

DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-18-28
УДК 519.873

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПАССИВНО РЕЗЕРВИРОВАННЫХ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ С УЧЕТОМ ДОПУСКОВ

В. М. Гришин, Чонг Туан Ву

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Российская Федерация*

Проведено исследование безотказности пассивно резервированных подсистем летательных аппаратов с учетом допусков на уменьшение их выходных параметров при внезапных отказах элементов. Исследовано влияние величин безотказности элементов, допусков двух уровней и кратности резервирования на безотказность пассивно резервированных подсистем в целом, приведены примеры таких подсистем. Представлены результаты, учитывающие особенности подсистем летательных аппаратов с учетом допусков. В первую очередь к ним относятся наличие назначаемых по техническим условиям и реализуемых допусков, определяемых структурой резервирования; реализация каждого допуска при различных значениях кратностей резервирования; реализация основной сетки допусков методами некрatного резервирования; наличие критических вероятностей сужающих диапазон безотказности элементов, где выгоден данный вид резервирования от диапазона 0–1 до диапазона закритической области ($p_{kr} - 1$). Исследовано влияние величин безотказности элементов, допусков двух уровней и кратности резервирования на безотказность пассивно резервированных подсистем в целом и в закритических областях. Показано, что минимальные кратности резервирования в интересах повышения безотказности рассматриваемых подсистем летательных аппаратов выгодно применять только при больших допусках и низких вероятностях безотказной работы их элементов. При «жестких» допусках и любых величинах безотказности элементов, а также при больших допусках (более 25 %) высокие показатели безотказности данного класса подсистем летательных аппаратов могут быть достигнуты только при больших кратностях резервирования. Установлено, что существуют экстремальные разности безотказностей пассивно резервированной подсистемы и ее элемента, что позволяет ставить задачу разработки высоконадежных пассивно резервированных подсистем летательных аппаратов с учетом допусков из сравнительно малонадежных элементов.

Ключевые слова: безотказность подсистем, безотказность элементов, кратность резервирования, некрatное резервирование, критическая вероятность, допуск на уменьшение выходных параметров подсистем.

Для цитирования: *Гришин В. М., Чонг Туан Ву.* Исследование способов повышения безотказности пассивно резервированных подсистем управления летательными аппаратами с учетом допусков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 1. С. 18–28. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-18-28.

Введение

Безотказность пассивно резервированных подсистем летательных аппаратов (ЛА) с учетом допусков при внезапных отказах не является широко обсуждаемой темой в теории надежности. Однако потребности практики требуют глубокого и всестороннего исследования данного вопроса. Предметом рассмотрения в данной работе являются пары подсистем, связанные между собой по выходному/входному параметру W .

Особенностью первой подсистемы является недопустимость даже кратковременных перебоев в работе и неудовлетворение требованиям по ее безотказности. Это приводит к необходимости введения в нее избыточности методами кратного и некрatного резервирования. Особенностью второй подсистемы является возможность отклонения ее входного параметра W в меньшую сторону в пределах допуска, определяемого конструкторско-технической документацией. Структура пассивного резервирования первой подсистемы (общее количество

элементов n , количество основных элементов m и количество резервных элементов r) выбирается таким образом, чтобы при отказе всех ее резервных элементов обеспечивался требуемый уровень ее безотказности, при этом уменьшение ее выходного параметра W , поступающего на вход второй подсистемы, не выходило за пределы допуска.

Примерами пар связанных подсистем являются «система питания топливом – двигатель ЛА» [1], «усилитель мощности – рулевой привод», «рулевой привод – рулевое устройство контуров управления ЛА» [2], «система питания борта ЛА постоянным и переменным током – потребители электроэнергии» [3] и т. п. В качестве выходного параметра могут выступать суммарная производительность топливных насосов системы питания топливом двигателя ЛА, суммарная выходная мощность синхронных генераторов системы обеспечения переменным током борта ЛА и т. д. Так, система питания топливом, связанная с двигателем, при отказах допустимого количества топливных насосов должна обеспечивать работу двигателя на всех режимах. Аналогичная ситуация имеет место в связанных подсистемах: «усилитель мощности контура управления – рулевой привод», «рулевой привод – орган управления ЛА» и т. д.

Целью работы является поиск способов повышения безотказности пассивно резервированных подсистем с учетом допусков путем исследования влияния на безотказность существенных факторов.

Постановка задачи

Обычно модель исследования составляют факторы, наиболее сильно влияющие на цель работы. Эти факторы называют существенными. Поиск путей повышения безотказности подсистем рассматриваемого класса осуществляется для удовлетворения техническим требованиям [4]. Анализ множества видимых факторов, влияющих на безотказность этих подсистем, показывает, что существенными являются три фактора: безотказность элементов резервированной подсистемы, кратность резервирования и величина допуска на отклонение ее выходного параметра.

