материалы международного форума. – М.: Фонд «Качество», 2009. – С. 130-133.
7. РДВ 319.01.19-98 Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП. – М.: Стандартинформ, 1998. – 59 с.
8. Mansik H., Burcu B. K., Charles P. S. End-of-life inventory control of aircraft spare parts under performance based logistics // International Journal of Production Economics. 2018. Vol. 204. P. 186-203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.028>
9. Epstein J., Ivry O. Spare Parts Supply Chain Shipment Decision Making in a Deterministic Environment // Modern Management Science & Engineering. 2017. Vol. 5. No. 1. 10 p.
10. Жаднов В. В., Карапузов М. А., Кулыгин В. Н., Полесский С. Н. Сравнение локальных вычислительных сетей по критерию требований к комплектам запасных частей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 4. С. 36-44. doi: [10.14489/vkit.2015.04.pp.036-044](https://doi.org/10.14489/vkit.2015.04.pp.036-044)
11. MIL-HDBK-217F Reliability prediction of electronic equipment – Washington DC, Department of Defense, 1991. – 150 p.
12. Hekimoğlu M., Van der Laana E., Dekker R. Markov - modulated analysis of a spare parts system with random lead times and disruption risks // European Journal of Operational Research. 2018. Vol. 269. P. 909-922. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.040>
13. Кофанов Ю. Н., Жаднов В. В. Основы теории надежности и параметрической чувствительности РЭС: учебное пособие. – М.: Московский институт электронного машиностроения, 1990. – 36 с.
14. Справочник. Надежность ЭРИ. – М.: 22 ЦНИИ МО, 2006. – 641 с.
15. Полесский С. Н. Анализ результатов расчетов надежности в подсистеме АСОНИКА-К // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, посвященная 40-летию МИЭМ. Тезисы докладов. – М.: МИЭМ, 2002. – С. 197-198.
16. Беляев. Ю. К., Богатырев В. А., Болотин В. В. Надежность технических систем: Справочник. Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

References

1. State Standard 27.3.03-2005. Reliability of military equipment. Estimation and calculation of reserves in sets of spare parts. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 38 p. (in Russian).
2. Cherkesov G. N. *Otsenka nadezhnosti s uchetom ZIP* [Evaluation of reliability with allowance for spare parts]. BHV-Petersburg Publ., 2012, 480 p. (in Russian).
3. Military handbook-472 Maintainability prediction. Washington D.C., Department of defense, 1966. 298 p.
4. Ushakov I. A. *Kurs teorii nadezhnosti sistem* [Course in the theory of system reliability]. Moscow, Drofa Publ., 2008. 239 p. (in Russian).
5. State Standard 27.507-2015 Reliability in engineering. Spare parts, tools and accessories. Estimation and calculation of reserves. Moscow, Publishing Standards, 2017. 48 p. (in Russian).
6. Avdeev D. K., Zhadnov V. V. *Avtomatizatsiya proektirovaniya sistem zapasnykh chastey i instrumentov* [Automation of design of spare parts systems]. *Novye informatsionnye tekhnologii i menedzhment kachestva (NIT & QM). Materialy mezhdunarodnogo foruma* [New information technologies and quality management (NIT & QM). International forum]. "Quality" Foundation Publ., 2009. pp. 130-133 (in Russian).
7. Military management documents 319.01.16-98 Radio-electronic systems for military use. Typical methods for estimating reliability and maintainability indicators using computational and experimental methods. Moscow, Standartinform Publ., 1998. 59 p. (in Russian).
8. Mansik H., Burcu B. K. Charles P. S. End-of-life inventory control of aircraft spare parts under performance based logistics. *International Journal of Production Economics*, 2018, vol. 204, pp. 186-203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.028>
9. Epstein J., Ivry O., Spare Parts Supply Chain Shipment Decision Making in a Deterministic Environment. *Modern Management Science & Engineering*, 2017, vol. 5, no. 1, 10 p.
10. Zhadnov V. V., Karapuzov M. A., Kulygin V. N., Polesskiy S. N. Sravnenie lokalnykh vychislitelnykh setey po kriteriyu trebovaniy k kompletam zapasnykh chastey [Comparison of local computer networks by the criterion of requirements to sets of spare parts]. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2015, no. 4, pp. 36-44. doi: 10.14489/vkit.2015.04.pp.036-044 (in Russian).
11. Military handbook-217F *Reliability prediction of electronic equipment*. Washington D.C., Department of Defense, 1991. 150 p.
12. Hekimoğlu M., Van der Laana E., Dekker R. Markov - modulated analysis of a spare parts system with random lead times and disruption risks. *European Journal of Operational Research*, 2018, vol. 269, pp. 909-922.
13. Kofanov Iu. N., Zhadnov V. V. *Osnovy teorii nadezhnosti i parametricheskoi chuvstvitel'nosti radioelektronnykh sredstv* [Basics of the theory of reliability and parametrical sensitivity of radioelectronic devices]. Moscow,

Moscow State University of Electronics and Mathematics Publ, 1990. 36 p. (in Russian).

