

Сборник докладов на международном симпозиуме «Надёжность и качество 2004», Пенза, 2004, С. 167-171.

Антонов Ю.В., Белов В.П., Голяков А.Д.
*Научно-исследовательский институт точной механики,
г. Санкт-Петербург*

Способ расчёта показателей надёжности информационно-управляющих систем с многополюсными элементами

Одним из перспективных направлений повышения потребительского спроса и конкурентоспособности российских информационно-управляющих систем (ИУС), инвестиционной привлекательности наукоёмких технологий их создания является разработка и широкое внедрение методологии формирования математического аппарата, позволяющего оценивать обоснованно выбранные показатели надёжности. Повышенные требования, предъявляемые к надёжности современных и перспективных ИУС, совместно с существующими ограничениями на материальные ресурсы и сроки создания делают методологию оценивания надёжности одной из основных проблем, которые решаются на отечественных предприятиях-разработчиках систем управления объектов, содержащих микропроцессорные средства обработки и преобразования информации.

Современный уровень развития техники привёл к качественному изменению элементно-технологической базы, содержащей многополюсные компоненты. Многополюсные компоненты построены, как правило, на больших интегральных схемах, включающих несколько функциональных элементов. Это позволило перейти от устаревших методик проектирования ИУС к новым перспективным идеям, которые базируются на использовании блочного принципа построения структур из отдельных функциональных блоков (модулей, устройств), связанных между собой с помощью ряда шин. Шина представляет собой совокупность линий (проводников), общих для всех подключённых к ней устройств, и служит для обмена данными или обеспечения блоков электропитанием. Блочный принцип приводит к сокращению трудовых и интеллектуальных затрат на проектирование систем, а также упрощает последующие процессы наращивания и реконфигурации информационно-управляющей системы.

Применяемые в настоящее время многополюсные электронные компоненты перспективных систем управления имеют среднюю наработку до отказа от сотен тысяч до нескольких миллионов часов. Однако при использовании таких компонентов в сложных информационно-управляющих системах реально достижимой является её наработка до отказа около ста тысяч часов, что не удовлетворяет современным требованиям по продолжительности эксплуатации.

Кроме того, особую значимость имеют системы, у которых отказ отдельного элемента может оказаться «опасным». При стечении определённых обстоятельств такой отказ, являющийся угрозой безопасности [1], может привести либо к жертвам или травмам людей, либо к серьёзным экономическим, экологическим и другим нежелательным последствиям, например, к потере авторитета предприятия-разработчика или к снижению потребительского спроса производимой продукции.

Опыт разработки, создания и эксплуатации наукоёмких систем управления, накопленный в Научно-исследовательском институте «Точной механики», показывает, что наиболее эффективными способами решения задачи парирования опасных отказов являются:

- применение многополюсных элементов с высокой и сверхвысокой степенью интеграции;

- обеспечение облегченных режимов работы многополюсных элементов;

- использование мажоритарных схем типа «два из трёх», «три из четырёх» и т.п., а также схем с безопасными оконечными устройствами или иначе – схем с «несимметричными отказами»;

- совершенствование методов сборки, испытаний и эксплуатации изделий.

В теории надёжности для расчёта соответствующих показателей разработана группа хорошо зарекомендовавших и широко применяемых на практике аналитических методов. В эту группу входят:

- структурно-аналитический метод;

- логико-графические методы;

- логико-вероятностные методы;

- аналитико-статистические методы;

- аналитико-табличные методы.

Структурно-аналитический метод основан на построении структурной схемы надёжности ИУС [2, 3]. Структурная схема надёжности представляет собой логическую схему взаимодействия элементов, определяющая работоспособность ИУС. С помощью этой схемы удаётся однозначно определить состояние (работоспособное или неработоспособное) системы по состоянию (работоспособное или неработоспособное) входящих в неё элементов.

Вид структурной схемы определяется последствиями отказов элементов. В частности, если отказ любого элемента приводит к отказу ИУС, то элементы в структурной схеме соединены последовательно. Параллельное соединение характеризуется ситуацией, при которой отказ информационно-управляющей системы происходит только в случае отказа всех входящих в неё элементов.

Структурно-аналитический метод широко используется при необходимости расчёта показателей надёжности ИУС, имеющих простые

структуры. В отдельных случаях удаётся произвести расчёт показателей надёжности достаточно сложных структур, например, «мостиковых схем». Для решения этих задач используются методы прямого перебора или разложения относительно «особого элемента» [2]. Однако эти методы не всегда могут быть практически реализованы.

