

Н.Н. Полянский

МЕТОД НОРМИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Описан метод установления значений надежности (нормирование надежности) отдельных элементов технических систем для достижения надежности системы в целом в соответствии с требованиями ТЗ на этапах после завершения разработки предэскизного и эскизного проектов системы.

Описано метод установлення значень надійності (нормування надійності) окремих елементів технічних систем для досягнення надійності системи в цілому відповідно до вимог ТЗ на етапах після завершення розроблення передескізного й ескізного проектів системи.

Method is described of reliability levels determination (reliability rating) for separate elements of engineering systems to ensure reliability of the whole system in accordance with Requirements Specification at the phases following system initial and preliminary designs development.

Достижение заданных значений надежности системы в соответствии с требованиями ТЗ представляет технически сложную задачу. Обычно применяемые способы достижения заданного уровня надежности систем, в особенности часто применяемый способ общего резервирования системы, не всегда оправданы из-за, как правило, следующих при этом повышенных финансовых затрат, увеличения веса и габаритов систем. Сложные технические системы состоят из ряда блоков (элементов структурной схемы надежности (ССН) – рис. 1) разного уровня надежности, и достижение заданной надежности системы в целом путем пропорционального повышения надежности всех элементов или применения общего резервирования системы далеко не самый лучший способ. Низкое значение надежности системы, как правило, вызывается недостаточной надежностью отдельных ее элементов. Поэтому наиболее целесообразным методом достижения заданной надежности системы является повышение надежности именно этих элементов за счет применения электрорадиоизделий (ЭРИ) более высокого класса или применения различного вида резервирования элементов. Следует заметить, что выявление таких элементов (критичных элементов) является самой важной задачей анализа надежности технических систем. Важность такой задачи видна также из того, что выявление критичных

элементов в соответствии с действующими нормативными документами является обязательной процедурой при разработке эскизных проектов технических систем. Особенно важной задачей выявления критичных элементов становится в тех случаях, когда расчетная оценка надежности системы является заниженной по сравнению с требованиями, заданными в ТЗ. При разработке сложных технических систем, в особенности бортовой аппаратуры спутников, предусмотрен анализ видов, последствий и критичности отказов по международному [1] и межгосударственному стандартам [2]. По указанным стандартам можно выявить критичные элементы системы, однако, без определения их степени критичности, что ограничивает возможность выведения элементов из числа критичных и тем самым вносит неопределенность в выработку мероприятий по повышению надежности аппаратуры. Степень критичности элементов – это процент возможного повышения надежности системы при повышении надежности критичного элемента до уровня его полной безотказности. Разумеется, в системе такие элементы будут иметь различную степень критичности и в разной мере будут занижать ее надежность. Использование же математико-алгоритмической модели (имитационной модели [3]), имитирующей реальный процесс функционирования системы в части учета влияния

отказов ее элементов на состояние работоспособности позволяет дать оценку показателям надежности системы, в том числе выявить критичные элементы и определить степень их критичности. Совершенно очевидно, что повышение надежности аппаратуры необходимо проводить прежде всего за счет повышения надежности именно критичных элементов с учетом степени их критичности.

Задача создания аппаратуры с заданной надежностью решается на всех этапах ее разработки. Наиболее ответственным этапом является разработка эскизного проекта. В ходе эскизного проектирования определяют состав и структурное построение аппаратуры, номенклатуру применяемых ЭРИ, изготавливают опытные лабораторные образцы приборов, проводят предварительную их отработку. При этом значительные изменения в аппаратуре на данном этапе, проводимые с целью повышения ее надежности, связаны с дополнительными затратами и увеличением сроков разработки прежде всего за счет проведения повторной отработки. В связи с этим на практике стремятся повысить надежность аппаратуры ценой наименьших усилий, и в этом случае повышение надежности критичных элементов является наиболее эффективным путем достижения заданной надежности системы, а экономические показатели проекта являются зависимыми от принимаемых технических решений.

