

эффицент готовности средств узла связи к передаче информации, который зависит от наличия на узле связи свободных средств, позволяющих обеспечить информационный обмен.

Коэффициент готовности средств узла связи к передаче информации за период времени  $\Delta t$  определяется в соответствии с первой формулой Эрланга [4]:

$$K_{гсс} = 1 - \left[ \frac{(\Delta t)^L}{L!} \sum_{k=0}^L \frac{(\Delta t)^k}{k!} \right].$$

Таким образом, для оценки вероятности своевременной доставки пакета в системе связи специального назначения в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, в первую очередь противника, необходимо рассчитать устойчивость направления связи (маршрута), по которому передается пакет. Для расчета устойчивости направления связи необходимо знать устойчивость составляющих маршрут доставки пакета узлов и линий связи.

Предлагаемая методика оценки показателей своевременности доставки пакета учитывает, как внутренние параметры системы связи, которые зависят от характеристик используемого оборудования, так и от параметров внешней среды, характеризующих условия функционирования системы связи специального назначения, в том числе воздействие вероятного противника.

#### Список используемых источников

1. ОТТ 2.1.200-2010. Общие тактико-технические требования к системам военной связи. М.: 16 ЦНИИС, 2010. 41 с.
2. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 400 с.
3. Боговик А. В., Игнатов В. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. СПб.: ВАС, 2006. 184 с.
4. Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Теория телетрафика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Связь, 1979. 224 с.

## ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТАХ РАДИОСВЯЗИ

**Н.Я. Карасик, Н.О. Лукьянов, Б.В. Сосунов**

*Проведен расчет вероятности обеспечения связи с требуемым качеством при неизвестном азимуте корреспондента. Если считать, что азимут корреспондента неизвестен, а уровень помех на входе приемника постоянный, то отношение сигнал/шум на входе приемника будет случайной величиной, подчиняющейся нормальному закону. В статье представ-*

лен пример расчета вероятности обеспечения связи с требуемым качеством при размещении антенны на вагоне.

Ключевые слова: диаграмма направленности, электромагнитное поле, нормальный закон распределения случайной величины.

## PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF THE ANTENNAS MOUNTED ON MOBILE OBJECTS RADIO

Karasik N., Lukyanov N., Sosunov B.

*Calculation of the probability of communication with the desired quality at an azimuth of the reporter. If we assume that the azimuth of the unknown correspondent, and the interference level at the receiver input is constant, the signal-to-noise ratio at the receiver input is a random variable obeying a normal law. The article presents an example of calculating the probability of communication with the desired quality when placing the antenna on the car.*

*Keywords: the directional pattern, the electromagnetic field, the normal distribution law of a random variable.*

Вертикальный несимметричный вибратор при размещении над гладкой и однородной поверхностью земли в горизонтальной плоскости имеет круговую диаграмму направленности (ДН), а значит, превышение уровня сигнала над уровнем шума на входе приемника  $h$  корреспондентов, расположенных под любым азимутом, будет одинаковым.

Однако, как показали проведенные расчеты, ДН вертикального несимметричного вибратора, размещенного на подвижных объектах радиосвязи, в горизонтальной плоскости существенно отличается от круговой [1]. Например, ДН  $f(\varphi)$  штыревой антенны, размещенной на железнодорожном вагоне, нормированная относительно значения напряженности электрического поля несимметричного вибратора, расположенного над идеальнопроводящей плоскостью, для частоты 60 МГц представлена на рис. 1 [2].

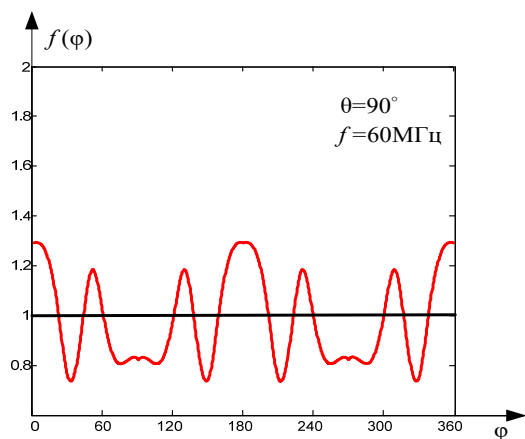


Рис. 1. Нормированная ДН вертикального несимметричного вибратора, размещенного в центре вагона

Исходя из формы диаграммы направленности антенны, размещенной на вагоне, ЭДС сигнала на входе радиоприемного устройства  $\mathcal{E}_2$  в зависимости от азимута корреспондента  $\varphi$  будет иметь случайный характер, подчиняющийся нормальному закону распределения случайной величины [5].