Основой логико-графических методов является графическое представление причинно-следственных связей логической последовательности событий, которые описывают развитие процесса, приводящего ИУС к неработоспособному состоянию. К группе этих методов относятся методы деревьев отказов и деревьев событий [4].

Сущность логико-вероятностных методов [5] заключается в использовании функций алгебры логики для аналитической записи условий работоспособности ИУС и в разработке строгих способов перехода от функций алгебры логики к вероятностным функциям, объективно выражающим свойства безотказности исследуемой системы.

Расчёт показателей надёжности ИУС аналитико-статистическим методом производится на основе информации, получаемой в процессе статистического моделирования потока отказов её элементов [6]. Погрешности оценок искомых показателей определяются числом реализаций случайного процесса.

В основу аналитико-табличного метода положен подход, который базируется на построении таблиц состояний (таблиц решений) блока [4]. Применительно к блоку, имеющему n входов и m выходов, таблица состояний включает $n + m + 1$ столбцов (табл. 1).

В строках этой таблицы приводятся все возможные варианты сочетаний технического состояния блока и состояний его входов. Поэтому число строк в таблице состояний равно $N_c = 2^{n+1}$. Например, таблица состояний трёхполюсного элемента, имеющего два резервированных входа и один выход, имеет вид, приведённый в таблице 1.

Таблица 1

S	X ₁	X ₂	Y
W	W	W	W
W	W	F	W
W	F	W	W
W	F	F	F
F	W	W	F
F	W	F	F
F	F	W	F
F	F	F	F

В таблице 1 введены следующие обозначения:
 S - техническое (внутреннее) состояние блока;
 X_i - состояние i-го входа блока (i = 1, 2);
 Y - состояние выхода блока;
 W - работоспособное состояние;
 F - неработоспособное состояние.

Вероятность работоспособного состояния выхода блока находится путём суммирования произведений вероятностей технического состояния блока и вероятностей состояний его входов, которые приведены в первых трёх строках таблицы 1. Эти строки

соответствуют таким вариантам комбинаций состояний входов и выходов, а также внутреннего состояния блока, при которых достигается работоспособное состояние его выхода. Поэтому искомая вероятность находится по формуле

$$P_Y(W) = \sum_{j=1}^3 P_Y(W_j),$$

где $P_Y(W_j)$ - вероятность j-го варианта комбинаций состояний входов и внутреннего состояния блока, при которых достигается работоспособное состояние его выхода:

$$P_Y(W_1) = P_S(W)P_{X_1}(W)P_{X_2}(W),$$

$$P_Y(W_2) = P_S(W)P_{X_1}(W)P_{X_2}(F),$$

$$P_Y(W_3) = P_S(W)P_{X_1}(F)P_{X_2}(W);$$

$P_S(W)$ - вероятность работоспособного состояния блока;

$P_{X_i}(W)$ - вероятность работоспособного состояния i-го входа блока;

$P_{X_i}(F)$ - вероятность неработоспособного состояния i-го входа блока.

Выбор метода оценивания показателей надёжности производится на основе анализа структуры информационно-управляющей системы, степени трудоёмкости процесса оценивания, опыта и квалификации исполнителей, наличия ресурсов и необходимой информации для выполнения расчёта и других факторов.

Анализ известных методов показал, что расчёт показателей надёжности систем, имеющих иерархические структуры построения и содержащих сотни многополюсных элементов, к которым подключены резервированные информационные и управляющие шины, а также шины питания, целесообразно выполнять с помощью аналитико-табличного метода. При этом конечное множество (X) состояний входов многополюсного элемента целесообразно представить в виде двух подмножеств, т.е.

$$X = V \cup Z,$$

где V - конечное подмножество состояний информационных полюсов:

$$V = \{V^1, V^2, \dots, V^a\};$$

Z - конечное подмножество состояний полюсов элемента, подключённых к источникам электрической энергии:

$$Z = \{Z^1, Z^2, \dots, Z^b\}.$$

Тогда математическая модель надёжности элемента, полюса которого подключены к резервированным информационным (входным) и управляющим (выходным) шинам, а также к резервированным шинам питания, представляется в виде

$$M = \{V, Z, S, Y, j\}, \quad (1)$$

где S - конечное множество внутренних состояний многополюсного элемента:

$$S = \{S^1, S^2, \dots, S^c\};$$

Y - конечное множество состояний управляющих (выходных) полюсов:

$$Y = \{Y^1, Y^2, \dots, Y^d\};$$

j - отображение множества $[V \times Z] \times S$ в множество Y :

$$[V \times Z] \times S \xrightarrow{j} Y.$$

Верхние индексы множеств V , Z , S и Y задаются в алфавите $[0, 1]$. Размерность индекса определяется количеством резервированных шин, подключённых к многополюсному элементу (блоку), и количеством резервированных функциональных компонентов, входящих в блок. Значение индекса множества равно нулю соответствует неработоспособному состоянию полюса или функционального компонента, а значение индекса равно единице - работоспособному состоянию.