Величина допуска на отклонение выходного параметра является дискретной величиной, определяемой структурой резервирования, т. е. параметрами n , m и r :

$$n = m + r.$$

Структуру резервирования удобно задавать параметрами n и m , т. к. они одновременно определяют не только структуру, но и кратность резервирования

$$K = n/m.$$

Допуск, задаваемый структурой резервирования, является реализуемым допуском. Его удобно задавать в относительном представлении как отношение количества резервных элементов к общему количеству элементов, %:

$$dW_p = (r/n)100.$$

Этот допуск определяет величину допустимого отклонения выходного параметра пассивно резервированной подсистемы в относительном представлении, %:

$$dW_p = (rW/nW)100,$$

где W – значение выходного параметра одного элемента пассивно резервированной подсистемы.

При разработке пассивно резервированных подсистем ЛА с учетом допусков реализуемый допуск dW_p должен быть не больше допуска dW_n , назначенного на смежную подсистему в соответствии с нормативно-технической документацией, т. е.

$$dW_n \geq dW_p.$$

Введем следующие обозначения. В соответствии с [6] примем в качестве критерия $P_c(t_3) = P_c$ – вероятность безотказной работы пассивно резервированной подсистемы за время выполнения

задания, а в качестве показателя безотказности элемента пассивно резервированной подсистемы $p(t_3) = p$ – вероятность его безотказной работы элемента подсистемы за время выполнения задания.

Одной из важных особенностей исследования и разработки пассивно резервированных подсистем с учетом допусков, описанных в [7], является то, что подавляющее количество реализуемых допусков обеспечивается методами некрatного резервирования и лишь очень небольшое количество реализуемых допусков обеспечивается методами кратного резервирования. Системы с некрatным резервированием характеризуются наличием так называемых критических вероятностей p_{kr} , аналогичных некоторым видам активного резервирования [8]. Значение p_{kr} определяет закритическую область ($p_{kr} - 1$), в которой безотказность резервированной подсистемы выше безотказности нерезервированной, и докритическую область ($0 - p_{kr}$), где данный вид резервирования невыгоден. Критическая вероятность является еще одним, не сразу видимым, существенным фактором, влияющим на безотказность пассивно резервированной подсистемы.

Для достижения цели, поставленной в работе, необходимо исследовать зависимость критерия от существенных параметров с учетом накладываемых ограничений. В связи с этим возникает необходимость решения задачи, которая в формализованном виде выглядит следующим образом:

$$P_c = P_c(p, m, n, dW_n, dW_p, p_{kr}) \quad (1)$$

при ограничениях

$$dW_n \geq dW_p; \quad (2)$$

$$p > p_{kr}; \quad (3)$$

$$m, n > 0, \text{ целые.}$$

Методика решения задачи

Расчет показателя (1) будем проводить по формуле биномиального закона распределения, которая справедлива как для подсистем с кратным, так и некрatным резервированием [9–13]:

$$P_c = \sum_{i=m}^n C_n^i p^i (1-p)^{n-i}.$$

Учет ограничения (2) очевиден, а для учета ограничения (3) необходимо определить правую границу (ПГ) и левую границу интервала изменения вероятностей элементов пассивно резервированной подсистемы. Правая граница зависит от допуска и определяется теми значениями вероятностей элементов, при которых показатели безотказности элементов достигают значений, близких 0,99. Левая граница определяется критической вероятностью, зависящей от величины допуска и кратности резервирования, которые взаимосвязаны друг с другом. Исследуем эту взаимосвязь, т. к. от нее зависят результаты решения задачи.

Рассмотрим дискретный ряд реализуемых допусков, образуемых при $r = 1$ и варьировании m от 1 до 9. Он имеет вид: 50,0 %; 33,3 %; 25,0 %; 20,0 %; 16,7 %; 14,3 %; 12,5 %; 11,1 %; 10,0 %. Назовем этот ряд допусками первого уровня. Аналогичный ряд дискретных реализуемых допусков при $r = 2$ имеет вид: 66,7 %; 50,0 %; 40,0 %; 33,3 %; 28,6 %; 25,0 %; 22,2 %; 20,0 %; 18,2 %. Назовем этот ряд допусками второго уровня. Рассмотренные ряды образуют основную сетку допусков, ибо соответствуют наименьшим структурам резервирования, т. к. с ростом r резко возрастает общее количество элементов n .

Рассмотренная сетка допусков соответствует минимальным кратностям резервирования. Дело в том, что каждый реализуемый допуск может быть представлен возрастающим рядом индивидуальных кратностей, начиная с минимальной. Например, допуск 50,0 % первого уровня реализуется индивидуальными кратностями $K_1 = 2/1$, $K_2 = 4/2$, $K_3 = 6/3$ и т. д. Допуск 33,3 % первого уровня реализуется индивидуальными кратностями резервирования $K_1 = 3/2$, $K_2 = 6/4$, $K_3 = 9/6$ и т. д. Допуск 40,0 % второго уровня реализуется индивидуальными кратностями $K_1 = 5/3$, $K_2 = 10/6$, $K_3 = 15/9$ и т. д.