Мощность сигнала на входе радиоприемника  $P_2$  определяется из выражения [4]:

$$P_2 = P_1 G_1 G_2 \eta_{\phi 1} \eta_{\phi 2} W_0^2 W_T^2, \quad (1)$$

где  $P_1$  – мощность передатчика, Вт;  $G_1, G_2$  – коэффициент усиления (КУ) передающей и приемной антенны, Вт;  $\eta_{\phi 1}, \eta_{\phi 2}$  – коэффициент полезного действия (КПД) фидера передающей и приемной антенны;  $W_0 = \frac{\lambda}{4\pi r}$  – множитель ослабления свободного пространства;  $\lambda$  – длина волны, м;  $r$  – расстояние между корреспондентами, м;  $W_T$  – множитель ослабления трассы.

ЭДС полезного сигнала на входе приемного устройства  $\mathcal{E}_2$  можно рассчитать с помощью выражения [2]:

$$\mathcal{E}_2 = \sqrt{P_2 4R_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{пр}}$  – входное сопротивление приемника, Ом.

Обеспечение радиосвязи с требуемой достоверность для различных видов сигналов и режимов работы радиостанции определяется требуемым превышением значения  $\mathcal{E}_{2\text{тр}}$  над эффективным значением ЭДС шума  $\mathcal{E}_{\text{ш пр}}$  на входе радиоприемного устройства:

$$h_0 = \frac{\mathcal{E}_{2\text{тр}}}{\mathcal{E}_{\text{ш пр}}}. \quad (3)$$

В свою очередь  $\mathcal{E}_{\text{ш пр}}$ , в случае отсутствия внешних помех равна чувствительности приемника и определяется индивидуально для каждого вида сигнала [3].

При фиксированном положении излучателя на вагоне и заданной частоте, значение превышения уровня сигнала над шумом  $h$  из выражения будет зависеть только от азимута корреспондента  $\phi$ .

Для случая размещения антенны над идеально проводящей плоскостью можно записать:

$$h = \frac{\mathcal{E}_2^0}{\mathcal{E}_{\text{ш пр}}}. \quad (4)$$

При размещении антенны на вагоне превышения уровня сигнала над уровнем шума для различного азимута корреспондента будет случайной величиной, которая рассчитывается из выражения:

$$h(\varphi) = \frac{\mathcal{E}_2^0}{\mathcal{E}_{\text{ш пр}}} f(\varphi). \quad (5)$$

Вероятность обеспечения радиосвязи с требуемой достоверностью для корреспондента азимут, которого неизвестен, исходя из нормального закона распределения случайной величины, можно определить из выражения [5] %:

$$P(h(\varphi) \geq h_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (6)$$

Расчетный параметр (предел интегрирования)  $\xi$  определяется согласно выражению:

$$\xi = \frac{\overline{h(\varphi)} - h_0}{\sigma_h}, \quad (7)$$

где  $\overline{h(\varphi)}$  – среднее значение превышения уровня сигнала над уровнем шума;  $h_0$  – требуемое значение превышения уровня сигнала над уровнем шума;  $\sigma_h$  – среднеквадратическое отклонение.

Среднее  $\overline{h(\varphi)}$  можно определить из значений ДН в горизонтальной плоскости, отсчитываемых через равные интервалы азимутальных углов  $\Delta\varphi$ , то есть  $\varphi_i = i\Delta\varphi$ , где номер отсчета  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , а  $n$  – количество отсчетов.

Дисперсия рассчитывается из выражения:

$$\sigma_h^2 = \overline{h^2} - \overline{h}^2, \quad (8)$$

где  $\overline{h^2}$  – среднее значение квадратов;  $\overline{h}^2$  – квадрат среднего значения.

Получив из выражения (6)  $\xi$ , можно определить вероятность обеспечения связи с требуемой достоверностью с корреспондентом, азимут которого неизвестен, с помощью графика, представленного на рис. 2.

Для примера проведем расчет вероятности связи с достоверностью не хуже заданной с корреспондентом азимут, которого неизвестен, при работе на современной УКВ радиостанции. Расстояние до корреспондента выберем  $r_0 = 30$  км, рабочую частоту  $f = 60$  МГц. Из характеристик радиостанции известно, что  $P_1 = 100$  Вт,  $\mathcal{E}_{\text{ш пр}} = 10$  мкВ для режима работы ТЛФ ЧМ.