Излагаемый метод нормирования надежности наиболее применим для этапов после завершения предэскизного и эскизного проектирования системы.

Как пример, нормирование проводится по системе электроснабжения (СЭС) космических аппаратов, структурная схема которой приведена на рис. 1, на котором показан поблочный состав системы и взаимосвязь ее блоков. Система является типичной для малых КА.

При нормировании надежности критичных элементов применим принцип пропорционального повышения их надежности с постоянным коэффициентом пропорциональности k_p .

Для наиболее часто применяемых в бортовой аппаратуре КА электронных приборов наработка на отказ подчиняется экспоненциальному закону. При этом надежность нормируемого элемента определяется по формуле

$$P_i = e^{-k_p C_i \lambda_i T};$$

где $k_p C_i \lambda_i$ – значение интенсивности отказа критичного элемента в процессе моделирования; k_p – коэффициент пропорциональности; C_i – поправочный коэффициент; λ_i – номинальное значение интенсивности отказа элемента; T – заданное время наработки элемента.

Наличие критичных элементов с высокой степенью критичности, в результате чего надежность системы не достигает заданного значения, можно расценить как результат неполного использования технических возможностей по обеспечению надежности аппаратуры в ходе ее разработки. В связи с этим вполне правомочно задать поправочный коэффициент C_i обратно пропорциональным степени критичности элемента, т.е. $C_i = 1 - k_i$,

где k_i – степень критичности элемента.

Степень критичности элемента определяется по формуле

$$k_i = \frac{P_i - P_o}{P_o},$$

где P_o – значение надежности системы при номинальном значении надежности критичного элемента;

P_i – значение надежности системы при условии безотказности критичного элемента.

При проведении нормирования можно ограничиться нормированием надежности элементов с наиболее высокой степенью критичности, учитывая, что повышение надежности элементов с низкой степенью критичности может практически не сказаться на повышении надежности системы [4, 5].

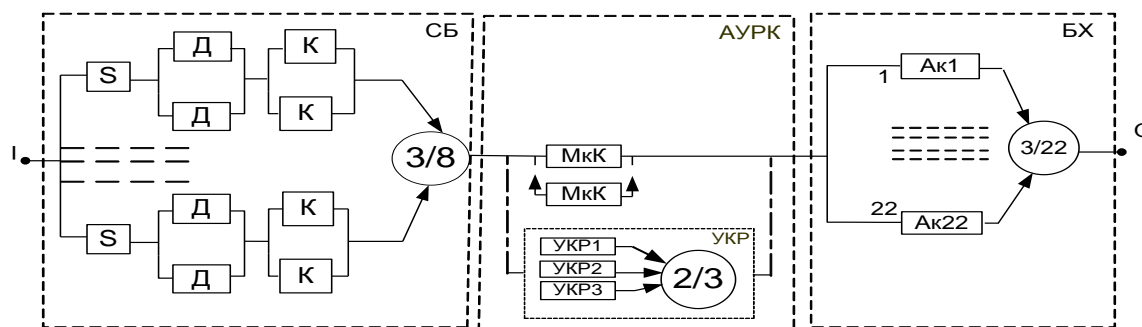


Рис. 1. Структурная схема надежности системы:

СБ – солнечная батарея; АУРК – аппаратура регулирования и контроля; БХ – химическая батарея;
 S – секция фотопреобразователей; Д – разделительный диод; К – коммутирующий элемент;
 УКР – устройство контроля и переключения резерва; MkK – микроконтроллер с сервисными устройствами; Ак – аккумулятор.

