

ЗАВИСИМОСТЬ НАДЕЖНОСТИ СВЯЗИ ОТ ВЫБОРА РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ИЗЛУЧАЕМОЙ МОЩНОСТИ

проф. В.П. Пашинцев, А.И. Иванников, М.Э. Солчатов, Р.П. Гахов

Разработана аналитическая методика расчета надежности связи в коротковолновом (КВ) диапазоне с допустимой достоверностью в зависимости от выбора рабочей частоты и технического фактора, определяющего эквивалентную излучаемую мощность.

Известна [1,2] методика расчета КВ радиолинии с целью определения максимальной (МПЧ) и наименьшей (НПЧ) применимых частот (т.е. границ диапазона рабочих частот $f_n \leq f_p \leq f_m$) при заданных ее технических параметрах (мощности передатчика P_1 , коэффициентах усиления передающей антенны G_1 и направленного действия приемной антенны D_2 , полосе пропускания приемника B), виде работы и требованиях к допустимой надежности связи $D_{св\ доп}$. В рамках данной методики осуществляется выбор эквивалентной излучаемой мощности $P_{э\кв} = 0,25P_1G_1D_2/B$ по рассчитываемому техническому фактору $T = \Psi(P_{э\кв})$, который определяет значение НПЧ (f_n). Следовательно, на НПЧ величина $P_{э\кв}$ достаточна для обеспечения надежности связи $D_{св}$, равной допустимой ($D_{св} = D_{св\ доп}$). Однако, рабочая частота КВ радиолинии обычно выбирается выше НПЧ ($f_p > f_n$), но не выше оптимальной рабочей частоты ($f_p \leq f_{орч}$), значение которой традиционно определяется как $f_{орч} = 0,85 f_m$ [1 – 4]. Учитывая, что повышение рабочей частоты по сравнению с НПЧ приводит к росту отношения сигнал /помеха на входе приемника (ПРМ) при неизменной $P_{э\кв}$, реализуемая в диапазоне $f_n < f_p \leq f_{орч}$ надежность связи $D_{св}$ может существенно превышать допустимое значение ($D_{св} > D_{св\ доп}$). Следовательно, в указанном диапазоне рабочих частот значение $D_{св}$ является избыточной и ее можно снизить до допустимой ($D_{св} = D_{св\ доп}$) за счет уменьшения $P_{э\кв}$. Однако, решение этой практически важной для КВ связи задачи затруднено отсутствием аналитической зависимости обеспечиваемой $D_{св}$ от выбора f_p и $T = \Psi(P_{э\кв})$.

Целью статьи является разработка методики определения аналитической зависимости надежности КВ связи $D_{св}$ от выбора рабочей частоты f_p и технического фактора $T = \Psi(P_{э\кв})$.

Условием осуществления КВ связи с достоверностью (вероятностью

ошибки $P_{\text{ош}}$) и надежностью не хуже допустимых ($P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош доп}}$, $D_{\text{св}} \geq D_{\text{св доп}}$) является обеспечение определенного отношения средних (медианных) значений мощностей сигнала и помех (\bar{P}_c / \bar{P}_n) на входе ПРМ, или напряженностей полей сигнала и помех (\bar{E}_c / \bar{E}_n) в точке приема [1,2]

$$\bar{P}_c / \bar{P}_n = (\bar{E}_c / \bar{E}_n)^2 \geq K_n^2 K_{\text{бз}}^2 K_{\text{мз}}^2, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент защиты неизменного по уровню сигнала (соответствующий $P_{\text{ош доп}}$), а $K_{\text{бз}}$ и $K_{\text{мз}}$ – коэффициенты защиты от быстрых замираний (зависящий от $P_{\text{ош доп}}$) и от медленных замираний (зависящий от $D_{\text{св доп}}$) соответственно.

Условие (1) можно записать в виде [1,2]

$$\bar{E}_c = E_c^{(1)} \sqrt{P_1 G_1 \eta_1} \geq E_n^{(1)} K_n K_{\text{бз}} K_{\text{мз}} \sqrt{B/D_2}, \quad (2)$$

где $E_c^{(1)}$ – единичное значение \bar{E}_c (при $P_1 G_1 = 1 \text{ кВт}$); η_1 – коэффициент полезного действия (КПД) фидера передающей антенны; $E_n^{(1)} = \bar{E}_n / \sqrt{B}$ – удельное значение \bar{E}_n , отнесенное к единичной полосе частот.

