ПРИЕМ НА РАЗНЕСЕННЫЕ АНТЕННЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕХОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е. С. Хорошайло

Харьков

Для повышения устойчивости радиосвязи, особенно на коротких волнах, используется прием на разнесенные антенны. За счет различного расстояния передающей антенны от приемных в последних наводятся сигналы, амплитуда и фаза которых могут отличаться друг от друга. При определении устойчивости линии радиосвязи необходимо оценить взаимную связь между изменениями уровней сигналов, принятых каждой антенной. Величина связи обычно выражается коэффициентом корреляции; последний определяется отношением изменений уровней сигналов относительно среднего значения на выходе каждой из антенн. Если изменение сигнала на выходе первой антенны точно соответствует изменениям сигнала на выходе второй, то в этом случае имеем полную взаимосвязь и коэффициент корреляции равен единице ($\rho = 1$).

При отсутствии взаимосвязи между изменениями уровня сигнала на выходе антенн коэффициент корреляции равен нулю ($\rho = 0$). В некоторых случаях возможно различное изменение уровней сигналов на выходе разнесенных антенн, тогда отношение изменений уровней сигналов относительно среднего значения образуют постоянную отрицательную величину $\rho = -1$. Таким образом, наличие взаимосвязи может характеризоваться коэффициентом корреляции ρ, отличным от нуля и лежащим в пределах от -1 до $+1$.

Для повышения эффективности радиосвязи за счет применения разнесенного приема необходимо, чтобы изменение уровня сигнала относительно среднего значения на выходе одной из антенн не совпадало с изменением сигнала на выходе другой, т. е., чтобы связь была малой. Коэффициент корреляции является количественной оценкой взаимосвязи между случайными величинами.

Перемещая одну приемную антенну относительно другой, на выходе приемных устройств получим различные сигналы. При помощи коэффициента корреляции производим оценку взаимосвязи. Перемещать антенны можно вдоль и поперек направления распространения радиоволн. Ряд авторов [1, 2] считает, что при разнесении антенн поперек направления распространения радиоволн коэффициент корреляции убывает быстрее, чем при продольном разнесении антенн.

На рис. 1 приведены экспериментальные кривые [1] зависимости коэффициента корреляции от отношения $\frac{D}{\lambda}$ на частоте 20 *мгц* при разнесении антенн вдоль трассы *1* и поперек трассы *2*. Из рисунка видно, что при расположении антенн поперек трассы коэффициент корреляции убывает быстрее, чем при расположении вдоль трассы. Расстояние разнесения, соответствующее коэффициенту корреляции $\rho = 0{,}6$, равно в первом случае $D \approx 10\lambda$, а во втором — $D \approx 15\lambda$.

Из приведенных экспериментальных данных следует также, что с увеличением расстояния между передатчиком и приемником коэффициент корреляции уменьшается и зависит от условий распространения радиоволн. Многочисленные исследования показали, что коэффициент корреляции между амплитудами сигналов, разнесенных по параметру x, приближенно определяется кривой Гаусса

$$\rho(x) = l^{-\frac{x^2}{2x_0^2}},$$

где x_0 — интервал корреляции, равный величине разнесения, при котором коэффициент корреляции $l^{-\frac{1}{2}} = 0{,}61$. С коэффициентом корреляции

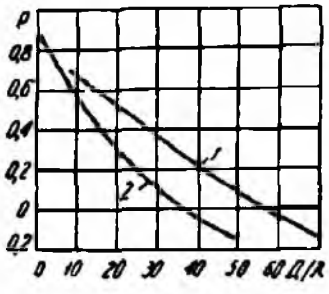

Рис. 1. Зависимость коэффициента корреляции от отношения $\frac{D}{\lambda}$ при продольном *1* и поперечном *2* разнесении антенн.

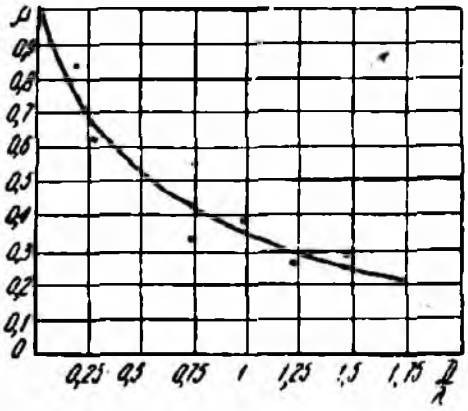

Рис. 2. Зависимость коэффициента корреляции от отношения $\frac{D}{\lambda}$ при поперечном разнесении антенн в условиях цеха.

$\rho < 0.6$ улучшение качества связи, получаемое при использовании разнесенного приема, практически не зависит от ρ. Таким образом, интервал корреляции можно определить как величину разнесения, при которой влиянием корреляции можно пренебречь.

Чтобы выяснить, как влияет разнесенный прием на качество связи при сложных условиях распространения радиоволн, мы измерили напряженность поля в цехах промышленных предприятий. В цехах находилось большое количество неподвижных и подвижных металлических объектов, размеры которых сравнимы с длиной волны; это значительно усложняло условия для распространения радиоволн. Передатчик размещался в начале цеха и излучал горизонтально поляризованные волны частотой 110 *мгц*. Два приемника в конце цеха подключались к антеннам, одна из которых была закреплена неподвижно, а вторую можно было двигать перпендикулярно направлению распространения радиоволн. В пространстве между передающей и приемными антеннами перемещались металлические объекты. К выходам приемных устройств подключались самопишущие приборы. Запись производилась с постоянной скоростью протяжки лент, равной 3600 *мм/ч*.

