

## **Об ограничениях и допущениях действующих методик расчёта комплектов ЗИП радиоэлектронной аппаратуры**

### **About Restrictions and Assumptions of Existing Methods for Calculating Sets of Spare Parts of Radio Electronic Equipment**

#### **Шашурин В.Д.**

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии приборостроения», Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва

#### **Shashurin V.D.**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technologies of Instrument Making, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

#### **Ветрова Н.А.**

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии приборостроения», Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва

#### **Vetrova N.A.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technologies of Instrument Making», Bauman Moscow State Technical University, Moscow

#### **Молчанов А.Н.**

Начальник отдела надёжности и испытаний, АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга», г. Москва  
e-mail: andrey.molc@gmail.com

#### **Molchanov A.N.**

Head of Department of Reliability and Testing, Central Scientific Research Radiotechnical Institute named after academician A.I. Berg, Moscow  
e-mail: andrey.molc@gmail.com

#### **Аннотация**

Рассмотрен комплект ЗИП и его назначение. Проведён обзор ограничений и допущений действующих методик расчёта ЗИП. Показана невозможность применения действующих методик для конкретного случая. Приведены современные подходы к решению вопроса расчёта комплектов ЗИП.

**Ключевые слова:** комплект ЗИП, показатели достаточности, показатели надёжности, модель надёжности.

#### **Abstract**

A set of spare parts and its purpose is considered. A review of the limitations and assumptions of the existing methods for calculating spare parts. The impossibility of applying existing methods for a specific case is shown. Modern approaches to solving the issue of calculating spare parts sets are presented.

**Keywords:** set of spare parts, sufficiency indicators, reliability indicators, reliability model.

## 1. Введение

Использование запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) сводится к восстановлению работоспособности изделий путём замены отказавших частей работоспособными запасными частями.

Государственный стандарт [1] выделяет два направления в назначении комплектов ЗИП:

- обеспечение безотказности изделий;
- обеспечение ремонтпригодности изделий (проведение технического обслуживания, ремонта) путём бесперебойного и гарантированного удовлетворения запросов на запасные части.

В зависимости от назначения комплекта ЗИП обычно рассматривают два критерия расчёта и оптимизации запасов: критерии показателей достаточности и критерии надёжности.

Иногда [2] выделяется также ещё и экономический критерий (минимизация затрат или максимизация прибыли) в рамках теории запасов.

## 2. Ограничения и допущения действующих методик расчёта ЗИП

2.1. В основе действующих методик [1, 3] лежат математические модели, построенные на коррекции расчёта надёжности изделия, снабжённого неограниченным комплектом ЗИП. Задача учёта ЗИП при оценке надёжности сводится к декомпозиции задачи вычисления показателей достаточности (ПД):

–на первом этапе на основе данных об изделии определяются параметры потоков заявок в комплекты ЗИП на каждый тип запасной части (ЗЧ). Для каждого типа ЗЧ выбирают стратегию пополнения. На основе этих данных вычисляют значение ПД для каждого типа ЗЧ, а затем для комплекта ЗИП в целом;

–на втором этапе проводят оптимизацию комплекта ЗИП по выбранному критерию.

В государственном стандарте [1] одним из таких критериев является требование к надёжности изделия. В этом случае ПД используются для коррекции параметров модели надёжности системы. Для этого выбирают модель надёжности системы, восстановление которой обеспечивается путем ремонта с неограниченным числом запасных частей. Далее проводят расчёт показателей надёжности (ПН) при скорректированных параметрах модели. Полученные значения должны удовлетворять требованиям к надёжности изделия.

2.2. Главным допущением является применение экспоненциального закона распределения для продолжительности безотказной работы.

К достоинствам экспоненциального распределения следует отнести:

– хорошо описывает надёжность техники в период нормальной эксплуатации, когда преобладают внезапные отказы. Физической природой таких отказов является резкая концентрация нагрузок, действующих внутри и вне устройства. Внезапные отказы носят случайный характер. Случайность возникновения внезапных отказов проявляется в том, что события происходят неожиданно и нерегулярно, и сопровождаются резким изменением одного или нескольких параметров объекта [4]. Такие изменения являются следствием стечения неблагоприятных обстоятельств, например: необнаруженные внутренние дефекты, нарушение режимов работы или ошибки обслуживающего персонала. У внезапных отказов обычно отсутствуют видимые признаки их приближения, поэтому предсказать их невозможно;

– простота и удобство модельных свойств экспоненциального распределения: зависимость только от одного параметра ( $\lambda(t)$  – интенсивность отказов). Для периода нормальной эксплуатации в достаточно большие и

приблизительно равные промежутки времени внезапные отказы повторяются с одинаковой интенсивностью, т.е.  $\lambda = const$  [4];

– позволяет получить нижнюю оценку показателей надёжности на параметрах, не превышающих среднее её значение.

