

Р.Р. Исхаков, А.В. Леншин  
 ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
 г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а  
 andrey-lenshin@yandex.ru

### Алгоритм обеспечения требуемой надежности радиоканала бортового комплекса средств связи

Современные бортовые комплексы средств связи (БКСС) характеризуются сложностью схемотехнических решений, наличием разнообразных радиоэлектронных модулей и блоков, внедрением цифровых методов модуляции и современных сигнально-кодовых конструкций. Надежность радиоканала (РК) БКСС характеризует способность БКСС обеспечивать передачу информации (сообщений) с сохранением требуемых показателей в заданных пределах в течение заданной наработки на отказ [1, 2].

С целью обеспечения требуемой надежности элементов (узлов, модулей и блоков) РК БКСС следует использовать следующую последовательность операций.

1. Первая операция включает определение минимально допустимых значений коэффициента готовности  $K_{\Gamma}^{\min}$  или максимально допустимых значений коэффициента простоя  $K_{\Pi}^{\max}$

$$K_{\Pi}^{\max} = 1 - K_{\Gamma}^{\min} . \quad (1)$$

2. Целью второй операцией является определение допустимой (минимально допустимой) вероятности безотказной работы  $P_{БР}^{\min}(t_C)$  в течение некоторого времени  $t_C$ .

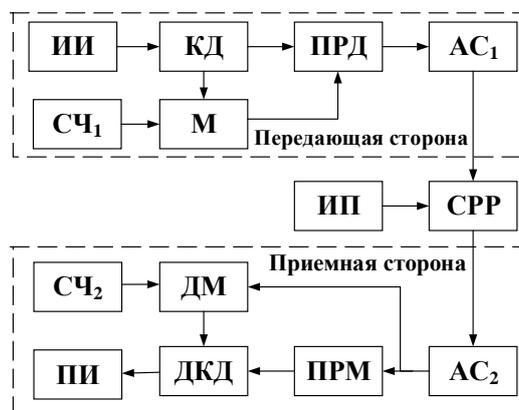
3. Третья операция включает в себя обоснование минимально допустимого значения среднего времени наработки на отказ  $T_{НО}^{\min}$  и максимально допустимого значения времени восстановления  $T_{В}^{\max}$ .

4. Четвертая операция подразумевает необходимость определения минимально допустимого значения коэффициента оперативной готовности  $K_{ОГ}^{\min}$ . При выполнении условий – 1) распределение времени безотказной работы экспоненциальное (интенсивность отказов постоянная); 2) вероятность безотказной работы объекта на интервале времени  $t_{ОГ}$  не зависит от момента начала работы ( $p(t_{ОГ}) = const$ ) – можно найти коэффициент оперативной готовности

$$K_{ОГ} = K_{\Gamma} \cdot p(t_{ОГ}) \geq K_{ОГ}^{\min} , \quad (2)$$

где  $p(t_{ОГ})$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  устройство будет работоспособно [2].

На рисунке 1 показана структурная схема РК БКСС для анализа надежности [3].



**Рис. 1.** Структурная схема радиоканала БКСС

На рисунке 1 обозначено: СЧ<sub>1</sub>, СЧ<sub>2</sub> – синтезатор частоты; ИИ – источник информации; М – модулятор; АС<sub>1</sub>, АС<sub>2</sub> – антенная система; СРР – среда распространения радиосигнала; ИП

– источник помех; ДМ – демодулятор; ПИ – получатель информации; ПРД – передатчик; ПРМ – приемное устройство; КД – кодер; ДКД – декодирующее устройство (декодер).

Принято описывать каналы связи следующими основными характеристиками: 1) типы каналов; 2) методы разделения каналов; 3) методы коммутации каналов; 4) методы управления каналами [4]. Для описания параметров среды (СРР) целесообразно использовать показатель анизотропии РК – вероятность установления соединения  $P(d, f, C)$  в направлении передачи данных  $d$  на частоте  $f$  при заданной скорости  $C$ . Воздействие преднамеренных помех на РК можно учитывать количеством пораженных (непригодных) для каждого направления передачи частот  $N_{\text{пор}}(d)$ .

Надежность РК БКСС зависит от состояния среды передачи информации и от отказов элементов технических средств, блоков, модулей и устройств, входящих в состав БКСС. Обеспечение требуемой надежности РК БКСС необходимо осуществлять в несколько этапов. На первом этапе определяется структурная схема РК БКСС без резервирования. В соответствии с (1) в зависимости от сформированных требований по надежности можно установить перечень рассчитываемых показателей надежности радиоканала

$$K_{\Pi} = \sum_{i=1}^N K_{\Pi i}, \quad (3)$$

где  $K_{\Pi i}$  – коэффициенты простоя  $i$ -го элемента РК БКСС;  $N$  – количество элементов.