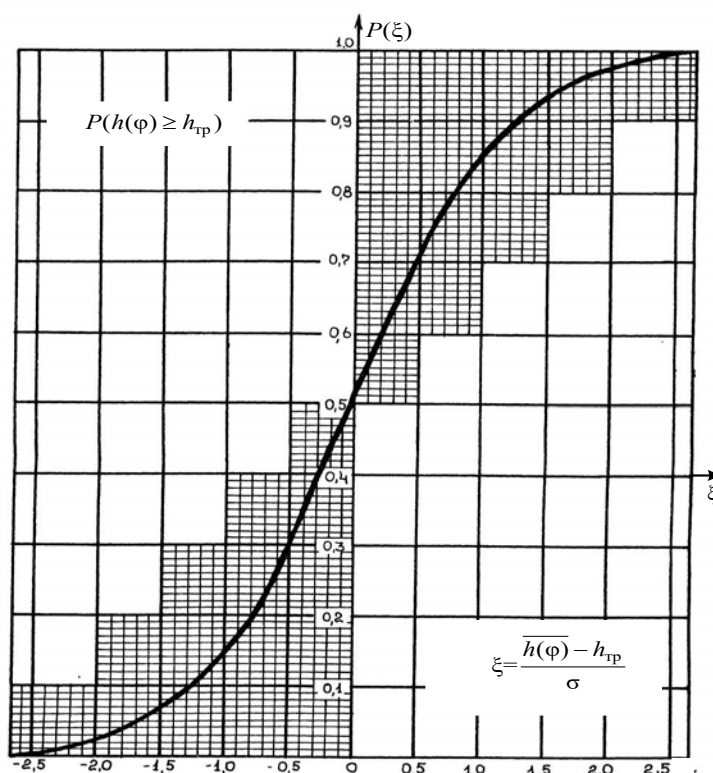


Рис. 2. Нормальный закона распределения вероятности

Для определения  $\mathcal{E}_2^0$  из выражения (5) мощность сигнала на входе радиоприемного устройства из первого уравнения радиопередачи (1) рассчитывается при  $G_1 = G_2 = 3$ ,  $\eta_{\phi 1} = \eta_{\phi 2} = 1$ . Множитель ослабления свободного пространства  $W_0 = 1,326 \cdot 10^{-5}$ , множитель ослабления трассы определяется из известных графиков [4], для однородной и гладкой поверхности земли на частоте 60 МГц составит  $W_T = 0,01$ . Тогда мощность сигнала на входе приемного устройства  $P_2 = 1,583 \cdot 10^{-11}$  Вт, а  $\mathcal{E}_2^0 = 5,627 \cdot 10^{-5}$  В.

Исходя из заданных и полученных промежуточных параметров, учитывая  $f(\varphi)$  (рис. 1), получим:

$$\sigma_h^2 = \overline{h^2} - \bar{h}^2 = 34,632 - 31,667 = 2,965.$$

Для применяемого в УКВ радиосвязи телефонного сигнала ТЛФ ЧМ рекомендованы следующие величины превышения мощности сигнала над мощностью помех на входе приемника:  $z_{\text{доп}} = 14$  дБ ( $h = 5$ ) для хорошего качества связи, или  $z_{\text{доп}} = 20$  дБ ( $h = 10$ ) для отличного качества связи [3]. Выберем  $h_0 = 5$ , тогда получим, что вероятность обеспечения связи с требуемым качеством с корреспондентом, азимут которого неизвестен, при размещении антенны

на железнодорожном вагоне составит  $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,67$ . При переходе на другой режим работы радиостанции, например слуховой телеграф, где для хорошего качества связи необходимо превышение уровня сигнала над помехой  $z_{\text{доп}} = 10$  дБ вероятность обеспечения связи с требуемым качеством составит  $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,865$ .

Если мы при тех же условиях задачи уменьшим протяженность радиотрассы до 25 км, тогда вероятность обеспечения связи с требуемым качеством с корреспондентом, азимут которого неизвестен для режима ТЛФ ЧМ составит  $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,91$ , а для слухового телеграфа  $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,97$ .

Вероятность обеспечения связи с требуемым качеством для корреспондента, азимут которого неизвестен, при размещении ненаправленных антенн на подвижных объектах радиосвязи можно повысить при переходе на другой режим работы радиостанции (например, режим слуховой телеграфии), при котором снижается требование по необходимому превышению уровня сигнала над помехой на входе приемника  $h_0$ .

Знание вероятности обеспечения связи с требуемым качеством на заданных расстояниях для корреспондента, азимут которого неизвестен, позволяет повысить надежность системы связи.

#### Список используемых источников

1. Бородулин Р. Ю., Лукьянов Н. О., Николаев В. И., Сосунов Б. В. Решение задачи дифракции на объекте сложной геометрической формы // Теория и техника радиосвязи. 2014. № 4. С. 40–45.
2. Бородулин Р. Ю., Лукьянов Н. О., Сосунов Б. В. Характеристика направленности излучателя, установленного на крыше железнодорожного вагона // Сборник трудов III Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». СПб.: СПбГУТ, 2014. С. 169–174.
3. Игнатов В. В. Военные системы радиосвязи. Ч. 1. Л.: ВАС, 1989. 356 с.
4. Мешалкин В. А., Сосунов Б. В. Основы энергетического расчета радиоканалов. Л.: ВАС, 1991.
5. Шифрин А. С. Вопросы статистической теории антенн. М.: Советское радио, 1970. 384 с.

## АЛГОРИТМ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТЕВОГО УЗЛА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

**И.В. Корнев, В.В. Лях, Н.И. Фокин**

*Только при наличии системы тактовой сетевой синхронизации (СТСС) в транспортной сети связи возможно ее Практическое функционирование с обеспечением для сетей доступа (СД) необходимого числа каналов заданного качества. При расхождении частот генераторов сетевых узлов (СУ), на которых осуществляется транзит каналов, появляются проскальзывания. Возникает необходимость разработать алгоритм тактовой синхронизации.*