Для определения НПЧ ($f_p = f_n$) условие (2) представляют в виде неравенства

$$E_c^{(1)}(f_p) \geq T \cdot E_n^{(1)}(f_p), \quad (3)$$

которое может быть выражено в децибелах как

$$\left[\frac{E_c^{(1)}(f_p)}{E_n^{(1)}(f_p)} \right]_{\text{дБ}} - T_{\text{дБ}} \geq 0, \quad (4)$$

где

$$T = K_n K_{\text{бз}} K_{\text{мз}} \sqrt{B/P_1 G_1 \eta_1 D_2}. \quad (5)$$

Величина T обычно рассчитывается с учетом $\eta_1 = 1$ и потерь (0,25) от магнитоионного расщепления волны и ее поляризационного рассогласования с антенной ПРМ согласно выражению [1,2]

$$T = K_n K_{\text{бз}} K_{\text{мз}} \sqrt{B/0,25 P_1 G_1 D_2} = K_n K_{\text{бз}} K_{\text{мз}} (P_{\text{эКВ}})^{-1/2}. \quad (5')$$

Использование известных [1,2] графиков частотных зависимостей $E_c^{(1)}(f_p)_{\text{дБ}}$ и $E_n^{(1)}(f_p)_{\text{дБ}}$ позволяет после расчета $T = \text{const}$ определить НПЧ как частоту $f_p = f_n$, при которой неравенства (3, 4) преобразуются в равенство $E_c^{(1)} = T E_n^{(1)}$ (или $E_c^{(1)} / E_n^{(1)} = T$). При $f_p > f_n$ значение $E_c^{(1)} > T E_n^{(1)}$ (или $E_c^{(1)} / E_n^{(1)} > T$).

Надежность КВ связи определяется как вероятность (P) выполнения условия [3]

$$D_{\text{св}} = P(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош, доп}}) = F\left[\frac{\bar{z} - z_{\text{доп}}}{\sigma_z}\right] = F(\xi), \quad (6)$$

где $\bar{z} = 20 \lg(\bar{P}_c / \bar{P}_n) = 20 \lg(\bar{E}_c / \bar{E}_n)$; $z_{\text{доп}}$ – допустимое отношение \bar{P}_c / \bar{P}_n , определяемое при $P_{\text{ош}} = P_{\text{ош, доп}}$ в условиях быстрых замираний (БЗ); σ_z – среднеквадратическое отклонение (СКО) отношения сигнал / помеха (С / П) в условиях медленных замираний (МЗ); $F(\xi)$ – функция Лапласа.

В соответствии с (6), достижимая величина $D_{\text{св}} = F(\xi)$ будет монотонно возрастать по мере увеличения параметра $\xi = (\bar{z} - z_{\text{доп}}) / \sigma_z$. Тогда для обеспечения $D_{\text{св}} \geq D_{\text{св, доп}} = F(\xi_{\text{доп}})$ необходимо выполнить условие $\xi \geq \xi_{\text{доп}}$, которое можно представить в виде [4]

$$\bar{z} \geq \bar{z}_{\text{доп}} = z_{\text{доп}} + \xi_{\text{доп}} \sigma_z = z_n + z_{\text{бз}} + z_{\text{мз}}, \quad (7)$$

где $z_n = 20 \lg K_n$, $z_{\text{бз}} = 20 \lg K_{\text{бз}}$, $z_{\text{мз}} = 20 \lg K_{\text{мз}}$. Сравнивая условия (7) и (1), можно сделать вывод об их взаимном соответствии. Учитывая, что условие (1), в свою очередь, соответствует (4), последнее можно записать как

$$\left[\frac{E_c^{(1)}(f_p)}{E_n^{(1)}(f_p)} \right]_{\text{дБ}} - T_{\text{дБ}} = \bar{z}(f_p) - \bar{z}_{\text{доп}} \geq 0, \quad (8)$$

где, согласно (2, 5):

$$\bar{z}(f_p) = 20 \lg \left[\frac{\bar{E}_c(f_p)}{\bar{E}_n(f_p)} \right] = \left[\frac{E_c^{(1)}(f_p)}{E_n^{(1)}(f_p)} \right]_{\text{дБ}} - 20 \lg \sqrt{B/P_1 G_1 \eta_1 D_2}; \quad (9)$$

$$\bar{z}_{\text{доп}} = 20 \lg(K_n K_{\text{бз}} K_{\text{мз}}) - 20 \lg \sqrt{B/P_1 G_1 \eta_1 D_2}. \quad (10)$$