Это обстоятельство позволяет проводить расчеты показателя (1) для каждого допуска при различных индивидуальных кратностях, свойственных данному допуску, и, следовательно, при различных структурах пассивного резервирования, выявляя степень влияния структуры резервирования на принятый показатель.

Следует отметить, что величина $K_1 = 2/1 = 2$ при допуске 50,0 % соответствует случаю кратного резервирования, поэтому она записана в виде целого значения. Остальные величины кратностей соответствуют некрatному резервированию, поэтому они записаны в виде дробных значений. Повторяющиеся (с допусками первого уровня) допуски второго уровня соответствуют вторым элементам возрастающих рядов индивидуальных кратностей допусков первого уровня, поэтому в дальнейшем исключим их из рассмотрения.

В связи с необходимостью проведения исследований в диапазоне вероятностей $p > p_{kr}$, а p_{kr} , как показано в [7], зависит от кратностей резервирования и величин реализуемых допусков, сначала для каждого допуска необходимо определить максимальное значение критической вероятности:

$$p_{kr.m} = \max_i p_{kr}(K_i).$$

Величина $p_{kr.m}$ определяет начальные значения варьируемых вероятностей в диапазоне ($p_{kr.m} - \Pi$). Как показали предварительные расчеты, Π диапазона меняется в зависимости от допуска от 0,750 до 0,970. В этом диапазоне для каждого допуска будем задавать 7 примерно равномерно распределенных вероятностей элементов пассивно резервированной подсистемы для анализа поведения P_c .

Результаты решения поставленной задачи

В соответствии с изложенной методикой проведем исследование показателя безотказности пассивно резервированной подсистемы.

Результаты подготовки исходных данных и расчеты по ним показателя P_c для допусков первого и второго уровня представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Значения безотказности P_c подсистем в зависимости от кратности K_i , вероятностей элементов p и реализуемых допусков первого уровня dW_p

Допуск, dW_p , %	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - \Pi$)						
		0,470	0,500	0,550	0,600	0,650	0,700	0,750
50,0	$K_1 = 2$	0,719	0,750	0,797	0,840	0,877	0,910	0,937
	$K_3 = 6/3$	0,598	0,656	0,745	0,821	0,883	0,929	0,962
	$K_5 = 10/5$	0,547	0,623	0,738	0,834	0,905	0,953	0,980
	$K_7 = 14/7$	0,515	0,605	0,741	0,850	0,925	0,968	0,990
	$K_9 = 18/9$	0,491	0,593	0,747	0,865	0,940	0,979	0,995
33,3	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - \Pi$)						
		0,691	0,725	0,750	0,775	0,800	0,825	0,850
	$K_1 = 3/2$	0,773	0,815	0,844	0,871	0,896	0,919	0,939
	$K_3 = 9/6$	0,709	0,785	0,834	0,878	0,914	0,944	0,966
	$K_5 = 15/10$	0,695	0,791	0,852	0,901	0,939	0,966	0,983
	$K_7 = 21/14$	0,691	0,803	0,870	0,921	0,957	0,979	0,992
$K_9 = 27/18$	0,692	0,816	0,887	0,937	0,970	0,987	0,996	
25,0	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - \Pi$)						
		0,796	0,815	0,830	0,845	0,860	0,875	0,890
	$K_1 = 4/3$	0,813	0,842	0,863	0,884	0,903	0,921	0,938
	$K_3 = 12/9$	0,784	0,833	0,868	0,898	0,925	0,947	0,965
	$K_5 = 20/15$	0,791	0,850	0,890	0,923	0,949	0,969	0,982
	$K_7 = 28/21$	0,803	0,869	0,911	0,943	0,966	0,982	0,991
$K_9 = 36/27$	0,816	0,886	0,927	0,957	0,977	0,989	0,996	

Значения безотказности P_c подсистем в зависимости от кратности K_i , вероятностей элементов p и реализуемых допусков первого уровня dW_p