Запишем выражение (3) в расширенном виде в соответствии с рис. 1

$$K_{\Pi} = K_{\Pi \text{ИИ}} + K_{\Pi \text{СЧ}_1} + K_{\Pi \text{КД}} + K_{\Pi \text{М}} + K_{\Pi \text{ПРД}} + K_{\Pi \text{АС}_1} + K_{\Pi \text{СРР}} + \\ + K_{\Pi \text{ИП}} + K_{\Pi \text{АС}_2} + K_{\Pi \text{ПРМ}} + K_{\Pi \text{ДКД}} + K_{\Pi \text{СЧ}_2} + K_{\Pi \text{ДМ}} + K_{\Pi \text{ПИ}}. \quad (4)$$

На основании структурной схемы РК БКСС (рис. 1) можно определить

$$P_{\text{БР}}(t_c) = \prod_{i=1}^N P_{\text{БР}i}(t_c), \quad (5)$$

где  $P_{\text{БР}i}(t_c)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента РК.

Выражение (5) с учетом возможной организации радиоэлектронного подавления

$$P_{\text{БР}}(t_c) = P_{\text{БРИИ}}(t_c) \cdot P_{\text{БРСЧ}_1}(t_c) \cdot P_{\text{БРКД}}(t_c) \cdot P_{\text{БРМ}}(t_c) \cdot P_{\text{БРПРД}}(t_c) \cdot P_{\text{БРАС}_1}(t_c) \cdot P_{\text{БРСРР}}(t_c) \times \\ \times P_{\text{БРИП}}(t_c) \cdot P_{\text{БРАС}_2}(t_c) \cdot P_{\text{БРПРМ}}(t_c) \cdot P_{\text{БРДКД}}(t_c) \cdot P_{\text{БРДМ}}(t_c) \cdot P_{\text{БРСЧ}_2}(t_c) \cdot P_{\text{БРПИ}}(t_c). \quad (6)$$

В зависимости от требований по надежности элементов РК, определяем

$$T_{\text{НО}} = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{1}{T_{\text{НО}i}} \right]^{-1}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{НО}i}$  – наработка на отказ  $i$ -го элемента РК. Запишем выражение (7) в соответствии с рис. 1

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_{\text{НО}i}} = \frac{1}{T_{\text{НОИИ}}} + \frac{1}{T_{\text{НОСЧ}_1}} + \frac{1}{T_{\text{НОКД}}} + \frac{1}{T_{\text{НОМ}}} + \frac{1}{T_{\text{НОПРД}}} + \frac{1}{T_{\text{НОАС}_1}} + \frac{1}{T_{\text{НОСРР}}} + \\ + \frac{1}{T_{\text{НОИП}}} + \frac{1}{T_{\text{НОАС}_2}} + \frac{1}{T_{\text{НОПРМ}}} + \frac{1}{T_{\text{НОДКД}}} + \frac{1}{T_{\text{НОДМ}}} + \frac{1}{T_{\text{НОСЧ}_2}} + \frac{1}{T_{\text{НОПИ}}}. \quad (8)$$

С учетом выражений (4), (7) и (8), можно записать

$$K_{\Pi} = \sum_{i=1}^N \frac{T_{\text{В}i}}{T_{\text{НО}i} + T_{\text{В}i}} = \frac{T_{\text{ВИИ}}}{T_{\text{НОИИ}} + T_{\text{ВИИ}}} + \frac{T_{\text{ВСЧ}_1}}{T_{\text{НОСЧ}_1} + T_{\text{ВСЧ}_1}} + \frac{T_{\text{ВКД}}}{T_{\text{НОКД}} + T_{\text{ВКД}}} + \frac{T_{\text{ВМ}}}{T_{\text{НОМ}} + T_{\text{ВМ}}} + \\ + \frac{T_{\text{ВПРД}}}{T_{\text{НОПРД}} + T_{\text{ВПРД}}} + \frac{T_{\text{ВАС}_1}}{T_{\text{НОАС}_1} + T_{\text{ВАС}_1}} + \frac{T_{\text{ВИП}}}{T_{\text{НОИП}} + T_{\text{ВИП}}} + \frac{T_{\text{ВСРР}}}{T_{\text{НОСРР}} + T_{\text{ВСРР}}} + \dots + \frac{T_{\text{ВПИ}}}{T_{\text{НОПИ}} + T_{\text{ВПИ}}}. \quad (9)$$

Структурная схема радиоканала БКСС (рис. 1) представляет собой систему без резервирования элементов [3]. Вычисленные показатели надежности с помощью выражений (4), (6),

(7), (8) и (9) сравниваются с требованиями по надежности, обоснованными и сформированными в течение четырех операций по (1), (2). Надежность радиосвязи в диапазонах 160 МГц, 460 МГц (стандарт TETRA) и 900 МГц (стандарт GSM-R) должна быть не ниже 95 % (0,95) [5].

