

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 Литвиненко 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.