Математической модели (1) сопоставляется таблица (матрица) состояний, реализующая отображение j . При этом таблицу состояний предлагается записывать в несколько другом (более компактном по сравнению с таблицей 1) виде, представленном в таблице 2, где $j(V^a, Z^b, S^g)$ - элемент множества Y , являющегося отображением декартова произведения множеств V , Z и S .

Каждый элемент $j(V^a, Z^b, S^g)$ множества Y представляет собой m -мерный вектор. Компонентами этого вектора являются состояния (работоспособное - W_j^x или неработоспособное - F^x) x -го управляющего полюса блока. Нижний индекс компонента W_j^x вектора $j(V^a, Z^b, S^g)$ характеризует порядковый номер работоспособного состояния x -го управляющего полюса в таблице состояний.

Таблица 2

V	Z	S				
		S^1	...	S^g	...	S^c
V^1	Z^1	$j(V^1, Z^1, S^1)$	...	$j(V^1, Z^1, S^g)$	...	$j(V^1, Z^1, S^c)$

	Z^b	$j(V^1, Z^b, S^1)$	...	$j(V^1, Z^b, S^g)$	...	$j(V^1, Z^b, S^c)$

	Z^b	$j(V^1, Z^b, S^1)$	...	$j(V^1, Z^b, S^g)$	...	$j(V^1, Z^b, S^c)$
...
V^a	Z^1	$j(V^a, Z^1, S^1)$	...	$j(V^a, Z^1, S^g)$	...	$j(V^a, Z^1, S^c)$

	Z^b	$j(V^a, Z^b, S^1)$	...	$j(V^a, Z^b, S^g)$	...	$j(V^a, Z^b, S^c)$

	Z^b	$j(V^a, Z^b, S^1)$	...	$j(V^a, Z^b, S^g)$	...	$j(V^a, Z^b, S^c)$
...
V^a	Z^1	$j(V^a, Z^1, S^1)$	...	$j(V^a, Z^1, S^g)$	...	$j(V^a, Z^1, S^c)$

	Z^b	$j(V^a, Z^b, S^1)$	...	$j(V^a, Z^b, S^g)$	...	$j(V^a, Z^b, S^c)$

	Z^b	$j(V^a, Z^b, S^1)$	...	$j(V^a, Z^b, S^g)$	...	$j(V^a, Z^b, S^c)$

Тогда, например, пятиполюсный элемент, содержащий два резервированных функциональных компонента и подключённый к двум резервированным информационным шинам, двум резервированным шинам питания и к одной управляющей шине, имеет матрицу состояний, приведённую в таблице 3.

Таблица 3

V	Z	S		
		S ¹¹	S ¹⁰	S ⁰¹
V ¹¹	Z ¹¹	W ₁ ¹	W ₈ ¹	W ₁₂ ¹
	Z ¹⁰	W ₂ ¹	W ₉ ¹	F ¹
	Z ⁰¹	W ₃ ¹	F ¹	W ₁₃ ¹
V ¹⁰	Z ¹¹	W ₄ ¹	W ₁₀ ¹	F ¹
	Z ¹⁰	W ₅ ¹	W ₁₁ ¹	F ¹
	Z ⁰¹	F ¹	F ¹	F ¹
V ⁰¹	Z ¹¹	W ₆ ¹	F ¹	W ₁₄ ¹
	Z ¹⁰	F ¹	F ¹	F ¹
	Z ⁰¹	W ₇ ¹	F ¹	W ₁₅ ¹

В этой матрице введены следующие обозначения:

W_j^1 - j-ый вариант работоспособного состояния первого выходного полюса;

F^1 - неработоспособное состояние первого выходного полюса.

