

О. А. КУЗНЕЦОВА

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ
СТРУКТУРНО ИЗБЫТОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ АВИОНИКИ
С УЧЕТОМ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ВОССТАНОВЛЕНИЯМИ
ПРИ ОТКАЗАХ**

Представлена методика оценки надежности при проектировании структурно избыточных комплексов авионики с учетом среднего времени между восстановлениями при их отказах. Приведен сравнительный анализ моделей расчета для резервных устройств со среднестатистическими показателями надежности.

Ключевые слова: надежность, резервирование, контролепригодность.

Требования, предъявляемые к надежности комплексов авионики, определяются, как правило, безопасностью их эксплуатации и стоимостью самих систем. Безопасность изделий авионики характеризуется способностью выполнять полетное задание без угрозы для жизни и здоровья людей. Несмотря на то что безопасность не входит в общее понятие надежности, однако при определенных условиях тесно связана с этим понятием. Последствия отказов авионики в полете могут спровоцировать серьезные разрушения и потери сверх предельно допустимых норм, поэтому обеспечение безотказной работы, и как следствие, безопасности полетов является неотъемлемой задачей при проектировании систем авионики.

Известные к настоящему времени исследования по оценке надежности [1—3] носят в основном теоретический характер, что применимо при разработке большой номенклатуры технических систем. Однако изделия авионики отличаются отдельными специфическими параметрами и условиями применения, которые недостаточно отражены в литературе.

Отличительной особенностью систем авионики является невозможность восстановления бортовой аппаратуры сразу же после отказа, так как отказ может иметь место в полете или в периоды между техническими обслуживаниями. Однако обслуживание, осуществляемое в регламентированные периоды, позволяет восстанавливать резерв при отсутствии отказа системы в целом [4]. Таким образом, классическая формула определения среднего времени наработки на отказ в данном случае не может быть применена.

В настоящей статье в качестве основного показателя надежности рассматривается вероятность $P(t)$ безотказной работы бортовой системы. Полное восстановление системы и ее резерва выполняется в наземных условиях с периодичностью t_b , при этом восстановление осуществляется независимо от того, наступил ли полный отказ системы или вышло из строя только резервное устройство. Для анализа влияния периодичности восстановления системы, разработанной с применением резервирования, на вероятность ее безотказной работы построены графики (рис. 1), где для возможного сравнения представлена зависимость вероятности безотказной работы системы без профилактического восстановления (кривая 1); кривые 2 и 3 соответствуют вероятностям безотказной работы системы при большей и меньшей длительности между восстановлениями. Кривые 2 и 3 построены на основе предлагаемого ниже подхода.

В общем виде формулу прогнозирования вероятности безотказной работы для j полетов можно записать в виде рекуррентной функции:

$$P(t) = P_{j-1}(t)P_j(t), \quad (1)$$

где $P_{j-1}(t)$ — вероятность безотказной работы в процессе предыдущих $(j-1)$ полетов; $P_j(t)$ — вероятность безотказной работы в ходе текущего j -го полета.

В случае когда длительность t_n всех полетов одинакова, и при условии, что полет выполняется при полностью восстановленном резерве системы ($t_b = t_n$), вероятность $P_{j-1}(t)$ представляет собой произведение вероятностей для всех $(j-1)$ полетов, и функция вероятности $P(t)$ принимает следующий вид:

$$P(t) = \prod_{i=1}^{j-1} P_i(t_n)P(t) = P^{j-1}(t_n)P(t) \text{ при } j \geq 2. \quad (2)$$

