

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

Алгоритм оценки надежности авиационных систем радиосвязи с псевдослучайной перестройкой частоты

Одним из направлений защиты линий радиосвязи от преднамеренных помех в авиации является применение методов с расширением спектра, в том числе использование радиосигналов с псевдослучайной перестройкой рабочих частот (ППРЧ) [1, 2]. Важнейшим требованием к бортовым системам радиосвязи является надежность. Реализация требуемой надежности на этапе проектирования систем радиосвязи обеспечивает выполнение возлагаемых на них функций. Поэтому задача разработки алгоритма оценивания надежности авиационных систем радиосвязи с ППРЧ является актуальной. Надежность системы радиосвязи определяется:

- а) технической надежностью аппаратуры радиоэлектронных средств в составе сети авиационной радиосвязи;
- б) надежностью летно-технической эксплуатации систем радиосвязи, обусловленная квалификацией и компетентностью персонала, характеризующейся готовностью выполнять функции в различных условиях оперативно-тактической обстановки;
- в) надежностью среды распространения радиосигнала, обеспечивающей доставку радиосигнала от передающей к принимающей сторонам с требуемым качеством. На готовность среды к передаче сигнала влияют как природные факторы (дальность, препятствия, подстилающая поверхность, космические шумы, активность ионосферы и др.), так и искусственные – факторы воздействия преднамеренных (от средств радиоэлектронного подавления (РЭП) и мер противодействия) и непреднамеренных помех (от других РЭС, взаимные помехи) [3].

В качестве критериев надежности могут быть использованы критерии, которые в теории надежности применяются для анализа надежности восстанавливаемых технических систем: вероятность безотказной работы $P(t)$; среднее время безотказной работы $T_{БР}$; функция готовности $K_{Г}(t)$; коэффициент готовности $K_{Г}$; наработка на отказ T . Коэффициент готовности является наиболее понятным и удобным $K_{Г} = \lim_{T \rightarrow \infty} [T_{БР} / (T_{БР} + T_{ОТК})]$, где $T_{ОТК}$ – время, когда система находится в состоянии отказа.

Коэффициент готовности бортовой системы связи определяется как

$$K_{Г} = K_{ГТС} \cdot K_{ГТЭ} \cdot K_{ГРС} , \quad (1)$$

где $K_{ГТС}$ – коэффициент аппаратной готовности технических средств бортовой системы связи; $K_{ГТЭ}$ – коэффициент готовности персонала к летно-технической эксплуатации; $K_{ГРС}$ – коэффициент готовности среды распространения радиосигнала.

Надежность технических средств бортовой системы радиосвязи определяется надежностью всех радиостанций (РС), входящих систему радиосвязи

$$K_{ГТС} = \prod_{i=1}^N K_{ГРС(i)} , \quad (2)$$

где $K_{ГРС(i)}$ – коэффициент готовности РС, $i \in \{1 \dots N\}$; N – количество РС, при использовании в системе радиосвязи однотипных РС $K_{ГТС} = K_{ГРС}^N$.

Надежность бортовых РС определяется надежностью: приемопередатчика $K_{ГПП}$, источника питания $K_{ГИП}$, коммутирующих устройств $K_{ГКУ}$, антенной системы $K_{ГАС}$

$$K_{ГРС}^N = K_{ГПП} \cdot K_{ГИП} \cdot K_{ГКУ} \cdot K_{ГАС} . \quad (3)$$

Надежность летно-технической эксплуатации РС определяется умением и готовностью персонала выполнять свои функции $K_{ГТЭ} = \prod_{i=1}^N K_{ГТЭ(i)}$, где $K_{ГТЭ(i)}$ – коэффициент готовности персонала i -й РС. При использовании в системе радиосвязи однотипных РС

$$K_{ГТЭ} = K_{ГТЭРС}^N, \quad (4)$$

где $K_{ГТЭРС}$ – коэффициент готовности персонала (экипажа в целом или отдельных сотрудников) одной РС, может быть рассчитан на основе статистических данных, полученных в ходе учений и тренировок, либо оценен с использованием методов экспертных оценок.