Кроме того, с целью упрощения её вида, не приведены строки и столбцы, содержащие состояния информационных шин и шин питания (V^{00} и Z^{00}), а также техническое состояние пятиполюсного элемента (S^{00}), которые приводят к неработоспособному

состоянию выходного полюса.

Вероятность того, что X-ый управляющий полюс блока находится в j-ом работоспособном состоянии (W_j^x), определяется с помощью выражения:

$$P(W_j^x) = P(V^a)P(Z^b)P(S^g), \quad (2)$$

где индексы a, b и g удовлетворяют отображению $[V^a \times Z^b] \times S^g \xrightarrow{j^x} W_j^x$.

Вероятность работоспособного состояния X-го выходного полюса блока равна сумме вероятностей (2) и рассчитывается по формуле

$$P(W^x) = \sum_{j=1}^{N_p^x} P(W_j^x), \quad (3)$$

где N_p^x - количество вариантов состояний информационных полюсов, полюсов, подключённых к шинам питания, и технического состояния многополюсного элемента, приводящих к работоспособному состоянию X-го выходного полюса блока.

Например, вероятность работоспособного состояния выходного полюса блока, матрица состояний которого приведена в таблице 3, находится с помощью выражения

$$P(W^1) = \sum_{j=1}^{15} P(W_j^1) = P(V^{11})[P(Z^{11})P(S_{\Sigma}^1) + P(Z^{10})P(S_{\Sigma}^{10}) + P(Z^{01})P(S_{\Sigma}^{01})] + P(V^{10})[P(Z^{11}) + P(Z^{10})]P(S_{\Sigma}^{10}) + P(V^{01})[P(Z^{11}) + P(Z^{01})]P(S_{\Sigma}^{01}),$$

где вероятности $P(S_{\Sigma}^1), P(S_{\Sigma}^{10}), P(S_{\Sigma}^{01})$ имеют вид:

$$P(S_{\Sigma}^1) = P(S^{11}) + P(S^{10}) + P(S^{01}),$$

$$P(S_{\Sigma}^{10}) = P(S^{11}) + P(S^{10}), \quad P(S_{\Sigma}^{01}) = P(S^{11}) + P(S^{01}).$$

Показатели надёжности системы, содержащей многополюсные элементы, определяются путём последовательного расчёта вероятностей работоспособных состояний выходных полюсов блоков, находящихся на более высоком иерархическом уровне. Исходными данными для расчёта являются вероятности работоспособных состояний выходных полюсов блоков, находящихся на нижестоящем иерархическом уровне, вероятности работоспособных состояний шин питания и вероятности безотказной работы резервированных каналов многополюсного элемента.

При использовании шинной структуры построения ИУС отдельные многополюсные элементы могут быть связаны между собой не только по информационным и управляющим шинам, но и по шинам питания. Тогда математические модели (M_q) надёжности Q последовательно соединённых элементов, связанных по шинам питания, имеют вид

$$M_q = \begin{cases} \{V_1, Z, S_1, Y_1, j_1\} & \text{при } q = 1 \\ \{Y_{q-1}, S_q, Y_q, j_q\} & \text{при } q = \overline{2, Q} \end{cases}, \quad (4)$$

где j_1 - отображение множества $[V_1 \times Z] \times S_1$ в множество Y_1 :

$$[V_1 \times Z] \times S_1 \xrightarrow{j_1} Y_1,$$

j_q - отображение множества $Y_{q-1} \times S_q$ в множество Y_q :

$$Y_{q-1} \times S_q \xrightarrow{j_q} Y_q.$$

С помощью математической модели (4) строится соответствующая таблица состояний, реализующая отображение j_q , где $q = \overline{1, Q}$. На основании полученной таблицы находятся вероятности работоспособных состояний выходных полюсов:

$$P(W_q^x) = \sum_{j=1}^{N_{q,p}^x} P(W_{q,j}^x) = \begin{cases} \sum_{j=1}^{N_{q,p}^x} P(V_q^a) P(Z^b) P(S_q^g) & \text{при } q = 1 \\ \sum_{j=1}^{N_{q,p}^x} P(Y_{q-1}^a) P(S_q^g) & \text{при } q = \overline{2, Q} \end{cases},$$

где индексы α , β и γ удовлетворяют отображению

$$\begin{aligned} [V_q^a \times Z^b] \times S_q^g &\xrightarrow{j_q^x} W_{q,j}^x && \text{при } q = 1 \text{ или} \\ Y_{q-1}^a \times S_q^g &\xrightarrow{j_q^x} W_{q,j}^x && \text{при } q = \overline{2, Q}. \end{aligned}$$

Например, матрица состояний мажоритарного элемента типа «два из трёх», полученная в соответствии с отображением $[V_1^a \times Z^b] \times S_1^g \xrightarrow{j_1^1} W_{1,j}^1$, имеет вид, приведённый в таблице 4.