Опыт технического обслуживания и эксплуатации авиационных средств связи, БКСС позволяет сделать однозначный вывод о том, что требования по надежности во многих случаях невозможно удовлетворить при построении (проектировании) систем без резервирования элементов (узлов, модулей, блоков, устройств). Обобщенный алгоритм обеспечения заданной надежности РК БКСС представлен на рисунке 2.

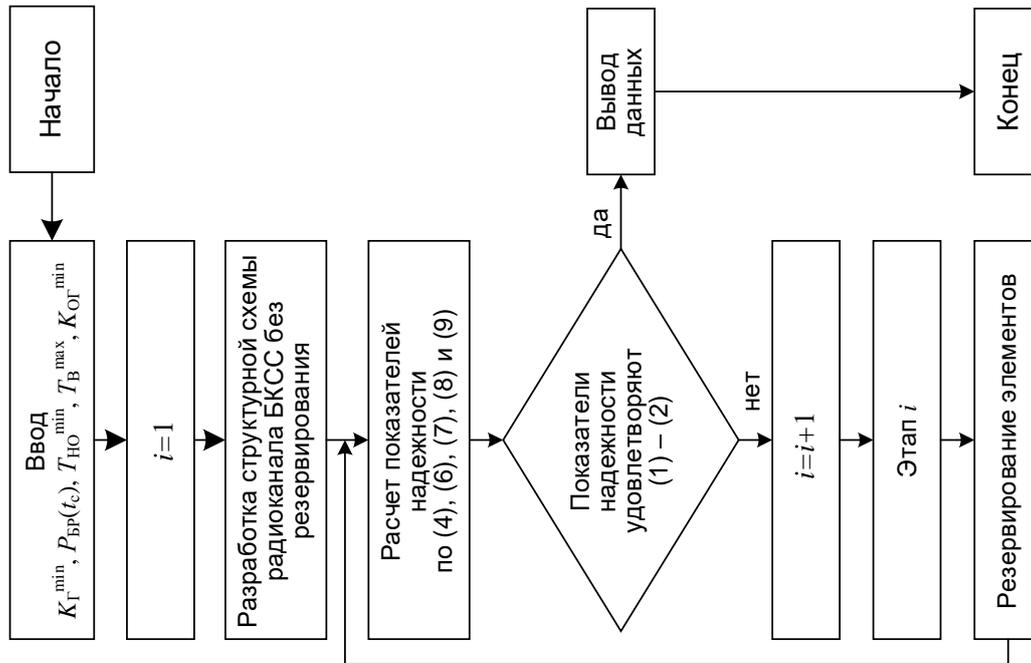


Рис. 2. Алгоритм обеспечения требуемой надежности радиоканала БКСС

Резервирование элементов структурной схемы РК БКСС необходимо осуществлять для обеспечения заданных показателей надежности РК – коэффициента простоя, вероятности безотказной работы, среднего времени наработки на отказ. Структурная схема радиоканала БКСС, с помощью которой обеспечиваются заданные показатели надежности, будет определять окончательный вариант построения радиоканала БКСС. Следует учитывать затраты на резервирование элементов структурной схемы РК, энергопотребление, а также массогабаритные и стоимостные ограничения.

### Литература:

1. Бортовые радиоэлектронные системы. Основы построения: учебное пособие / А.В. Леньшин, Н.М. Тихомиров, С.А. Попов; под ред. А.В. Леньшина. – 2 изд., перераб. и доп. – Воронеж: «Научная книга», 2021. – 486 с.
2. Тимошенко С.П., Симонов Б.М., Горошко В.Н. Основы теории надежности: учебник и практикум для вузов. – М.: Юрайт, 2022. – 445 с.
3. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи: основы теории и принципы реализации. – М. Наука, 2009. – 358 с.
4. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия–Телеком, 2022. – 518 с.
5. Нормативные значения коэффициентов готовности элементов сети. – URL: [https://studexpo.net/744479/radioelektronika/normativnye\\_znacheniya\\_koeffitsientov\\_gotovnosti\\_elementov\\_seti](https://studexpo.net/744479/radioelektronika/normativnye_znacheniya_koeffitsientov_gotovnosti_elementov_seti).