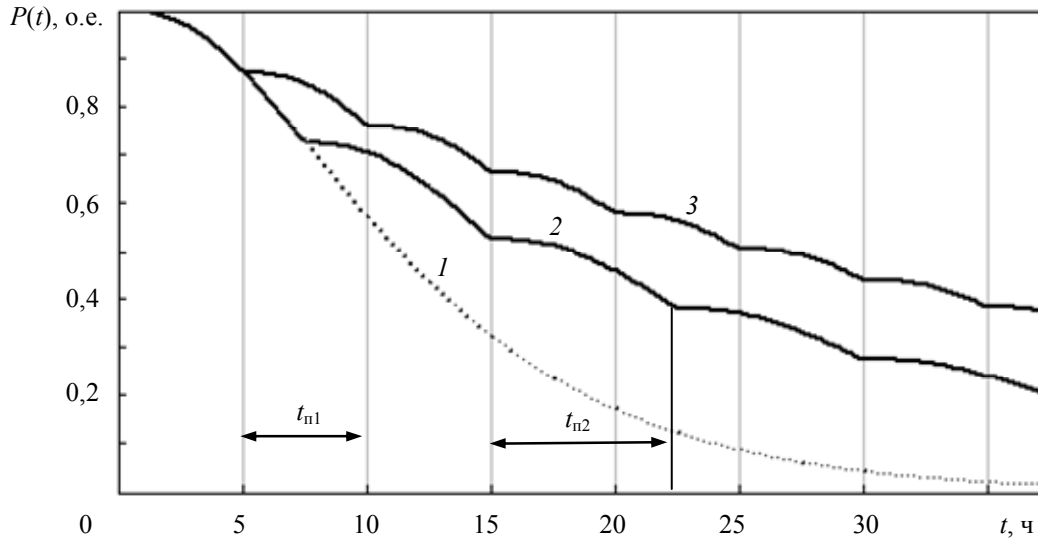


Рис. 1

Среднее время наработки на отказ вычисляется как интеграл от вероятности (площадь под кривой 2 или 3 на рис. 1):

$$T = \sum_{j=1}^{\infty} \int_0^{t_n} P^{j-1}(t_n)P(t) dt = \sum_{j=1}^{\infty} P^{j-1}(t_n) \int_0^{t_n} P(t) dt = \frac{\int_0^{t_n} P(t) dt}{1 - P(t_n)}. \quad (3)$$

Знаменатель в правой части формулы (3) характеризует вероятность $Q(t_n)$ отказа системы за время полета. При оценке вероятности $Q(t_n)$ должно учитываться возможное резервирование.

Часто используемое на практике структурное резервирование, как способ повышения безотказной работы комплексов авионики, требует точной оценки эффективности резервирования. Это связано не только с вопросами надежности, но и с экономическим аспектом разработок и эксплуатации.

В работе [5] представлена методика уточненной оценки безотказной работы систем резервирования и предложена математическая модель, отражающая возможности и надежность средств обнаружения отказов и переключающих устройств.

Рассмотрим в качестве примера расчет среднего времени наработки на отказ резервируемой группы устройств авионики, которая включает одно резервируемое и одно резервное устройства. Среднее время наработки на отказ входящих устройств $T=3000$ ч. Показатель контролепригодности — полнота контроля — принят равным $\omega=0,9$.

Для сравнительного анализа к рассмотрению приняты три варианта восстановления резервируемой группы:

- с вероятностью восстановления после каждого полета — R_b (рис. 2, кривая а);
- с полным восстановлением после каждого полета при $t_n=10$ ч (кривая б);
- без регламентированного восстановления (кривая в).

Для случая с неединичной вероятностью восстановления, в том числе вследствие нереализованного полного наземного контроля состава системы в целом, вероятность безотказной работы в ходе j -го полета определяется двумя слагаемыми: первое слагаемое определяет вероятность безотказной работы при условии, что в течение предыдущих полетов отказов не было, а если и были, то только в резервной части, и перед следующим полетом выполнялось полное восстановление с вероятностью R_B ; второе слагаемое определяется событиями, при которых после отказа резервного устройства полное восстановление не было выполнено ввиду различных возможных причин (например, отсутствия запасных устройств, недостатка времени и/или недостаточной глубины поиска мест отказов), и в результате последующий полет осуществлялся в отсутствие резерва:

$$P_j(t) = \left[\prod_i^n P_i(t_{\Pi})^{j-1} + R_B B \left(\sum_k^m O_k \right) \right]^{j-1} P_p(t) + \left[(1 - R_B) B \left(\sum_k^m O_k \right) \right]^{j-1} P_{\text{нр}}(t),$$

где $\prod_i^n P_i(t_{\Pi})$ — вероятность безотказной работы системы, состоящей из n устройств; O_k — событие отказа резервного (резервных) элемента в k -й резервируемой группе; m — количество резервируемых групп; $B \left(\sum_k^m O_k \right)$ — вероятность события, при котором за время полета произошел отказ в резервируемых группах при условии, что отказ системы в целом не произошел; $P_p(t)$, $P_{\text{нр}}(t)$ — вероятности безотказной работы системы с полным резервом и в отсутствие резерва соответственно.