Таблица 4

V	Z	S			
		S ¹¹¹	S ¹¹⁰	S ¹⁰¹	S ⁰¹¹
V ¹¹¹	Z ¹¹¹	W ₁ ¹	W ₁₁ ¹	W ₁₅ ¹	W ₁₉ ¹
	Z ¹¹⁰	W ₂ ¹	W ₁₂ ¹	F ¹	F ¹
	Z ¹⁰¹	W ₃ ¹	F ¹	W ₁₆ ¹	F ¹
	Z ⁰¹¹	W ₄ ¹	F ¹	F ¹	W ₂₀ ¹
V ¹¹⁰	Z ¹¹¹	W ₅ ¹	W ₁₃ ¹	F ¹	F ¹
	Z ¹¹⁰	W ₆ ¹	W ₁₄ ¹	F ¹	F ¹
	Z ¹⁰¹	F ¹	F ¹	F ¹	F ¹
	Z ⁰¹¹	F ¹	F ¹	F ¹	F ¹
V ¹⁰¹	Z ¹¹¹	W ₇ ¹	F ¹	W ₁₇ ¹	F ¹
	Z ¹¹⁰	F ¹	F ¹	F ¹	F ¹
	Z ¹⁰¹	W ₈ ¹	F ¹	W ₁₈ ¹	F ¹
	Z ⁰¹¹	F ¹	F ¹	F ¹	F ¹
V ⁰¹¹	Z ¹¹¹	W ₉ ¹	F ¹	F ¹	W ₂₁ ¹
	Z ¹¹⁰	F ¹	F ¹	F ¹	F ¹
	Z ¹⁰¹	F ¹	F ¹	F ¹	F ¹
	Z ⁰¹¹	W ₁₀ ¹	F ¹	F ¹	W ₂₂ ¹

Вероятность работоспособного состояния выходного полюса этого блока на основании таблицы 4 рассчитывается по формуле

$$P(W^1) = \sum_{j=1}^{22} P(W_j^1) =$$

$$= P(V^{111})P(W^1/V^{111}) + P(V^{110})P(W^1/V^{110}) +$$

$$+ P(V^{101})P(W^1/V^{101}) + P(V^{011})P(W^1/V^{011}), \quad (4)$$

где условные вероятности $P(W^1/V^{111})$,

$P(W^1/V^{110})$, $P(W^1/V^{101})$ и $P(W^1/V^{011})$

имеют следующий вид:

$$P(W^1/V^{111}) = P(Z^{111})P(S_\Sigma) + P(Z^{110})P(S_\Sigma^{110}) +$$

$$+ P(Z^{101})P(S_\Sigma^{101}) + P(Z^{011})P(S_\Sigma^{011}),$$

$$P(W^1/V^{110}) = [P(Z^{111}) + P(Z^{110})]P(S_\Sigma^{110}),$$

$$P(W^1/V^{101}) = [P(Z^{111}) + P(Z^{101})]P(S_\Sigma^{101}),$$

$$P(W^1/V^{011}) = [P(Z^{111}) + P(Z^{011})]P(S_\Sigma^{011}),$$

$$P(S_\Sigma) = P(S^{111}) + P(S^{110}) + P(S^{101}) + P(S^{011}),$$

$$P(S_\Sigma^m) = P(S^{111}) + P(S^m), \quad m = 110, 101, 011.$$

Если информационные полюсы мажоритарного элемента типа «два из трёх» соединены с выходными полюсами блока нижестоящего уровня, у которого полюсы питания подключены к трём резервированным шинам питания, связанным также с полюсами питания мажоритарного элемента, то матрица состояний в соответствии с отображением $Y_2^a \times S_2^g \xrightarrow{j_2^1} W_{2,j}^1$ принимает вид, показанный в таблице 5.