Недостатками данного закона, или ограничениями для его применения, являются:

– необходимость того, чтобы потоки отказов и восстановлений были простейшими, т.е. обладали свойствами ординарности, стационарности, отсутствием последействия [5];

– данный закон распределения неприменим и к сложным техническим системам, так как интенсивность отказов сложной системы в общем случае не является постоянной, даже если интенсивности отказов её элементов постоянны. Это может обуславливаться неоднородностью работы элементов и наличием последействий отказов.

2.3. Расчётные соотношения в действующих методиках [1, 3] построены на следующих допущениях:

– отсутствие резервных элементов;

– интенсивность отказов запасных элементов при хранении пренебрежимо мала по сравнению с интенсивностью отказов основных элементов  $\lambda_{xp} \leq \lambda/10$ .

Однако, перечисленные достаточно жёсткие допущения позволяют получить аналитические формулы расчёта ПД для различных стратегий пополнения.

### 3. Анализ применения действующих методик

Подход (декомпозиция задачи вычисления ПД), описанный в п. 2.1, имеет свои достоинства и недостатки.

К основным достоинствам данного подхода можно отнести [6]:

– разделение сложной задачи на две более простых;

– возможность использования теории восстанавливаемых систем при неограниченном восстановлении.

Однако такой методический приём является приближенным [6, 7, 8], а соответственно содержит методическую погрешность. Это выражается в том, что оценка показателей надёжности (ПН) в большинстве случаев оказывается либо завышенной, либо заниженной. В первом случае на выходе мы имеем избыточный запас (а это дополнительные экономические расходы); во втором – запас получается недостаточным для удовлетворения требований надёжности, что приводит к простоям изделий, оснащённых ЗИП.

В рамках такого подхода представляется более корректным в техническом задании (ТЗ) на разработку изделия, для которого предусмотрен комплект ЗИП, задавать как требования к надёжности изделия, так и требования к ПД комплекта ЗИП [6]. Это связано с тем, что нормативные значения ПД должны рассчитываться исходя из требований к надёжности. Однако следует отметить, что не для всех ПН изделия можно вывести требования для ПД комплекта ЗИП (например, невозможно связать ПД и среднюю наработку до отказа  $T_0$ ). В этом случае при расчёте комплекта ЗИП приходится задавать требуемые значения ПД самостоятельно, но при этом теряется связь с ПН изделия.

В настоящее время широко используются два ПД: коэффициент готовности  $K_{г.зип}$  и среднее время задержки  $\Delta t_{зип}$ . Их связь с ПН изделия принято устанавливать следующим образом [1]:

$$K_{г} = K_{г.зип} \cdot K_{г\infty} \quad (1),$$

$$T_{в} = T_{в\infty} + \Delta t_{зип} \quad (2).$$

Формула (1) применима только к изделиям без резервирования, а также к изделиям, ПН которых является  $K_r$ . Для изделий с резервированием учёт ЗИП проводят путём коррекции среднего времени восстановления по известному значению ПД комплекта ЗИП (2).

Так, по действующей методике проводился расчёт комплекта ЗИП-Г для изделия МСП-418К – малогабаритная станция помех (рис. 1). Изделие является современным радиоэлектронным средством защиты самолетов тактической авиации семейства МИГ-29 на основе технологии DRFM (Digital Radio Frequency Memory – цифровая радиочастотная память). Изделие спроектировано по блочно-модульному принципу с открытой архитектурой и распределённой вычислительной системой.



**Рис. 1.** Малогабаритная станция помех МСП-418К

В ТЗ на изделие заложена необходимость создания комплекта ЗИП-Г, который рассчитан на обслуживание 10 изделий. Но при этом ПД и их нормативные значения не заданы.

Таким образом, для проведения расчётов в качестве заданного ПД был выбран коэффициент готовности  $K_{г.ЗИП-Г}^0$ . После проведения расчёта остался открытым вопрос: выполняется ли требование к заданному ПН изделия (в данном случае – наработка на отказ).

Стоит отметить, что если указывать наработку изделия с привязкой к календарному периоду эксплуатации (например: 500 ч наработки за год, или 200 ч наработки за три смены и т.д.), то указанный период эксплуатации логично использовать как параметр стратегии пополнения.

