УДК 621.371.32

В. В. ЕМЕЛЬЯНОВ, канд. техн. наук, *Т. П. ПЕТРУЧЕК*, канд. техн. наук

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ УКВ РАДИОКАНАЛА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНОЙ

Одним из возможных вариантов построения систем низовой радиосвязи (например, системы оповещения о цунами) может быть система, состоящая из берегового приемного пункта (БПП) и буйковой геофизической станции (БГФС), расположенной на расстоянии 100 км от побережья.

Задача анализа — оценка возможности построения такой системы, обеспечивающей связь между автоматической буйковой геофизической станцией и береговым приемным пунктом, установленным на высоте 750 м над уровнем моря.

Исходные данные для анализа: рабочая частота $f = 400$ МГц; вид модуляции — ОФМ с когерентным способом демодуляции; скорость передачи информации $B = 100$ бод; мощность передатчика БГФС $P_{пд} = 10$ Вт; вид кода — двоичный, безызбыточный; вероятность ошибки $P_{ош} = 10^{-4}$; антенна БПП — «Волновой канал» с коэффициентом усиления 8 дБ; передающая антенна БГФС — четвертьволновый вертикальный вибратор с высотой подвеса 3 м над уровнем моря.

Согласно [1] вероятность ошибки определяется выражением

$$P_{ош} = 0{,}5\left[1 - \Phi^2\left(\sqrt{2}q\right)\right], \qquad (1)$$

где $q = U_{с,\,эф}/U_{ш.\,эф}$ — отношение эффективных значений напряжений сигнал-шум на входе приемника; $\Phi(д)$ — интеграл вероятности.

Уровень сигнала на входе приемника, обеспечивающий заданную вероятность ошибки, определяется соотношением $P_{с.\,вх} = q^2 P_{ш.\,вх}$ (2) и зависит от уровня входных шумов. Как известно [2], в диапазоне 30...1000 МГц преобладают индустриальные помехи в городской и промышленной зонах, космические шумы за ее пределами. Начиная с 200 МГц и выше, существенное влияние оказывают внутренние шумы приемных устройств. Так как в рассматриваемом районе индустриальные помехи отсутствуют, то необходимо учитывать только космические и собственные тепловые шумы приемника.

Если приемная антенна не направлена на Солнце, Луну, планеты и другие дискретные космические источники [3], что имеет место в нашем случае, эквивалентная шумовая температура излучения космического пространства мала и космические шумы можно не учитывать. Таким образом, в дальнейших рассуждениях будем

учитывать только собственные шумы приемника. Тогда выражение (2) можно представить в виде

$$P_{\text{с. вх}} = q^2 nKT_0 \Delta f_{\text{п}}. \quad (3)$$

Здесь $n = 15$ — коэффициент шума приемника; $K = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц; $T_0 = 300$ К; $\Delta f_{\text{п}} = 25$ кГц — полоса пропускания приемника. Определив согласно [4] значение интеграла вероятности, из выражения (1) найдем значение параметра q: $q = 1{,}951$. Мощность входного сигнала приемника согласно (3) составит $P_{\text{с. вх}} = 0{,}582 \cdot 10^{-14}$ Вт. Следовательно, для обеспечения вероятности ошибки $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ уровень полезного сигнала на входе приемника не должен быть ниже уровня $P_{\text{с. вх}} = 0{,}582 \cdot 10^{-14}$ Вт. Для оценки возможности построения радиоканала между БГФС и береговым приемным пунктом необходимо установить уровень сигнала, создаваемый передатчиком БГФС на входе приемника БПП, и сравнить с величиной, полученной согласно выражению (3). Уровень сигнала на входе приемника БПП можно найти согласно первому уравнению передачи при связи на УКВ [5]: $P_{\text{с. вх}} = P_{\text{пд}}/A$ **(4)**, где A — полные потери сигнала на трассе.

$$A = (4\pi r_0/\lambda)^2/\eta_{\Phi_1}\eta_{\Phi_2}G_1G_2V_{\text{мин}}. \quad (5)$$

Здесь λ — рабочая длина волны; r_0 — расстояние между БГФС и БПП; $\eta_{\Phi 1}\eta_{\Phi 2}$ — КПД передающего и приемного фидеров; G_1G_2 — коэффициент усиления приемной и передающей антенн; $V_{\text{мин}}$ — множитель ослабления, учитывающий реальные условия распространения радиоволн. Для определения множителя ослабления следует построить продольный профиль интервала и определить тип трассы. Профиль интервала строится относительно условного нулевого уровня, описываемого параболой [6]:

$$Z = r_0 r(1 - r/r_0)/2R, \quad (6)$$

где r_0 — расстояние между БГФС и БПП; r — расстояние от БПП до точки, в которой получают величину Z; R — радиус Земли.
При анализе необходимо учитывать то обстоятельство, что трасса проходит над водной поверхностью океана, которая может быть как спокойной, так и взволнованной.

Из рисунка продольного профиля трассы, который здесь не приводится, следует, что точка отражения находится на расстоянии 4 км от БГФС. Тогда относительная координата точки отражения $K = r/r_0 = 0{,}96$. Просвет H_0, при котором напряженность поля в точке приема равна напряженности поля свободного пространства, определяется выражением [6]

$$H_0 = \sqrt{r_0 \lambda K(1 - K)/3}. \quad (7)$$

Приращение просвета $\Delta H(g)$ за счет влияния климатических условий [6] равно $\Delta H(g) = -(r_0^2/4)\ gK(1 - K)$ **(8)**, где g — вертикальный градиент диэлектрической проницаемости. Для данного района [6] в наиболее неблагоприятные летние месяцы $g = -11 \cdot 10^{-8}$ 1/М.