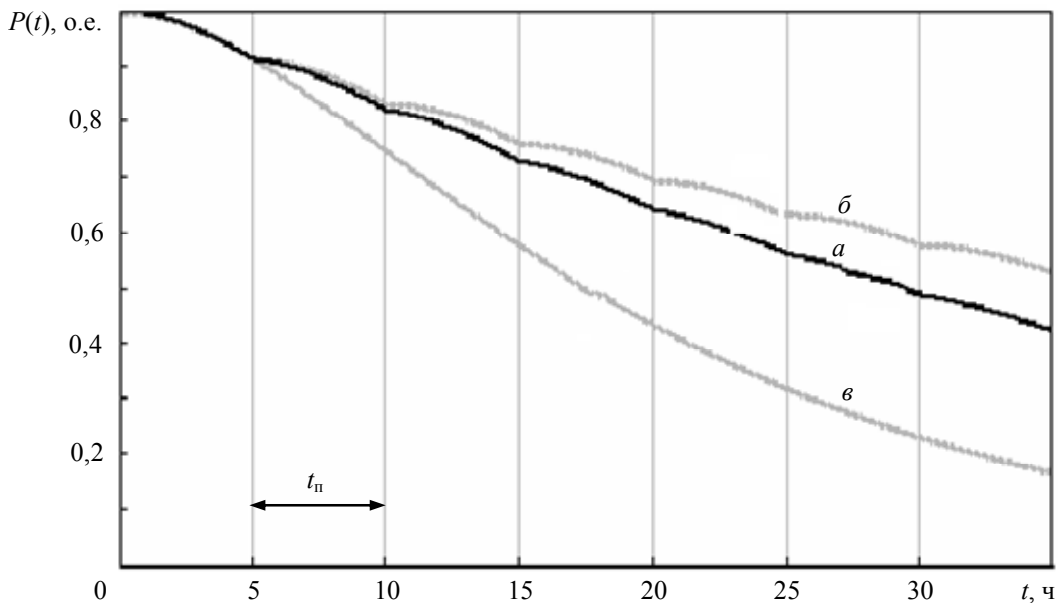


Рис. 2

Для рассматриваемого варианта „а“ вероятность безотказной работы системы определяется выражением

$$P(t) = \left(P_a^2 + 2P_a Q_a \omega R_B \right)^{j-1} P_p(t) + \begin{cases} 0 & \text{при } j = 1; \\ 2P_a Q_a \omega (1 - R_B) P_{\text{нр}}(t) & \text{при } j = 2; \\ 2P_a Q_a \omega (1 - R_B) \sum_{i=0}^k P_a^i \left(P_a^2 + 2P_a Q_a \omega R_B \right)^{k-1} P_{\text{нр}}(t), & j > 2, \end{cases} =$$

$$= W^{j-1} P_p(t) + \begin{cases} 0 & \text{при } j = 1; \\ P_a(t)V & \text{при } j = 2; \\ P_a(t)V \sum_{i=0}^k P_a^i W^{k-1}, & k = j-2 \text{ при } j > 2, \end{cases}$$

где

$$k=j-1, W = P_a^2 + 2P_a Q_a \omega R_B, V = 2P_a Q_a \omega (1 - R_B), P_p(t) = P_a^2(t) + 2P_a(t) Q_a(t) \omega;$$

$P_a = P_a(t_n)$ — вероятность безотказной работы для варианта „а“; $Q_a = Q_a(t_n)$ — вероятность отказа системы для варианта „а“.

Среднее время наработки на отказ вычисляется как интеграл от вероятности безотказной работы:

$$T = \frac{\int_0^{t_n} [P_a^2(t) + 2P_a(t) Q_a(t) \omega] dt}{1 - W} + \frac{V \int_0^{t_n} P_a(t) dt}{(1 - P_a)(1 - W)}.$$

При вероятности восстановления $R_B = 1$ график зависимости вероятности безотказной работы для варианта „а“ совпадает с графиком „б“; при отсутствии восстановления ($R_B = 0$) график для варианта „а“ совпадает с графиком для варианта „в“ (рис. 3).