Допуск, dW_p , %	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,871	0,880	0,890	0,900	0,910	0,920	0,930
20,0	$K_1 = 5/4$	0,873	0,888	0,903	0,919	0,933	0,946	0,958
	$K_3 = 15/12$	0,882	0,904	0,926	0,944	0,960	0,973	0,982
	$K_5 = 25/20$	0,906	0,929	0,950	0,967	0,979	0,988	0,993
	$K_7 = 35/28$	0,926	0,948	0,967	0,980	0,989	0,994	0,998
	$K_9 = 45/36$	0,942	0,962	0,978	0,988	0,994	0,997	0,999
16,8	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,917	0,925	0,930	0,935	0,940	0,945	0,950
	$K_1 = 6/5$	0,917	0,931	0,939	0,947	0,954	0,961	0,967
	$K_3 = 18/15$	0,943	0,959	0,967	0,974	0,980	0,985	0,989
	$K_5 = 30/25$	0,966	0,978	0,984	0,988	0,992	0,995	0,997
	$K_7 = 42/35$	0,979	0,988	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999
14,3	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,943	0,947	0,951	0,955	0,959	0,963	0,967
	$K_1 = 7/6$	0,944	0,951	0,957	0,963	0,969	0,975	0,980
	$K_3 = 21/18$	0,971	0,977	0,982	0,987	0,990	0,993	0,995
	$K_5 = 35/30$	0,987	0,990	0,993	0,996	0,997	0,998	0,999
	$K_7 = 49/42$	0,994	0,996	0,998	0,999	0,999	1,000	1,000
12,5	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,958	0,960	0,962	0,964	0,966	0,968	0,970
	$K_1 = 8/7$	0,958	0,962	0,965	0,969	0,972	0,975	0,978
	$K_3 = 24/21$	0,983	0,968	0,988	0,990	0,992	0,993	0,995
	$K_5 = 40/35$	0,994	0,995	0,996	0,997	0,998	0,998	0,999
	$K_7 = 56/49$	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000
	$K_9 = 72/63$	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Таблица 2

Значения безотказности P_c подсистем в зависимости от кратности K_i , вероятностей элементов p и реализуемых допусков второго уровня dW_p

Допуск, dW_p , %	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,610	0,650	0,690	0,730	0,770	0,810	0,850
40,0	$K_2 = 5/3$	0,700	0,765	0,823	0,874	0,916	0,949	0,973
	$K_4 = 15/9$	0,640	0,755	0,849	0,918	0,963	0,986	0,996
	$K_6 = 25/15$	0,626	0,771	0,881	0,950	0,984	0,996	0,999
	$K_8 = 35/21$	0,620	0,789	0,907	0,969	0,993	0,999	0,999
	$K_{10} = 45/27$	0,618	0,806	0,926	0,980	0,997	0,999	0,999
28,6	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,691	0,725	0,750	0,775	0,800	0,825	0,850
	$K_2 = 7/5$	0,746	0,816	0,869	0,913	0,949	0,974	0,990
	$K_4 = 21/15$	0,723	0,840	0,913	0,961	0,986	0,997	1,000
	$K_6 = 35/25$	0,736	0,872	0,945	0,983	0,996	1,000	1,000
	$K_8 = 49/35$	0,749	0,897	0,965	0,992	0,999	1,000	1,000
22,2	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,796	0,815	0,830	0,845	0,860	0,875	0,890
	$K_2 = 9/7$	0,844	0,880	0,917	0,947	0,970	0,986	0,992
	$K_4 = 27/21$	0,881	0,927	0,964	0,985	0,996	0,999	1,000
	$K_6 = 45/35$	0,915	0,957	0,985	0,996	0,999	1,000	1,000
	$K_8 = 63/49$	0,939	0,975	0,993	0,999	1,000	1,000	1,000
18,2	Индивидуальные кратности	7 значений вероятности элементов p в диапазоне ($p_{kr.m} - ПГ$)						
		0,871	0,880	0,890	0,900	0,910	0,920	0,930
	$K_2 = 11/9$	0,893	0,910	0,931	0,948	0,963	0,975	0,985
	$K_4 = 33/27$	0,941	0,958	0,975	0,986	0,993	0,997	0,999
	$K_6 = 55/45$	0,969	0,981	0,991	0,996	0,999	1,000	1,000
	$K_8 = 77/63$	0,983	0,991	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000
	$K_{10} = 99/81$	0,991	0,996	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000

В таблицах отражены зависимости безотказностей P_c подсистемы от величин допусков, кратностей резервирования и вероятностей элементов. Например, первая строка табл. 1 при допуске 50 % и кратности резервирования 2 показывает, как меняется P_c в зависимости от вероятностей элементов $p = 0,470; 0,500; 0,550, \dots$, а первая колонка – как меняется P_c в зависимости от кратностей 2; 6/3; 10/5, ... при вероятности элементов $p = 0,470$.

Из табл. 1 и 2 видно, что с уменьшением («ужесточением») реализуемых допусков одного уровня показатель пассивно резервированной подсистемы P_c падает при одинаковой безотказности элементов p и минимальных кратностях резервирования K_i . Например, при $dW_p = 50 \%$, $K_1 = 2$ и $p = 0,750 \rightarrow P_c = 0,937$, а при $dW_p = 33,3 \%$, $K_1 = 3/2$ и $p = 0,750 \rightarrow P_c = 0,844$. Аналогично, при $dW_p = 25,0 \%$, $K_1 = 4/3$ и $p = 0,890 \rightarrow P_c = 0,938$, а при $dW_p = 20,0 \%$, $K_1 = 5/4$ и $p = 0,890 \rightarrow P_c = 0,903$. Такая же ситуация имеет место и для реализуемых допусков второго уровня. Это объясняется тем, что при уменьшении реализуемых допусков одного уровня (при постоянном r) величины n и m растут, приближаясь друг к другу и уменьшая тем самым кратность резервирования.