Просвет с учетом климатических условий $H(g)$ определяется выражением $H(g) = H(0) + \Delta H(g)$ **(9)**, в котором $H(0)$ — просвет, определяемый из продольного профиля трассы без учета влияния g.

В результате проведенных расчетов получены следующие значения:

$$К = 0{,}96;\ H_0 = 31\ м;\ \Delta H(g) = 10{,}5\ м;\ H(0) = H = 4\ м.$$

Полученные соотношения показывают, что при высоте волны порядка 4 м трасса полуоткрытая, больше 4 м — закрытая. Следовательно, расчет множителя ослабления необходимо произвести для полуоткрытой и закрытой трасс. На полуоткрытых и закрытых трассах множитель ослабления имеет монотонный характер, обусловленный процессом дифракции радиоволн [6]. Множитель ослабления с учетом реального рельефа местности определяется с помощью приближенных методов. Они основаны на результатах работ В. А. Фока по теории дифракции радиоволн с учетом аппроксимации реальных препятствий на трассе сферами, радиус которых определяется конкретным видом препятствия. В длинноволновой части дециметрового диапазона и на метровых волнах для нахождения множителя ослабления рекомендуется рассчитать контур минимальной существенной зоны и построить его относительно прямой передающая антенна — приемная антенна [6]. Построив контур минимальной существенной зоны, получим параметры аппроксимирующей сферы Γ и ΔY хорды и высоты сегмента аппроксимирующей сферы, определяющие радиус этой сферы μ.

Значения μ с учетом геометрических характеристик трассы находятся произведением $\mu = \mu_0 \mu(g)$ **(10)**, в котором

$$\mu_0 \approx \sqrt[6]{64\pi\alpha/3}\,\sqrt[3]{К^2(1-К)^2/L};$$
$$\mu(g) = \sqrt[3]{1 - d\Delta p(g)}\,\sqrt[4]{1 + dp(g)/1 - d\Delta p(g)};$$
$$\alpha = \Delta Y/H_0;\ L = \Gamma/\Gamma_0;\ d = L^2/4\alpha К(1-К);$$
$$\Delta p(g) = \Delta H(g)/H_0;\ p(g) = H(g)/H_0.$$

Для полуоткрытой трассы имеем $\alpha = 0{,}322$; $d = 2{,}095$; $L = 0{,}322$; $\Delta p(g) = 0{,}34$; $p(g) = 0{,}469$; $\mu(g) = 1$; $\mu = 0{,}334$. Следовательно, $\mu \approx \mu_0 = 0{,}334$. Для закрытой трассы $d = 2{,}095$; $\Delta p(g) = 0{,}34$; $p(g) = 0{,}276$; $\mu_0 \approx 0{,}334$; $\mu(g) = 0{,}871$; $\mu = 0{,}29$. Известно [6], что на полуоткрытых и закрытых трассах множитель ослабления существенно зависит от величины дифракции радиоволн вокруг препятствий, имеющихся на трассе, причем в точку приема будет попадать только прямая волна. Множитель ослабления, дБ, рассчитывается по дифракционной формуле $V = V_0$ дБ $[1 - p(g)]$ **(11)**, где V_0дБ — значение модуля множителя ослабления на касательной трассе $(H = 0)$ — определяется по [6] в зависимости от параметра μ и при $p(g) = 0$. Для полуоткрытой трассы $V_0 = -42$ дБ, для закрытой $V_0 = -47$ дБ. Тогда множитель ослабления для полуоткрытой и закрытой трасс соответственно $V = -22{,}3$ дБ и $V = -34$ дБ. Основные потери передачи в свободном пространстве определяются

выражением $A_{св.о} = (4\pi\Gamma_0/\lambda)^2$ (12) и составляют 124,46 дБ. Общая длина передающего и приемного фидеров составляет $L_ф = L_{ф_1} + L_{ф_2} = 15$ м. В качестве фидера используется коаксиальный кабель типа *РК*-75-13-12. Потери в фидере составляют $p_ф = 0{,}9$ дБ. Мощность сигнала на входе приемника определяется соотношением

$$P_{вх.пр}\ \text{дБ Вт} = P_{пд} + G_{пер} + G_{пр} - p_ф - A_{св.о} + V. \qquad (13)$$

Для полуоткрытой и закрытой трасс уровень входного сигнала приемника соответственно составляет

$$P_{вх.пр} = -129{,}66\ \text{дБ Вт}\ (10{,}8 \cdot 10^{-14}\ \text{Вт}).$$
$$P_{вх.пр} = -141{,}36\ \text{дБ Вт}\ (0{,}731 \cdot 10^{-14}\ \text{Вт}).$$

Таким образом, проведенный анализ показывает, что уровень сигнала на входе приемного устройства БПП превышает уровень, необходимый для обеспечения заданной вероятности ошибки $P_{ош} = 10^{-4}$. Следовательно, построить УКВ радиоканал в нашем случае можно лишь при наличии аппаратуры связи нового поколения, имеющей чувствительность приемного устройства не ниже $0{,}73 \cdot 10^{-14}$ Вт.

Список литературы: 1. *Петрович Н. Т.* Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М., 1965. 262 с. 2. *Мясковский Г. М.* Справочник. Системы производственной радиосвязи. М., 1980. 216 с. 3. *Справочник* по спутниковой связи и вещанию / Под ред. Л. Я. Кантора. М., 1983. 267 с. 4. *Андре Анго.* Математика для электрорадиоинженеров. М., 1965. 720 с. 5. *Смирнов В. А.* Основы радиосвязи на ультракоротких волнах. М., 1957. 819 с. *Справочник* по радиорелейной связи. М., 1981. 405 с.

Поступила в редколлегию 28.03.88