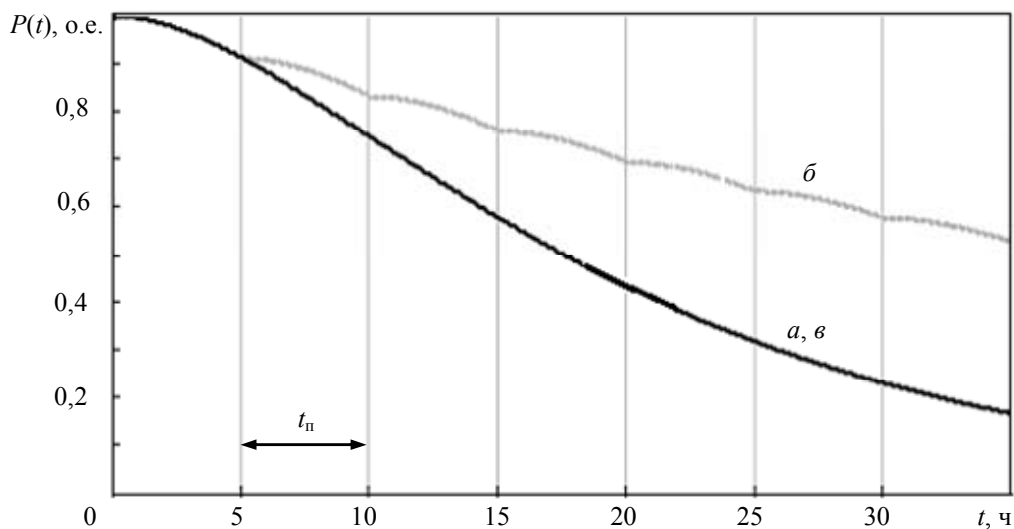


Рис. 3

По результатам расчета для рассматриваемых вариантов получены следующие значения наработок на отказ:

- а) $T_a = 8\,075$ ч (при вероятности восстановления $R_B = 0,85$);
- б) $T_b = 29\,213$ ч;
- в) $T_v = 4\,421$ ч.

Результаты проведенного анализа вариантов технического обслуживания позволяют сделать следующие выводы:

— техническое обслуживание резервируемой системы с полным ее восстановлением после каждого полета существенно повышает значение среднего времени наработки на отказ;

— применение классических формул для расчета вероятности безотказной работы резервируемых систем авионики с неполным восстановлением перед полетом ведет к завышению результатов (в рассмотренном примере более чем в 3 раза);

— понижая уровень резервирования (для повышения среднего времени наработки на отказ и повреждение), следует остановиться на уровне, выбор которого позволит в пределах

времени обслуживания обнаружить отказавшее входящее устройство с наибольшей вероятностью; целесообразно резервирование в комплексах авионики осуществлять с использованием легкоъемных блоков, нахождение отказов которых хорошо обеспечивается встроенными средствами контроля, что, в свою очередь, снижает время восстановления систем авионики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов В. Ю., Никитин В. Г., Иванов Ю. П. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов: Учеб. пособие. СПб: СПбГУАП, 2004.
2. Половко А. М. Основы теории надежности. М.: Наука, 1964.
3. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. радио, 1975.
4. Кузнецова О. А., Гатчин Ю. А., Лобов В. В. Информационное сопровождение эксплуатации по техническому состоянию изделий авионики // Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2009. Ч. 2. С. 143—147.
5. Кузнецова О. А., Гатчин Ю. А., Лобов В. В. Оценка надежности структурно избыточных изделий при проектировании сложных технических систем // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2009. Вып. 1. С. 44—52.

Сведения об авторе

Ольга Александровна Кузнецова — ФГУП „ОКБ Электроавтоматика“, Санкт-Петербург; начальник отдела надежности; E-mail: kuzola@ya.ru

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем СПбНИУ ИТМО

Поступила в редакцию
08.02.10 г.