Проиллюстрируем в виде графиков некоторые результаты, представленные в табл. 1 и 2 (рис. 1).

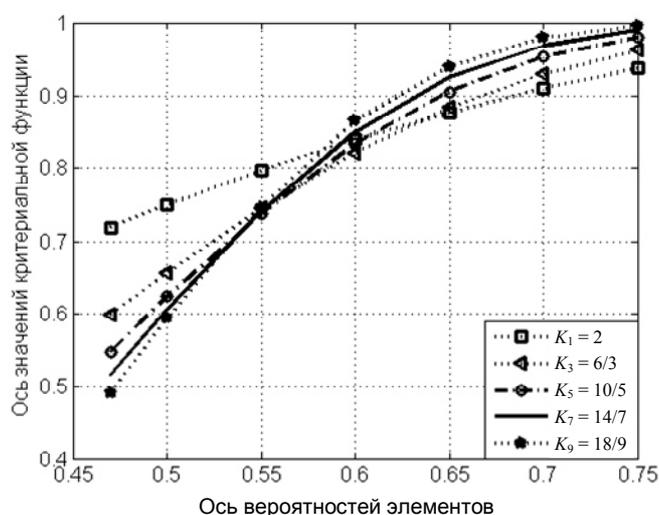


Рис. 1. Графики зависимостей показателя P_c от p для допусков первого уровня $dW_p = 50 \%$

Графики на рис. 1 демонстрируют разный характер возрастания P_c в зависимости от вероятностей элементов для различных кратностей при большом допуске $dW_p = 50 \%$.

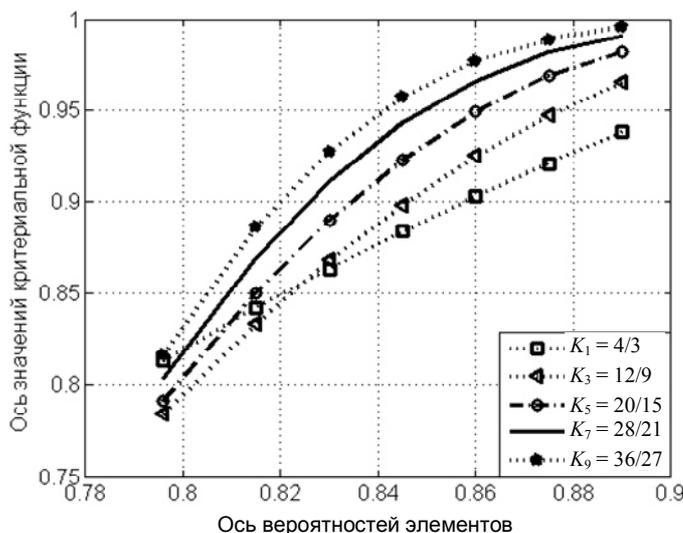


Рис. 2. Графики зависимостей показателя P_c от p для допусков первого уровня $dW_p = 25 \%$

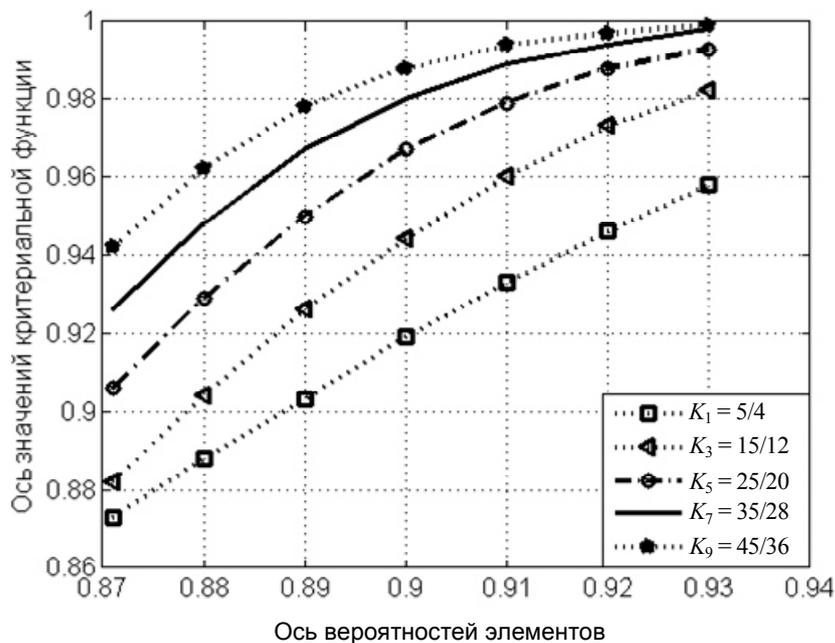


Рис. 3. Графики зависимостей показателя P_c от p для допусков первого уровня $dW_p = 20\%$

