

УДК 621.395.16

В. И. БЕНЧУК, В. А. ФИГУРИН

КРИТИЧНОСТЬ НАСТРОЙКИ ГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА АТМОСФЕРНОЙ ОЛС

Эффективность приема сигналов в гетеродинных оптических линиях связи (ОЛС) зависит от точности согласования волновых фронтов принимаемого и гетеродинного пучков. Зависимость амплитуды выходного сигнала гетеродинного приемника с линейным детектором огибающей от угла рассогласования α_p между указанными пучками при отсутствии искажений принимаемого пучка описывается функцией [1]

$$F(\alpha_p) = 2 \left| \frac{J_1(kR\alpha_p)}{kR\alpha_p} \right|, \quad (1)$$

где $J_1(x)$ — функция Бесселя первого рода первого порядка; $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число; R — радиус приемной апертуры.

Влияние турбулентности атмосферы, приводящей к пространственно-временным искажениям распространяющегося оптического сигнала, на параметры гетеродинных ОЛС рассматривалось в работах [2, 3], где показано, что размер приемной апертуры в таких ОЛС необходимо ограничивать радиусом когерентности принимаемой световой волны r_0 , поскольку увеличение ее размеров сверх этой величины не приводит к заметному улучшению выходного отношения сигнала к шуму, а вызывает рост дисперсии выходного сигнала.

На практике очень трудно обеспечить идеальную настройку гетеродинного приемника, поэтому представляет интерес рассмотреть влияние расстройки на параметры атмосферных ОЛС.

Как следует из работы [4], при размерах приемной апертуры, ограниченных радиусом когерентности r_0 , из всех искажений волнового фронта принимаемой световой волны можно выделять только углы прихода. Для практических случаев смещением центра принимаемого пучка относительно центра гетеродинного пучка из-за углов прихода волны можно пренебречь, поскольку изменение выходного сигнала за счет наклона волнового фронта, обусловленного углом расстройки и флуктуациями углов прихода, оказывается существенно больше. Можно считать поэтому, что в выражении (1) угол α_p представляет собой расстройку между пучками, а также угол прихода. Разлагая угол прихода на две взаимно ортогональные составляющие и совмещая угол расстройки с одной из них, общий угол расстройки β_p можно представить в виде

$$\beta_p = \sqrt{(\alpha_p + \alpha_x)^2 + \alpha_y^2}. \quad (2)$$

Предположим, что приемная апертура в любой момент времени является однородно заполненной. Такая ситуация приближенно справедлива, если размер апертуры не превышает радиуса пространственной корреляции флуктуаций амплитуды принимаемой волны. Тогда величина вы-

ходного сигнала A гетеродинного приемника атмосферной ОЛС может быть записана в виде

$$A = a \cdot F(\beta_p), \quad (3)$$

где a — амплитуда сигнала, которая была бы в отсутствие фазовых искажений при точном совмещении волновых фронтов.

Поскольку флуктуации амплитуды световой волны и углов прихода на больших расстояниях независимы, среднее значение выходного сигнала A равно произведению средних значений сомножителей. Флуктуации амплитуды световой волны в большинстве случаев (по крайней мере, в режиме слабых флуктуаций) описываются логарифмически нормальным распределением, поэтому среднее значение выходного сигнала в отсутствие фазовых искажений равно значению сигнала в отсутствие турбулентности [2]. В связи с этим достаточно рассмотреть только поведение функции $F(\beta_p)$. Для вычисления среднего значения этой функции необходимо определить ее плотность вероятности $w(F)$, что можно осуществить по правилам преобразования плотностей вероятности [5]:

$$w(F) = p_{\beta_p}(f(F)) \left| \frac{df(F)}{dF} \right|, \quad (4)$$

где p_{β_p} — плотность вероятности флуктуаций углов β_p ; $f(F)$ — функция, обратная функции $F(\beta_p)$. Найти аналитическое выражение функции $\beta_p = f(F)$ нельзя, поэтому единственным способом ее получения является аппроксимация функции $F(\beta_p)$ несколькими элементарными кривыми. Анализ показал, что с достаточной степенью точности основной и побочный максимумы указанной функции можно аппроксимировать параболой и прямой линией.

Как известно [6], плотность вероятности флуктуаций углов прихода вдоль любой оси в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения световой волны, описывается нормальным распределением с нулевыми средними значениями и равными дисперсиями. Так как вдоль одной оси имеется постоянный угол расстройки, плотность вероятности угла β_p будет даваться распределением Райса [5]:

$$p_{\beta_p} = \frac{\beta_p}{\sigma_a^2} \exp\left(-\frac{\beta_p^2 + \alpha_p^2}{2\sigma_a^2}\right) I_0\left(\frac{\beta_p \alpha_p}{\sigma_a^2}\right), \quad (5)$$

где σ_a^2 — дисперсия флуктуаций углов прихода; $I_0(x)$ — функция Бесселя второго рода нулевого порядка.