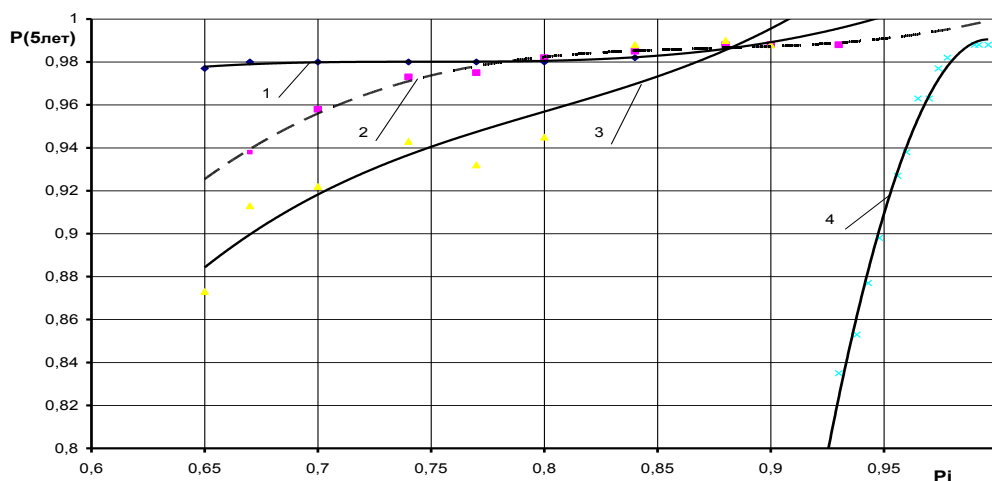


Рис. 2. Зависимость изменения надежности аппаратуры в целом (P за 5 лет) от изменения надежности ее элементов:

1 – УКР; 2 – Д, К; 3 – MkK; 4 – Ак.

Данные по надежности системы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели надежности элементов системы

Элемент	P за 5 лет
Секция СБ	0,995
Диод	0,79

Ключ	0,79
Аккумулятор	0,999
Микроконтроллер	0,77
УКР (один канал)	0,765

Отказы отдельных элементов СЭС вызывают снижение эффективности ее функционирования. Степень снижения эффективности системы при отказах элементов, характеризуемая весовыми коэффициента-

ми, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Весовые коэффициенты элементов аппаратуры

Элемент аппаратуры	Весовой коэффициент
Секция СБ	0,125
Ячейка БХ (аккумулятор)	0,12

На рис. 2 представлена зависимость изменения надежности аппаратуры от изменения надежности отдельных ее элементов. При этом учтены положения элементов в ССН аппаратуры и особенности их функционирования в системе. График демонстрирует существенное различие во влиянии надежности элементов на надежность аппаратуры.

Результаты моделирования по определению степени критичности элементов аппаратуры представлены в табл. 3.

По графику определен требуемый коэффициент пропорциональности при нормировании надежности критичных элементов ($k_p = 0,77$) для достижения заданного значения надежности системы $P_3(5л) = 0,96$.

Таблица 3

Значения параметров для критичных элементов аппаратуры при P_i ,

равном 0,905

Параметры	Значения			
	К	Д	УКР	МкК
$P(5лет)$	0,93	0,927	0,907	0,98
$k_i, \%$	0,83	0,52	0,104	2,5
C_i	0,992	0,995	0,999	0,975

$P(5лет)$ – значения надежности аппаратуры для 5 лет ее функционирования;

k_i – степень критичности элемента;

C_i – поправочный коэффициент.

Нормированные значения надежности критичных элементов для достижения заданной надежности аппаратуры представлены в табл. 4.

Таблица 4

Нормированные значения надежности критичных элементов аппаратуры

Элемент	Номинальное P_i	Нормированное P_i
Диод	0,79	0,84
Ключ	0,79	0,84
Элемент микроконтроллера	0,765	0,81
Элемент УКР	0,77	0,82

Зависимость надежности аппаратуры (P за 5 лет) от коэффициента пропорциональности приведена на графике (рис. 3).

Изменение надежности аппаратуры по времени при номинальных значениях надежности элементов аппаратуры и нормированных значениях надежности критичных элементов при коэффициенте пропорциональности $k_p = 0,77$ показано на графике (рис. 4).