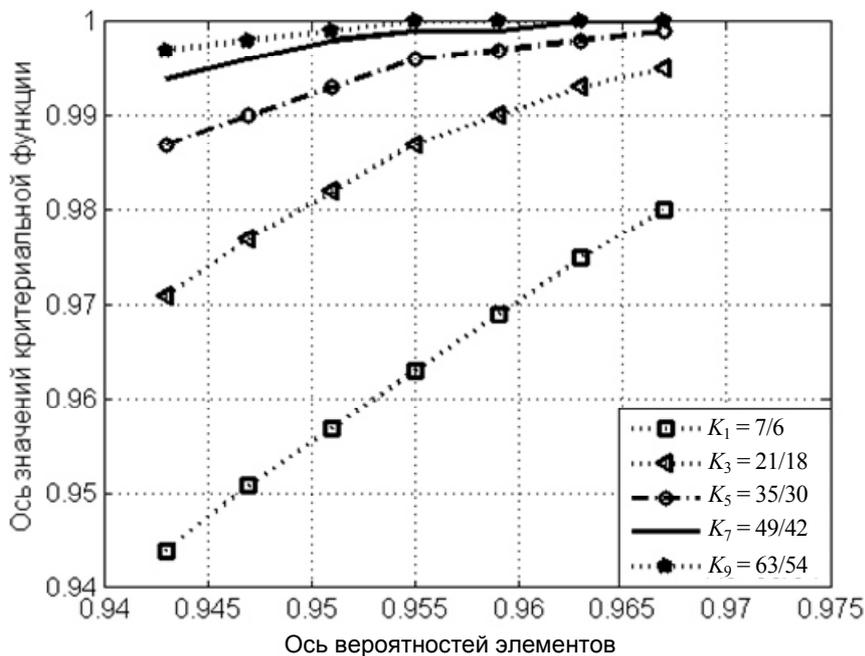


Рис. 4. Графики зависимостей показателя P_c от p для допусков первого уровня $dW_p = 14,3\%$

Зависимости P_c от вероятностей элементов становятся эквидистантными с уменьшением допусков (рис. 2–4).

Для допусков второго уровня характер зависимостей P_c от вероятностей элементов такой же, как и для допусков первого уровня (рис. 5, 6).

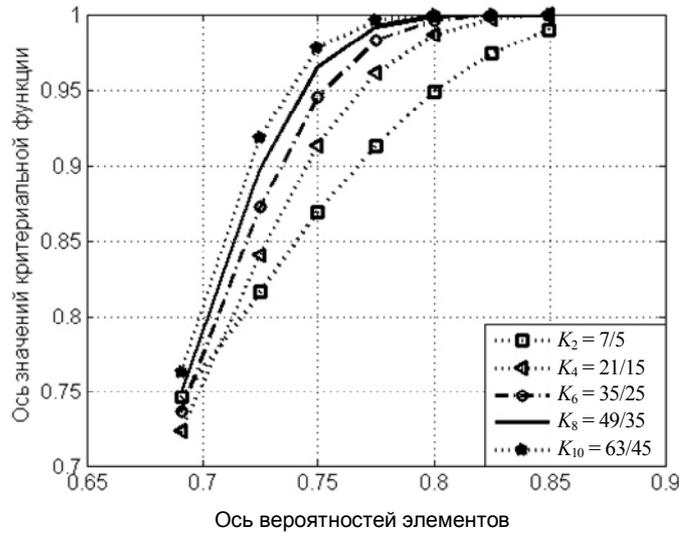


Рис. 5. Графики зависимостей показателя P_c от p для допусков второго уровня $dW_p = 28,6\%$

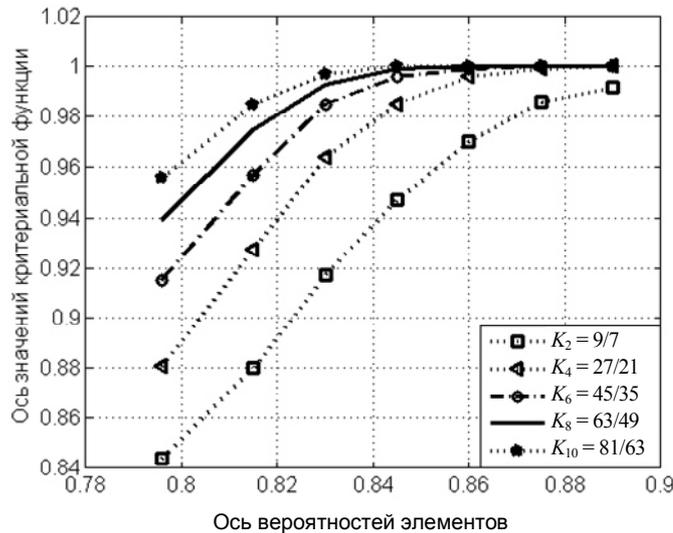


Рис. 6. Графики зависимостей показателя P_c от p для допусков второго уровня $dW_p = 22,2\%$

Зависимости показателя P_c от безотказности элементов p имеют нелинейный строго вогнутый характер при любых допусках и кратностях резервирования. Это говорит о существовании экстремума разности $(P_c - p)$, что позволяет ставить задачу разработки высоконадежных пассивно резервированных подсистем ЛА с учетом допусков из малонадежных элементов.