Тогда надежность КВ связи (6) в зависимости от выбора рабочей частоты (f_p) будет определяться выражением

$$D_{\text{св}}(f_p) = F[\xi(f_p)] = F\left\{ \frac{\bar{z}(f_p) - z_{\text{доп}}}{\sigma_z} \right\},$$

где, согласно (7), $z_{\text{доп}} = \bar{z}_{\text{доп}} - \xi_{\text{доп}} \sigma_z$.

Следовательно, зависимость $D_{\text{св}}(f_p)$ с учетом (8 – 10) можно представить через технический фактор T в виде

$$D_{\text{св}}(f_p) = F\left\{ \frac{\bar{z}(f_p) - \bar{z}_{\text{доп}} + \xi_{\text{доп}} \sigma_z}{\sigma_z} \right\} = F\left\{ \frac{\Delta \bar{z}(f_p)}{\sigma_z} + \xi_{\text{доп}} \right\}, \quad (11)$$

где

$$\Delta \bar{z}(f_p) = \bar{z}(f_p) - \bar{z}_{\text{доп}} = \left[\frac{E_c^{(1)}(f_p)}{E_n^{(1)}(f_p)} \right]_{\text{дБ}} - T_{\text{дБ}}. \quad (12)$$

Из (11,12) следует, что при работе на НПЧ ($f_p = f_n$), где

$$\Delta \bar{z}(f_n) = \bar{z}(f_n) - \bar{z}_{\text{доп}} = \left[E_c^{(1)}(f_n) / E_n^{(1)}(f_n) \right]_{\text{дБ}} - T_{\text{дБ}} = 0,$$

надежность КВ связи равна допустимой

$$D_{\text{св}}(f_n) = F(\xi_{\text{доп}}) = D_{\text{св.доп}}.$$

При работе на ОРЧ ($f_p = f_{\text{орч}} = 0,85 f_m$), где

$$\Delta \bar{z}(f_{\text{орч}}) = \left[E_c^{(1)}(f_{\text{орч}}) / E_n^{(1)}(f_{\text{орч}}) \right]_{\text{дБ}} - T_{\text{дБ}} > 0,$$

надежность КВ связи будет больше допустимой

$$D_{\text{св}}(f_{\text{орч}}) = F(\xi_{\text{доп}} + \Delta \bar{z}(f_{\text{орч}}) / \sigma_z) > F(\xi_{\text{доп}}) = D_{\text{св.доп}}.$$

Поэтому на ОРЧ можно обеспечить равенство $D_{\text{св}}(f_{\text{орч}}) = D_{\text{св.доп}}$

при $\Delta \bar{z}(f_{\text{орч}}) = 0$ за счет увеличения T (5) путем существенного снижения величины $P_1 G_1 \eta_1 D_2 / B$, определяющей согласно (5') эквивалентную излучаемую мощность $P_{\text{экв}} = 0,25 P_1 G_1 D_2 / B$.

Таким образом, разработана методика определения зависимости (11,12) надежности КВ связи от выбора рабочей частоты (f_p) и технического фактора (T). Ее применение на практике позволит по результатам расчета ОРЧ ($f_p = f_{\text{орч}}$) и известным графикам $E_c^{(1)}(f_p)$ и $E_n^{(1)}(f_p)$ обеспечить $D_{\text{св.доп}}$ при существенном снижении эквивалентной излучаемой мощности $P_{\text{экв}}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серков В.П., Слюсарев П. В. Теория электромагнитного поля и распространение радиоволн. Часть II. Распространение радиоволн. – Л.: ВАС, 1973. – 255 с.
2. Серков В.П. Распространение радиоволн и антенные устройства. – Л.: ВАС, 1981. – 468 с.
3. Военные системы радиосвязи. Часть 1 / Под ред. В. В. Игнатова. – Л.: ВАС, 1989. – 368 с.
4. Мешалкин В. А., Сосунов Б. В., Филиппов В. В. Поля и волны в задачах разведзащищенности и радиоэлектронной защиты систем связи. – С.-Пб.: ВАС, 1993. – 322 с.