После выборки записей, их последующей группировки и обработки был определен коэффициент корреляции по формуле [3]

$$\rho = \frac{n\sum_x\sum_y n_{xy}xy - \left(\sum_x n_x x\right)\left(\sum_y n_y y\right)}{\sqrt{\left[n\sum_x n_x x^2 - \left(\sum_x n_x x\right)^2\right]\left[n\sum_y n_y y^2 - \left(\sum_y n_y y\right)^2\right]}},$$

где n — общее число измерений;

n_{xy} — число совместных появлений x и y.

Полученные значения коэффициента корреляции для одного из цехов приводятся в таблице и на рис. 2.

	Величина разнесения					
	$\frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{2}$	$\frac{3\lambda}{4}$	λ	$\frac{5\lambda}{4}$	$\frac{3\lambda}{2}$
ρ	0,591	0,32	0,57	0,578	0.2	0,32
$\bar{b}_{\frac{y}{x}}$	0,46	0,38	0,77	0,72	0.16	0,37
$\bar{b}_{\frac{x}{y}}$	0.69	0.25	0.43	0,48	0,33	0,146
$\bar{\eta}_{\frac{y}{x}}$	0,6	0,54	0,67	0,71	—6,25	0,55
$\bar{\eta}_{\frac{x}{y}}$	0.71	0.76	0.62	0,16	—3,62	0,43

В таблице, кроме значений коэффициента корреляции, приведены также значения $\bar{b}_{\frac{x}{y}}$; $\bar{b}_{\frac{y}{x}}$; $\bar{\eta}_{\frac{x}{y}}$; $\bar{\eta}_{\frac{y}{x}}$. Коэффициенты $\bar{b}_{\frac{x}{y}}$ и $\bar{b}_{\frac{y}{x}}$ — эмпирические коэффициенты регрессии, определяемые из выражения

$$\bar{b}_{\frac{y}{x}} = \frac{S_y}{S_x}\rho = \frac{\sqrt{n\sum\limits_y n_y y^2 - \left(\sum\limits_y n_y y\right)^2}}{\sqrt{n\sum\limits_x n_x x^2 - \left(\sum\limits_x n_x x\right)^2}}\rho,$$

где S_y и S_x — эмпирические средние квадратические отклонения соответственно y и x;

$\bar{\eta}_{\frac{y}{x}}$ и $\bar{\eta}_{\frac{x}{y}}$ — эмпирические корреляционные отношения, которые определяются как отношение

$$\bar{\eta}_{\frac{y}{x}} = \frac{S_{\bar{y}_x}}{S_y},$$

где S_y — эмпирическое среднее квадратическое отклонение (общее) величины y;

$S_{\bar{y}_x}$ — эмпирическое среднее квадратическое отклонение частных средних арифметических $\bar{y}_x$, т. е. средних арифметических значений y, вычисленных при каждом из значений x.

Для вычислений, однако, удобнее пользоваться преобразованной формулой

$$\bar{\eta}_{\frac{y}{x}} = \sqrt{\frac{n\sum\limits_x \frac{\left(\sum\limits_y n_{xy} y\right)^2}{n_x} - \left(\sum\limits_x \sum\limits_y n_{xy} y\right)^2}{n\sum\limits_y n_y y^2 - \left(\sum\limits_y n_y y\right)^2}}.$$

Эмпирические коэффициенты дают представление о сложном характере взаимосвязи между интересующими нас явлениями. На рис. 3 приведены линии регрессий изменений величины сигналов с увеличением разноса антенн. Из рисунка видно, что связь между этими параметрами *нелинейна и слаба.*

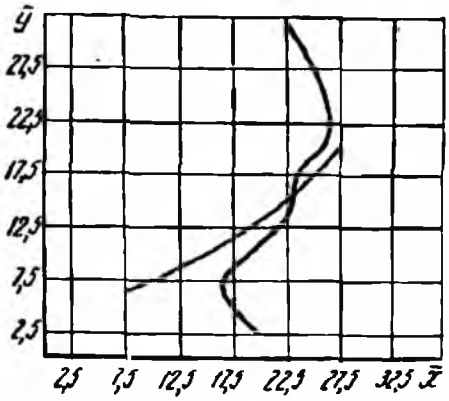

Рис. 3. Линии регрессий изменения сигналов.

Таким образом, из полученных данных видно, что взаимная связь между сигналами, принятыми на разнесенные антенны в сложных условиях для распространения радиоволн, мала и с увеличением величины расстояния между приемными антеннами коэффициент корреляции уменьшается. Если при приеме на больших расстояниях от передатчика и малом влиянии пассивных переизлучателей требуется большой разнос антенн ($10\lambda \div 15\lambda$ и больше), то в условиях цехов промышленных предприятий величину разнесения антенн, как следует из эксперимента, можно сократить до $1{,}5\lambda \div 2\lambda$. Это особенно важно в тех случаях, когда антенны устанавливаются на подвижных объектах, имеющих определенные размеры, т. е при ограниченных возможностях в величине разноса антенн.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Зюко. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. Связьиздат, 1963.

2. I. Grobkopf, M. Sholdz und K. Vogt. Korrelationmessungen im kurzwellenbereich. «NTZ», № 2, 1958.

3. Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики. Изд-во «Наука», 1965.

4. Е. А. Хмельницкий. Разнесенный прием и оценка по эффективности. Связьиздат, 1960.