Выводы

На основании проведенных расчетов можно сделать следующие выводы.

1. Наряду с безотказностью элементов важнейшей характеристикой, позволяющей повысить безотказность пассивно резервированных подсистем ЛА при заданном назначенном допуске, является кратность резервирования.
2. На характер зависимости показателя P_c от кратности резервирования существенное влияние оказывают величины реализуемых допусков и безотказность элементов.
3. При реализуемых допусках менее 25 % зависимость показателя P_c от кратности всегда имеет возрастающий характер, поэтому кратность резервирования является основным средством повышения безотказности пассивно резервированных подсистем рассматриваемого класса при «жестких» допусках.

4. В диапазоне реализуемых допусков не менее 25 % в каждом допуске существуют значения безотказности элементов p , меняющих характер зависимости показателя P_c от кратности: так, при допуске $dW_p = 50$ % и безотказности элементов $p \geq 0,65$ зависимость показателя P_c от кратности всегда имеет возрастающий характер, а при $p < 0,65$ зависимость показателя P_c от кратности может как монотонно убывать, так и иметь немонотонный (сначала убывающий, а затем возрастающий) характер.

5. Минимальные величины кратностей резервирования обеспечивают наилучшие значения безотказности пассивно резервированных подсистем ЛА данного класса только при малонадежных элементах ($p < 0,6-0,7$) и больших реализуемых допусках (не менее 25,0 %). Таким образом, не существует допусков, при которых всегда выгодно применять минимальную кратность резервирования (независимо от безотказности элементов), как это утверждается в [14].

6. Повышение кратности резервирования является основным средством достижения высоких величин показателя P_c при «жестких» реализуемых допусках (менее 25,0 %) и любых значениях безотказности элементов p , а также при больших допусках (не менее 25 %) и безотказности элементов более 0,65.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцелиович Л. Л. Надежность, безотказность и живучесть самолета. М.: Машиностроение, 1985. С. 98.
2. Редько П. Г. Повышение безотказности и улучшение характеристик электрогидравлических следящих приводов. Магнитогорск: Издат. центр МГТУ «Станкин» «Янус – К», 2002. С. 59.
3. Дедков В. К., Татыев А. И. Обеспечение надежности технических объектов по стадиям их жизненного цикла. М.: Машиностроение, 2010. С. 76.
4. Справочник по надежности и эффективности в технике / под ред. В. И. Патрушева и А. И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1988. С. 38.
5. Половко А. М., Гуров С. И. Основы теории надежности. СПб.: БХВ – Петербург, 2006. С. 247.
6. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 28 с.
7. Veacheslav M., Grishin, Vu Trong Tuan. Specific features of research and development of the passive redundant subsystems of the aircraft with due consideration of tolerances // Journal of Mechanical Engineering Research & Developments (JMERE). 2018. N. 41 (4). P. 82–87.
8. Гришин В. М., Пью Маунг Ко. Оптимизация безотказности систем управления ЛА при активном нагруженном резервировании // Вестн. Моск. авиац. ин-та. 2009. Т. 16. № 5. С. 52–59.
9. Кательников В. В., Шапарь Ю. В. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. С. 22.
10. Киндеев Е. А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВГУ, 2016. С. 40.
11. Викторова В. С., Степанянц А. С. Модели и методы расчета надежности технических систем. М.: Ленанд, 2014. С. 33.
12. Третьяков А. М. Основы теории надежности. Бийск: Изд-во Алтайс. гос. техн. ун-та, 2016. С. 83.
13. Целищев В. А. Основы теории надежности. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2015. С. 43.
14. Епифанов А. Д. Надежность систем управления. М.: Машиностроение, 1975. С. 50.

Статья поступила в редакцию 14.11.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гришин Вячеслав Михайлович – Россия, 125993, Москва; Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); канд. техн. наук, доцент; преподаватель кафедры системного анализа и управления; Vyacheslav.Grishin@gmail.com.

Чонг Туан Ву – Россия, 125993, Москва; Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); аспирант кафедры системного анализа и управления; Giadinh5@gmail.com.



