

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ НА ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ - ШУМ

В.В. Пономарев, д.т.н., проф. Г.Н. Доля, к.т.н. А.М. Резниченко

Приведена оценка влияния отдельных элементов оптического тракта системы измерения дальности на отношение сигнал-шум всей системы. Показано, что с ростом числа сигнальных фотоэлектронов увеличивается удельный вес мультипликативного шума.

Для анализа факторов, влияющих на отношение сигнал - шум на выходе системы измерения дальности (СИД) удобно ввести коэффициент шума для оптического тракта СИД, который включает в себя источник оптического излучения, оптические элементы, канал распространения, фотоприемник. Он определяется как отношение дисперсии числа фотоэлектронов на выходе реальной системы к дисперсии числа фотоэлектронов на выходе идеальной системы, а поскольку уровни сигнала на выходе реальной и эквивалентной идеальной систем одинаковы, то коэффициент шума удобно представить в виде

$$F_c = \frac{C/\text{Ш}|_{\text{ид}}}{C/\text{Ш}|_p},$$

где $\left(\frac{C}{\text{Ш}}\right)_{\text{ид}}$ и $\left(\frac{C}{\text{Ш}}\right)_p$ - отношения сигнал - шум по мощности для идеальной и реальной систем соответственно.

Тогда отношение сигнал-шум по мощности на выходе реальной СИД, которое обозначим через ρ , определяются коэффициентом шума всей системы F_c и средним значением числа квантов излучения лазера \bar{N}_c :

$$\rho = \frac{1}{F_c} \bar{N}_c.$$

Как показано в [1], отношение сигнал-шум с учетом влияния атмосферного канала удобно представить в виде

$$\rho = \left(\frac{F_a}{\bar{N}_c} + \frac{1}{\tau \bar{N}_c} + M^2 + \frac{\bar{N}_\phi}{\bar{N}_c \tau^2 \tau_2 \eta} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где $F_a = F_L + \frac{|1-\tau_2|}{\tau\tau_2} + \frac{1-\eta}{\tau\tau_2\eta} + \frac{\sigma_{шпр}^2}{\bar{N}_c\tau^2\tau_2^2\eta}$ - коэффициент шума, определяемый аппаратурными факторами; F_L - коэффициент избыточных шумов лазерного излучателя; τ - коэффициент передачи атмосферного канала; τ_2 - коэффициент передачи пассивных оптических элементов; η - квантовая эффективность фотодетектора; M - коэффициент флуктуаций интенсивности ($M = \sigma_I/\bar{I}$); \bar{N}_ϕ - среднее число фотоэлектронов, вызванных фоновым излучением; $\sigma_{шпр}^2$ - дисперсия числа шумовых фотоэлектронов фотодетектора.

Из параметров атмосферного канала в выражение для F_a входит только коэффициент передачи τ , который никакой специфики, свойственной атмосфере, практически не имеет. Таким образом, конкретное значение отношения сигнал-шум на выходе СИД определяется аппаратурными факторами, которые можно охарактеризовать аппаратурным коэффициентом шума F_a , а также атмосферными факторами, которые можно охарактеризовать коэффициентом флуктуации интенсивности сигнального излучения M , коэффициентом передачи атмосферного канала τ и аддитивным шумом фонового излучения \bar{N}_ϕ .

Для оценки влияния отдельных элементов оптического тракта на отношение сигнал-шум СИД необходимо учитывать влияние параметров данного элемента на удельный вес других составляющих шума. Влияние отдельных параметров на соотношение (1) определяется частными производными по аппаратурным параметрам и параметрам атмосферного канала:

$$\frac{\partial \rho}{\partial F_a} = \frac{1}{\bar{N}_c \rho^2}; \frac{\partial \rho}{\partial M} = \frac{2M}{\rho^2}; \frac{\partial \rho}{\partial \bar{N}_\phi} = \frac{2\bar{N}_\phi}{\bar{N}_c^2 \tau^2 \tau_2 \eta \rho^2}; \frac{\partial \rho}{\partial \tau} = -\frac{2\bar{N}_\phi}{\bar{N}_c \tau_2 \tau^3 \eta \rho^2}.$$

Удельный вес влияния каждого параметра на отношение сигнал-шум СИД определяется соответствующим весовым коэффициентом:

$$C_{F_a} = \frac{\partial \rho / \partial F_a}{\Delta}; C_M = \frac{\partial \rho / \partial M}{\Delta}; C_{\bar{N}_\phi} = \frac{\partial \rho / \partial \bar{N}_\phi}{\Delta}; C_\tau = \frac{\partial \rho / \partial \tau}{\Delta},$$

где $\Delta = |\partial \rho / \partial F_a| + |\partial \rho / \partial M| + |\partial \rho / \partial \bar{N}_\phi| + |\partial \rho / \partial \tau|$.

Оценим влияние каждого из нижеперечисленных параметров:

- коэффициента флуктуаций интенсивности, обусловленного пространственными флуктуациями пучка $M = \sigma_I / \bar{I} = 0,3$;

- отношения числа сигнальных фотоэлектронов к фоновым $\bar{N}_c/\bar{N}_\phi = 0,01$;
- квантовой эффективности фотодетектора $\eta = 0,025$;
- коэффициента шума фотодетектора $F_0 = 40$;
- избыточного шума источника излучения $F_L = 150$;
- коэффициента передачи атмосферного канала и оптического тракта приемной системы $\tau = 0,1$ и $\tau_2 = 0,5$ соответственно

на отношение сигнал - шум СИД.

С ростом числа сигнальных фотоэлектронов увеличивается удельный вес мультипликативного шума (коэффициент C_M), вызванный влиянием турбулентной атмосферы, и он становится доминирующим при $\bar{N}_c > 1000$ (74,7% для $\bar{N}_c = 1000$ и 96,8% для $\bar{N}_c = 10000$).

С уменьшением числа квантов принимаемого излучения возрастает удельный вес потерь в атмосфере и оптическом тракте (для $\bar{N}_c = 100$ составляет 71,2%, а при $\bar{N}_c = 1000$ - 24,9%).

Удельный вес аддитивных шумов составляет (при $\bar{N}_c = 100$) 7,1%, при этом удельный вес аппаратурных шумов составляет порядок $10^{-3} - 10^{-4}$ во всем диапазоне изменения интенсивности принимаемого сигнала.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что при высоком уровне принимаемого сигнала ($\bar{N}_c > 1000$) погрешность измерения дальности существенно зависит от глубины флуктуаций интенсивности принимаемого излучения, вызванных турбулентной атмосферой. Поэтому снижение глубины флуктуаций интенсивности принимаемого излучения различными методами приведет к существенному увеличению отношения сигнал-шум и, как следствие, к увеличению точности измерения дальности до цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хинрикус Х.В. Шумы в лазерных информационных системах. – М.: Радио и связь, 1987. – 108 с.

Поступила в редколлегию 13.10.2000