Расчеты зависимости среднего значения функции $F(\beta_p)$ от угла расстройки α_p проводились численными методами для однородной трассы протяженностью 10 км при значениях структурной постоянной показате-

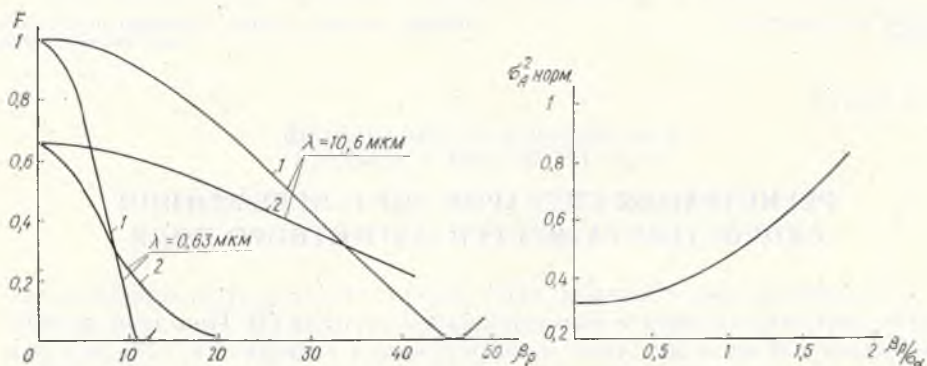


Рис. 1. Зависимость среднего значения функции $F(\beta_p)$ от угла расстройки между принимаемым и гетеродинным пучками

Рис. 2. Зависимость нормированной дисперсии выходного сигнала гетеродинного приемника от нормированного угла расстройки

ля преломления воздуха, для которых на указанной трассе имеет место переход к режиму сильных флуктуаций излучения. При этом параметры принимаемого излучения вычислялись по известным формулам для плоской волны [7].

На рис. 1 приведены зависимости среднего значения функции $F(\beta_p)$ от угла расстройки между принимаемым и гетеродинным пучками для длин волн 0,63 и 10,6 мкм в отсутствие (кривые 1) и при наличии (кривые 2) турбулентности при приеме апертурой, равной r_0 . Легко видеть, что наличие турбулентности несколько снижает требования к настройке гетеродинного приемника. Так, для сохранения величины выходного сигнала на уровне 0,7 от максимальной точность настройки на длине волны 10,6 мкм при отсутствии турбулентности должна быть не хуже 20 мкрад, а при ее наличии — не хуже 23 мкрад. Для длины волны 0,63 мкм эти величины соответственно равны 5 и 6 мкрад.

Исследовалось также влияние угла расстройки на величину нормированной дисперсии выходного сигнала:

$$\sigma_{\Delta}^2_{\text{норм}} = \sigma_A^2/\bar{A}^2 = \sigma_a^2/\bar{a}^2 + \sigma_F^2/\bar{F}^2 = s^2 + \sigma_F^2/\bar{F}^2, \quad (6)$$

где σ_A^2 — дисперсия выходного сигнала; $\bar{A}$ — среднее значение сигнала; s^2 — дисперсия флуктуаций логарифма амплитуды; σ_F^2 — дисперсия флуктуаций функции $F(\beta_p)$.

Рис. 2 показывает зависимость $\sigma_{\Delta}^2_{\text{норм}}$ от нормированного угла расстройки α_p/σ_a при размере апертуры r_0 . Рассогласование фронтов принимаемого и гетеродинного пучков до значений σ_a приводит к увеличению $\sigma_{\Delta}^2_{\text{норм}}$ в полтора раза по сравнению с полным согласованием. Среднеквадратичные значения флуктуаций углов прихода для рассматриваемой трассы составляют для длин волн 10,6 и 0,63 мкм 16,5 и 4 мкрад соответственно.

Таким образом, при наличии турбулентности критичность настройки гетеродинного приемника атмосферной ОЛС, определяемая по среднему значению выходного сигнала, остается практически такой же, как и при отсутствии турбулентности. Однако увеличение угла расстройки приводит к заметному росту нормированной дисперсии выходного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шереметьев А. Г., Толпарев Р. Г. Лазерная связь.— М., 1974.
2. Фрид Д. Л.— ТИИЭР, 1967, т. 55, № 1, с. 62.
3. Fried D. L.— IEEE J. Quant. Electron., 1967, v. QE-3, p. 213.
4. Fried D. L.— J. Opt. Soc. Amer., 1965, v. 55, p. 1427.
5. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника.— М., 1966.
6. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере.— М., 1967.
7. Керр, Титтертон, Кремер, Кук.— ТИИЭР, 1970, т. 58, № 10, с. 305.

Поступила в редакцию
18.06.80.

Кафедра ядерной физики и мирного использования атомной энергии

УДК 538.11.8

В. Н. ЛИНЕВ, В. Б. МОЧАЛЬСКИЙ,
В. А. МУРАВСКИЙ, Е. Я. ФУРСА

РЕГИСТРАЦИЯ СПЕКТРОВ ЭПР С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ РАЗВЕРТКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для регистрации спектров ЭПР обычно применяются линейная развертка магнитного поля и интегрирование сигнала [1]. При этом величина постоянной времени схемы интегрирования выбирается, исходя из отношения сигнал/шум для регистрируемого сигнала, а скорость развертки определяется величиной вносимых интегрированием искажений спектральных линий. Как показано в работах [1, 2], искажения спектральной линии зависят от четырех параметров: амплитуды развертки магнитного поля ΔH_p , ширины линии $\Delta H_{\text{лн}}$, постоянной времени системы регистра-