RESEARCH METHODS TO IMPROVE RELIABILITY OF PASSIVE REDUNDANT CONTROL SUBSYSTEMS OF AIRCRAFT WITH DUE CONSIDERATION OF TOLERANCES

V. M. Grishin, Trong Tuan Vu

*Moscow Aviation Institute (National Research University),
Moscow, Russian Federation*

Abstract. The paper studies the reliability of passively redundant subsystems of aircraft, taking into account tolerances for a decrease in their output parameters in case of sudden component failures. The influence of the reliability values of elements, tolerances of two levels and the redundancy ratio on the reliability of passively redundant subsystems as a whole have been investigated; the examples of such subsystems have been given. There have been presented the results of analysis of the aircraft subsystems features with allowance for tolerances. First of all, these include the availability of technical specifications and realized tolerances determined by the reservation structure; implementing each tolerance with different values of the multiplicities of redundancy; using the main tolerance grid by multiple backup methods; presence of critical probabilities narrowing the reliability range of the elements, where this type of reservation is beneficial from the range 0–1 to the range of the supercritical area ($p_{kr}-1$). The influence of the element reliability values, tolerances of two levels and the redundancy ratio on the failure-free operation of passively redundant subsystems in general and in supercritical areas has been investigated. It is shown that the minimum redundancy multiplicities in the interests of increasing the reliability of the considered subsystems of aircraft are advantageous to use only with large tolerances and low probabilities of failure-free operation of their elements. Under close tolerances and any reliability values of elements, as well as with large tolerances (more than 25%), high reliability values of this class of aircraft subsystems can be achieved only with large redundancy multiplicities. It has been inferred that there are extreme reliability differences of a passively redundant subsystem and its element, which allows to set the task of developing highly reliable passively redundant subsystems of aircraft taking into account tolerances from relatively unreliable elements.

Key words: reliability of subsystems, reliability of elements, multiplicity of redundancy, aliquant redundancy, critical probability, tolerance of decrease of the output parameters of subsystems.

For citation: Grishin V. M., Trong Tuan Vu. Research methods to improve reliability of passive redundant control subsystems of aircraft with due consideration of tolerances. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2020;1:18-28. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-18-28.

REFERENCES

1. Antseliovich L. L. *Nadezhnost', bezotkaznost' i zhivuchest' samoleta* [Reliability, failure-free operation and survivability of aircraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. P. 98.
2. Red'ko P. G. *Povyshenie bezotkaznosti i uluchshenie kharakteristik elektrogidravlicheskiikh slediashchikh privodov* [Increased reliability and improved performance of electro-hydraulic servo drives]. Magnitogorsk, Izdat. tsentr MGTU «Stankin» «Ianus – K», 2002. P. 59.
3. Dedkov V. K., Tatuev A. I. *Obespechenie nadezhnosti tekhnicheskikh ob"ektov po stadiiam ikh zhiznennogo tsikla* [Ensuring reliability of technical objects at the stages of their life cycles]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2010. P. 76.
4. *Spravochnik po nadezhnosti i effektivnosti v tekhnike* [Reference book on machine reliability and efficiency]. Pod redaktsiei V. I. Patrusheva i A. I. Rembezy. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. P. 38.
5. Polovko A. M., Gurov S. I. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. Saint-Petersburg, BKhV – Peterburg Publ., 2006. P. 247.
6. GOST 27.002-2015. *Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniia* [GOST 27.002-2015. Reliability of machines. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 28 p.
7. Veacheslav M., Grishin, Vu Trong Tuan. Specific features of research and development of the passive redundant subsystems of the aircraft with due consideration of tolerances. *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments (JMERE)*, 2018, no. 41 (4), pp. 82-87.
8. Grishin V. M., P'o Maung Ko. Optimizatsiia bezotkaznosti sistem upravleniia LA pri aktivnom nagruzhennom rezervirovanii [Optimization of reliability of aircraft control systems with active loaded redundancy]. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2009, vol. 16, no. 5, pp. 52-59.

9. Katal'nikov V. V., Shapar' Iu. V. *Teoriia veroiatnoستي i matematicheskaia statistika: uchebnoe posobie* [Probability theory and mathematical statistics: tutorial]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2014. P. 22.
10. Kindeev E. A. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk: uchebnoe posobie* [Teaching guide for course of lectures on reliability of technical systems and technological risk]. Vladimir, Izd-vo VGU, 2016. P. 40.
11. Viktorova V. S., Stepaniants A. S. *Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem* [Models and methods for calculating reliability of technical systems]. Moscow, Lenand Publ., 2014. P. 33.
12. Tret'iakov A. M. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Principles of reliability theory]. Biisk, Izd-vo Altai. gos. tekhn. un-ta, 2016. P. 83.
13. Tselishchev V. A. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Principles of reliability theory]. Irkutsk, Izd-vo IrGUPS, 2015. P. 43.
14. Epifanov A. D. *Nadezhnost' sistem upravleniia* [Reliability of control systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. P. 50.

The article submitted to the editors 14.11.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grishin Vyacheslav Mikhailovich – Russia, 125993, Moscow; Moscow Aviation Institute (National Research University); Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Lecturer of the Department of System Analysis and Management; Vyacheslav.Grishin@gmail.com.

Trong Tuan Vu – Russia, 125993, Moscow; Moscow Aviation Institute (National Research University); Postgraduate Student of the Department of System Analysis and Management; Giadinh5@gmail.com.