Ввиду того, что комплект ЗИП предназначен для повышения надёжности, либо поддержания на заданном уровне надёжности изделия, то необходимо учитывать ПН, заданные в ТЗ на изделие, при проектировании комплектов ЗИП. В государственном стандарте [9] имеются рекомендации по выбору ПН, которые должны задаваться при проектировании изделий в зависимости от их назначения. Поэтому ПН должен быть основным оцениваемым показателем изделия, а комплект ЗИП – одним из ресурсов его обеспечения.

Стоит отметить, что государственный стандарт [10] предусматривает периодическую корректировку комплектов ЗИП. Основанием для проведения корректировки может являться анализ статистических данных о фактическом расходе ЗЧ в процессе эксплуатации и ремонта изделий. Казалось бы, оценивая интенсивности отказов составных частей изделия по имеющейся статистике отказов, и пользуясь действующими методиками расчёта ЗИП, можно проводить обоснованную корректировку комплектов ЗИП. Однако для объектов ВТ, которые

уже длительное время находятся в эксплуатации, необходимы достаточные основания для применения экспоненциального закона распределения.

#### **4. Учёт ЗИП в модели надёжности**

Для устранения указанных недостатков можно использовать прямое включение комплекта ЗИП в модель надёжности изделия [8]. Это позволит устранить методическую погрешность, а также снимет проблему расчёта нормативных значений ПД. В этом случае ЗИП будет являться одним из ресурсов, предназначенных для повышения надёжности. Комплект ЗИП можно рассматривать как ненагруженный резерв, а модель надёжности строить с учётом:

- особенностей стратегий пополнения запасов;
- структуры обслуживаемой системы;
- структуры системы ЗИП;
- условий хранения запасов и др.

Также целесообразным представляется использование адаптивных моделей управления и прогнозирования ввиду того, что процессы расходования запасов являются случайными. Поэтому и характеристики комплектов ЗИП являются вероятностными и относятся к случайным событиям.

#### **Заключение**

Действующая методика, с учётом имеющихся ограничений и допущений, может применяться на ранних этапах проектирования для ориентировочных оценок ПД и расчётов комплектов ЗИП.

Прямое включение ЗИП в модель надёжности упростит проведение расчётов и одновременно позволит обеспечить надёжность восстанавливаемых и обслуживаемых в процессе эксплуатации изделий.

Корректировку комплектов ЗИП необходимо проводить в течение всего времени эксплуатации изделия. При этом, очевидно, что при эксплуатации в изделиях (и комплектах ЗИП) происходят деградиационные процессы. Поэтому расчёт надёжности изделия, оснащённого ЗИП, необходимо проводить с учётом этих процессов. Одним из подходов в решении этой задачи может стать создание комплексной модели, основанной на оценке закона надёжности изделия и оптимизации комплекта ЗИП относительно заданного уровня надёжности изделия, а также использование адаптивных моделей управления и прогнозирования.

#### **Литература**

- 1 ГОСТ 27.507. Надёжность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 50 с.
- 2 Тыныныка А.Н. Определение количества запасных элементов технических систем по частоте отказов / А.Н. Тыныныка // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2018. – № 2. – С. 42–44.
- 3 РД В 319.01.18-98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методики оценки и расчёта запасов в комплектах ЗИП. – Взамен РД В 50-503-84; введ. 1999-07-15. – 2000. – 59 с.
- 4 Шишмарев Ю.В. Надёжность технических систем: учебник для студ. высш. учеб.заведений / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 304 с.
- 5 Линвиненко Р.С. Анализ использования показательного распределения в теории надёжности технических систем / Р.С. Литвиненко, Р.Г. Идиятуллин,

- А.Э. Аухадеев // Надёжность и качество сложных систем. – 2016. – № 2 (14). – С. 17-22.
- 6 Чуркин В.В. Оценка и оптимизация комплекта ЗИП с помощью метода статистического моделирования / В.В. Чуркин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 2(217)-3(222). – С. 79–92.
  - 7 Черкесов Г.Н. О критериях выбора комплектов ЗИП / Г.Н. Черкесов // Надёжность. – 2013. – № 2. – С. 3–18.
  - 8 Черкесов Г.Н. Проблема ЗИП и задача формирования нового раздела теории надёжности восстанавливаемых систем / Г.Н. Черкесов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – № 6-1(138). – С. 136–153.
  - 9 ГОСТ РВ 20.39.303. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к надёжности. Состав и порядок задания. – Введ. 1998-03-03. – М.: Госстандарт России. – 32 с.
  - 10 ГОСТ РВ 0015-705-2008. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Запасные части, инструменты и принадлежности. – Введ. 2008-09-18. – М.: Стандартиформ, 2009. – 16 с.