Таблица 5

Y_1	S_2			
	S_2^{111}	S_2^{110}	S_2^{101}	S_2^{011}
Y_1^{111}	W_1^1	W_5^1	W_7^1	W_9^1
Y_1^{110}	W_2^1	W_6^1	F^1	F^1
Y_1^{101}	W_3^1	F^1	W_8^1	F^1
Y_1^{011}	W_4^1	F^1	F^1	W_{10}^1

Вероятность работоспособного состояния
выходного полюса мажоритарного элемента находится
в этом случае из выражения

$$P(W_2^1) = \sum_{j=1}^{10} P(W_{2,j}^1) = P(Y_1^{111})P(S_{2,\Sigma}) + \\ + P(Y_1^{110})P(S_{2,\Sigma}^{110}) + P(Y_1^{101})P(S_{2,\Sigma}^{101}) + P(Y_1^{011})P(S_{2,\Sigma}^{011}), \quad (5)$$

где вероятности работоспособных состояний резервированных выходных полюсов первого многополюсного элемента и резервированных каналов первого ($u = 1$) и мажоритарного ($u = 2$) элементов рассчитываются по формулам:

$$P(Y_1^{111}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_{1,\Sigma}),$$

$$P(Y_1^{110}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_1^{110}) + \{P(V_1^{111})P(Z^{110}) + P(V_1^{110})[P(Z^{111}) + P(Z^{110})]\}P(S_{1,\Sigma}^{110}),$$

$$P(Y_1^{101}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_1^{101}) + \{P(V_1^{111})P(Z^{101}) + P(V_1^{101})[P(Z^{111}) + P(Z^{101})]\}P(S_{1,\Sigma}^{101}),$$

$$P(Y_1^{011}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_1^{011}) + \{P(V_1^{111})P(Z^{011}) + P(V_1^{011})[P(Z^{111}) + P(Z^{011})]\}P(S_{1,\Sigma}^{011}),$$

$$P(S_{u,\Sigma}) = P(S_u^{111}) + P(S_u^{110}) + P(S_u^{101}) + P(S_u^{011}), \quad P(S_{u,\Sigma}^m) = P(S_u^{111}) + P(S_u^m), \quad u = 1, 2,$$

$$m = 110, 101, 011.$$

Способ расчёта надёжности систем, построенных с использованием шинных структур и многополюсных элементов с внутренним резервированием, как по входу, так и по выходу, а также резервированных блоков питания, реализован при оценивании показателей безотказности разработанной в НИИ «Точной механики» комплексной системы обеспечения безопасности движения и автоматизированного управления движением поездов Санкт-Петербургского метрополитена. Эта система имеет в своем составе резервированную трехканальную информационную шину, резервированную двухканальную шину управления, резервированные блоки питания, блоки с трехканальным входом и двухканальным выходом.

Конкретные результаты проведенного расчёта надёжности комплексной системы обеспечения безопасности движения поездов метрополитена, с перечнем всех функциональных блоков, размещённых на платах и стойках этой системы, представлены в монографии, которая написана учёными и сотрудниками научно-исследовательского института «Точной механики» [7]. Изложенные в монографии научные положения, подходы и пути разрешения ряда практических проблем предназначены для специалистов в области обоснования технических требований, проектирования, испытаний и эксплуатации

информационно-управляющих систем, отказы которых способны нанести вред жизни и здоровью людей, причинить материальный и экологический ущерб. Она также может быть полезна научным сотрудникам, аспирантам и студентам, в сферу научных интересов которых входят вопросы анализа надёжности и безопасности.

Разработанный способ может использоваться при оценивании надёжности сложных диагностических и информационно-измерительных систем, построенных с применением шинных структур, а также при оценивании показателей безопасности объектов, относящихся к категории изделий повышенной опасности.

Литература

1. Белов В.П., Голяков А.Д., Старков С.Я. О понятиях «надёжность» и «безопасность» технических систем с позиций разработчиков // Методы менеджмента качества, 2003, №10.
2. Надёжность технических систем: Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
3. Надёжность и эффективность в технике. Т.5. Проектный анализ надёжности: Справочник / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. – М: Машиностроение, 1988.- 316 с.
4. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Дёминой. Под общ. Ред. В.С. Сыромятникова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
5. Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем. - С-Пб.: Политехника, 2000. - 248 с.
6. Белов В.П., Голяков А.Д., Старков С.Я. Аналитико-статистический метод оценки надёжности систем управления и навигации подвижных объектов / Сборник докладов НТК «Радиолокация, навигация, связь». - Воронеж, 2003.
7. Антонов Ю.В., Белов В.П., Голяков А.Д. и др. Надёжность и безопасность информационно-управляющих систем (методы оценивания и контроля). – СПб.: ОАО «НИИ ТМ», 2004. – 326 с.