14. *Spravochnik. Nadejnost' ehlektroradioizdelij* [Handbook. Reliability electronic radio elements]. Moscow, 22 Military Scientific Committee of the Armed Forces, 2006. 641 p. (in Russian).

15. Poleskiy S. N. *Analiz rezul'tatov raschetov nadezhnosti v podсистеме ASONIKA-K* [Analysis of the reliability calculation results using ASONIKA-K system]. *Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh spetsialistov, posviashchennaia 40-letiiu MIEM* [Abstracts of papers of the scientific and technical conference of the students, postgraduates and young specialists, dedicated to the 40th anniversary of MIEM]. Moscow, 2002. pp. 197-198 (in Russian).

16. Belyaev Yu. K., Bogatyrev V. A., Bolotin V. V. *Nadezhnost tekhnicheskikh system* [Reliability of technical systems]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1985. 608 p. (in Russian).

Статья поступила 28 сентября 2018 г.

Информация об авторах

Полесский Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент. Доцент департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: автоматизация проектирования; информационные технологии; надежность; проектирование систем. E-mail: spolesky@hse.ru

Паньковский Богдан Евгеньевич – аспирант 3-го года обучения аспирантской школы технических наук, департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: информационные технологии; автоматизация проектирования; ЗИП; языки программирования; надежность. E-mail: berankovsky@gmail.com

Адрес: 123458, Россия, г. Москва, ул. Таллинская, д. 34.

Calculating Method of Determination Factors for Spare Parts System of the Electronic Means

S. N. Poleskiy, B. E. Pankovsky

Problem Statement: *the reliability of electronic means (EM) is ensured at all stages of the life cycle: design, manufacture and operation. No matter how perfect the EM is, failures will inevitably occur in it, which will have an influence on the ability to perform EM's specified functions. The choice of recovery system is based on the failures analysis of the EM and the requirements. Generally, recoverable power plants that perform critical tasks for a long life service (5, 10 or 15 years) are completed with sets of spare parts, tools and accessories (spare parts kits). Spare parts kit should contain the necessary set of spare parts, which are sufficient to replace (restore) the failed elements in the EM. Thus, it is necessary to estimate the minimum composition of the spare parts kit with given limitations for the availability rate and average latency in satisfying the request for the spare part, which will allow to ensure the operation (repair and maintenance).*

nance) of the product. **Work purpose:** in our research explored the possibility of using the methodology for calculating availability and the average delay in granting a request for a spare part from an EM with a complex structure of spare parts kit, which is based on the usage of the analytical model “EM-kit spare parts” with an assessment of the failure level. The main advantages of this technique are the ability to decompose the basic structure of the spare parts system, determining the composition of spare parts sets for four types of replenishment strategies, the simplicity of verification the model for assessing the availability rate and the average delay in satisfying a request for a spare part. Simultaneously the technique has a significant drawback, such as methodical technique gives an approximate value of the sufficiency indicators with an unexplored error. **Results:** during our research proved the ability to use electronic methods for calculating the availability's rate and the average latency in satisfying the request for the spare part of the spare parts kit system for some replenishment strategies, which also allows to calculate the availability rate for the “EM-ZIP system” model, which is proved to be possible for modern structures of the spare parts system.

Keywords: electronic means, spare parts, repair, maintenance, failure rate, availability rate, average latency, reliability.

Information about Authors

Sergey Nikolaevich Polesskiy – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of «Computer Engineering». National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: computer-aided design; information technology; reliability; systems design. E-mail: spolessky@hse.ru

Bogdan Evgenyevich Pankovsky – Candidate of technical Sc. In Department of «Computer Engineering». National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: information technology; programming; spare parts kit; computer-aided design; programming languages; reliability. E-mail: bepankovsky@gmail.com

Address: Russia, 123458, Moscow, Tallinskaya street, 34.