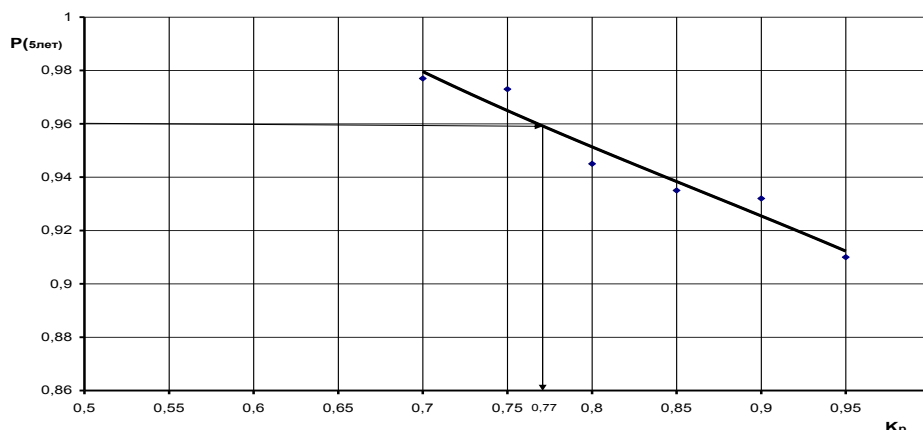


Рис. 3. Зависимость изменения надежности аппаратуры от коэффициента пропорциональности

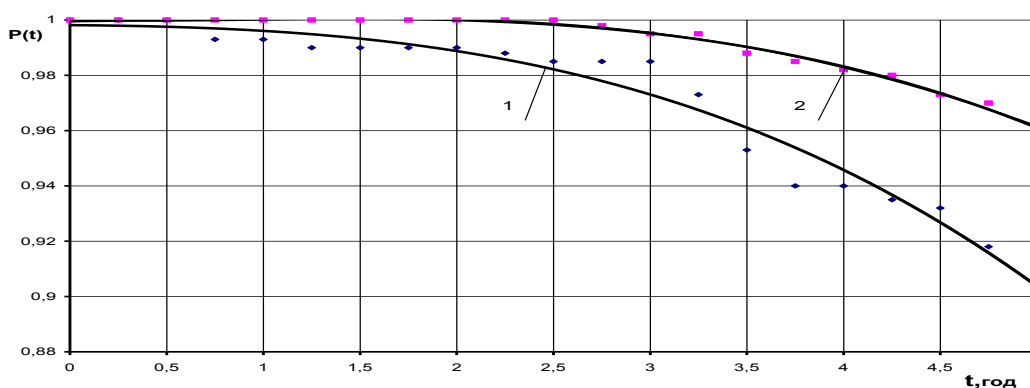


Рис. 4. Изменение надежности аппаратуры при номинальных значениях надежности ее элементов (кривая 1) и нормированных по критичным элементам (кривая 2)

Заключение

Предложенный метод нормирования надежности технических систем по критичным элементам предоставляет возможность решить задачу повышения надежности аппаратуры применением наиболее приемлемых технических решений.

Список использованной литературы

1. Анализ видов, последствий и критичности отказов: ECSS-Q-30-02A. Стандарт европейского сообщества по космической стандартизации. – 2001. – 52 с.
2. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов: ГОСТ 27.310-95. Межгосударственный стандарт. Госстандарт России. – 1997.

3. Шишенок Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – М.: Сов. радио, 1975.

4. Свичкарь И.А., Полянский Н.Н., Яремчук Н.Н. Метод анализа надежности сложных технических систем// Вестн. ДНУ. Сер. РКТ. – Вып. 16, т. 2. – 2012. – 312 с.

5. Переверзев Е.С., Даниев Ю.Ф. Испытание и надежность технических систем. – Днепропетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 1999. – 223 с.

Статья поступила 17.01.2014