Надежность среды распространения радиосигнала в системе радиосвязи определяется надежностью всех образующих ее M участков передачи сигналов между парами РС

$$K_{ГСРС} = \prod_{j=1}^M K_{ГУС(j)}, \quad (5)$$

где $K_{ГУС(j)}$ – коэффициент готовности j -го участка передачи сигналов.

Надежность среды распространения радиосигнала зависит от: условий распространения радиоволн, определяющих возможность доставки сигналов $K_{ГРРВ}$ и синхронизма ППРЧ $K_{ГППРЧ}$; работоспособности системы связи при наличии взаимных помех $K_{ГВП}$ и в условиях организации противником РЭП $K_{ГРЭП}$

$$K_{ГСРС} = K_{ГРРВ} \cdot K_{ГППРЧ} \cdot K_{ГВП} \cdot K_{ГРЭП}. \quad (6)$$

Коэффициент готовности среды к распространению радиоволн $K_{ГРРВ}$ определяется вероятностью того, что уровень сигнала в точке приема превысит требуемое значение P_{\min} ,

$$K_{ГРРВ} = W(P_C \geq P_{\min}), \quad (7)$$

где P_C – уровень мощности сигнала на входе приемника РС.

$K_{ГППРЧ}$ определяется вероятностью синхронизации ППРЧ-радиостанций в заданных условиях распространения радиоволн $K_{ГППРЧ} = W_{\text{СИНХ}}$. Расчет $W_{\text{СИНХ}}$ приведен в [1].

$K_{ГВП}$ определяется вероятностью отсутствия в текущий момент на используемой частоте взаимных помех от других РС других сетей связи $K_{ГВП} = 1 - P_{\text{ЧВКВП}}$ ($P_{\text{ЧВКВП}}$ – вероятность частотно-временного контакта (ЧВК) передаваемого сигнала с взаимными помехами). В итоге

$$K_{ГВП} = \prod_{k=1}^{N_{\text{ТП}}} (1 - P_{\text{ЧВКВП}(k)} P(S_{\text{ВП}(k)} \geq K_{\text{П}(k)} S_{\text{С}(k)})), \quad (8)$$

где $P(S_{\text{ВП}(k)} \geq K_{\text{П}(k)} S_{\text{С}(k)})$ – вероятность РЭП взаимной помехой в $k \in \{1 \dots N_{\text{ТП}}\}$ -й точке приема, $N_{\text{ТП}}$ – количество трактов передачи; $K_{\text{П}(k)}$ – коэффициент подавления в точке приема.

В случае преднамеренных помех от средств РЭП противника $K_{ГРЭП} = 1 - P_{\text{ЧВКРЭП}}$ ($P_{\text{ЧВКРЭП}}$ – вероятность ЧВК радиосигнала с преднамеренными помехами РЭП противника) и

$$K_{ГРЭП} = \prod_{k=1}^{N_{\text{ТП}}} (1 - P_{\text{ЧВКРЭП}(k)} P(S_{\text{РЭП}(k)} \geq K_{\text{П}(k)} S_{\text{С}(k)})), \quad (9)$$

где $P(S_{\text{РЭП}(k)} \geq K_{\text{П}(k)} S_{\text{С}(k)})$ – вероятность РЭП преднамеренными помехами в k -й точке приема.

Расчеты величин вероятностей ЧВК с преднамеренными помехами, вероятности РЭП и коэффициента подавления систем радиосвязи, рассмотрены в [3, 4].

Литература

1. Борисов В.И., Зинчук В.М. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход. – М.: Радио и связь, 1999. – 252 с.
2. Леньшин А.В., Тихомиров Н.М., С.А. Попов. Комплексы авиационного радиоэлектронного оборудования: учебное пособие – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. – 374 с.
3. Леньшин А.В. Бортовые системы и комплексы радиоэлектронного подавления. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. – 590 с.
4. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др. Пространственные и вероятностно-временные характеристики эффективности станций ответных помех при подавлении систем радиосвязи / Под ред. В.И. Борисова. – М: РадиоСофт, 2008. – 362 с.