

**Б.В. Горячев, М.В. Кабанов, С.Б. Могильницкий, Б.А. Савельев**

**ПЕРЕНОС ИЗЛУЧЕНИЯ В ОГРАНИЧЕННОМ РАССЕЙВАЮЩЕМ ОБЪЕМЕ ПРИ НАЛИЧИИ ФОНОВЫХ ПОМЕХ**

Исследуется поведение отношения сигнал-шум ( $S/N$ ) в зависимости от оптического объема среды, коэффициента отражения подстилающей поверхности и угла освещения внешним источником.

Показано, что увеличение угла освещения внешними источниками приводит к увеличению отношения  $S/N$  при любых значениях коэффициентов отражения  $r$  подстилающей поверхности, больших 0,2, а увеличение  $\varphi$  и степени анизотропии индикатрисы рассеяния приводит к уменьшению  $S/N$ .

Распространение оптического излучения в дисперсных средах сопровождается появлением поля многократно рассеянного света. Многократно рассеянное световое поле является помехой, ухудшающей регистрацию полезного сигнала. Чем больше величина шума, тем хуже качество изображения предмета, наблюдаемого через рассеивающую среду.

В данной статье исследуется отношение величины сигнала, прошедшего среду без рассеяния, к величине рассеянного света в зависимости от оптической глубины среды, оптического сечения среды, индикатрисы рассеяния излучения, величины поглощения в среде, а также внешних факторов, а именно, от коэффициента отражения ограничивающей поверхности и угла освещения внешним источником излучения.

Отношение сигнал-шум вводится следующим образом:

$$S/N = [\exp(-\tau_x)]/[I_{\text{пр}} + I_{\text{ф}} - \exp(-\tau_x)],$$

где  $I_{\text{пр}}$  – прошедший среду полезный световой поток;  $I_{\text{ф}}$  – световой поток от внешнего излучения;  $\tau_x$  – оптическая толща в направлении распространения опорного сигнала.

Внешний источник излучения освещает дисперсную среду под углом  $\varphi$  к направлению излучения исследуемого сигнала. Исследуемый сигнал распространяется горизонтально и параллельно отражающей поверхности с коэффициентом отражения  $r$ . Исследуем поведение отношения  $S/N$  в зависимости от оптических размеров среды, вероятности выживания кванта и степени анизотропии индикатрисы рассеяния без влияния внешних источников излучения и отражающей поверхности.

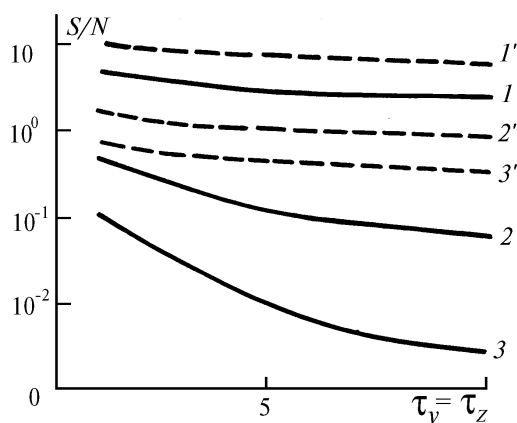


Рис. 1. Зависимость отношения  $S/N$  от поперечных оптических размеров среды: кривые 1, 1' –  $\tau_x=1$ ; 2, 2' –  $\tau_x=5$ ; 3, 3' –  $\tau_x=10$ ;  $a=1$ ; 1 – 3 –  $\Lambda=1$ ; 1' – 3' –  $\Lambda=0,5$

На рис. 1 приведены зависимости величины  $S/N$  от поперечных оптических размеров среды ( $\tau_y = \tau_z$ ) для различных значений ее оптической глубины  $\tau_x$  и вероятности выживания кванта  $\Lambda$  (для сферической индикатрисы рассеяния). Увеличение  $\tau_y = \tau_z$  во всех случаях приводит к уменьшению величины  $S/N$ , что объясняется увеличением поля многократного рассеяния. Данная зависимость становится более явно выраженной при увеличении оптической глубины среды  $\tau_x$ . Однако увеличение поглощения в среде существенно сглаживает эту зависимость.

Аналогичные расчеты зависимости  $S/N$  от  $\tau_y = \tau_z$  для среды с анизотропной индикатрисой рассеяния показывают, что увеличение вытянутости индикатрисы рассеяния приводит к почти полной независимости  $S/N$  от поперечных оптических размеров среды. Данное явление можно объяснить тем, что при анизотропных индикатрисах рассеяния основная доля рассеянного излучения сосредоточена в направлении <вперед> и увеличение поперечных оптических размеров среды в этом случае не приводит к существенному перераспределению рассеянного излучения.

Из данных, приведенных на рис. 1, также следует, что увеличение оптической глубины среды  $\tau_x$  приводит к уменьшению величины  $S/N$ . Расчеты показывают, что наиболее ярко это проявляется при анизотропной индикатрисе рассеяния.

На рис. 2 приведены зависимости величины  $S/N$  от  $\tau_x$  для различных значений вероятности выживания кванта  $\Lambda$ , оптических сечений и параметра вытянутости индикатрисы  $a$ . Можно сделать также вывод об увеличении  $S/N$  с ростом поглощения в среде.

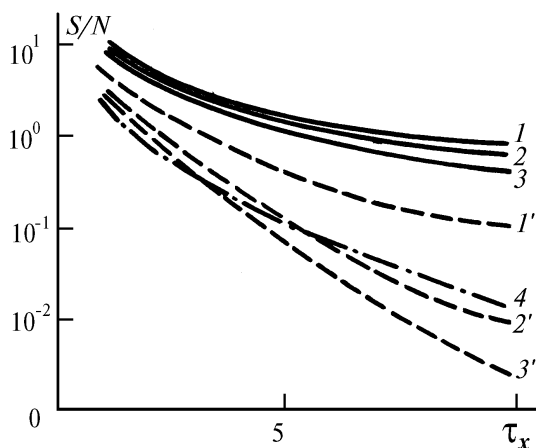


Рис. 2. Зависимость отношения  $S/N$  от оптической глубины среды: кривые 1, 1' —  $\tau_y = \tau_z = 1$ ; 2, 2' —  $\tau_y = \tau_z = 5$ ; 3, 3' —  $\tau_y = \tau_z = 10$ ; 4 —  $\tau_y = \tau_z = 1 \div 10$ ; 1 — 3 —  $\Lambda = 1$ ; 1' — 3' —  $\Lambda = 0,5$ ; 1, 1' — 3, 3' —  $a = 1$ ; 4 —  $a = 12,09$

Проанализируем также поведение отношения  $S/N$  в зависимости от оптического объема среды, коэффициента отражения подстилающей поверхности и угла освещения внешним источником.

При проведении анализа полагаем, что интенсивность внешних источников равна интенсивности опорного сигнала. Учет влияния подстилающей поверхности производится по методике, изложенной в [1].

На рис. 3 приведена зависимость  $S/N$  от угла освещения среды внешними источниками  $\varphi$  (угол  $\varphi$  отсчитывается от направления падения опорного сигнала) при различных значениях коэффициента отражения ограничивающей поверхности  $r$  и вероятности выживания кванта  $\Lambda$  для сферической индикатрисы рассеяния и среды с оптическими размерами  $1 \times 1 \times 1$ .

Для консервативной среды ( $\Lambda = 1$ ) увеличение угла освещения внешними источниками приводит к увеличению отношения  $S/N$  при любых значениях коэффициента отражения подстилающей поверхности больше 0,2. Причем при углах освещения больше  $90^\circ$  наблюдается насыщение отношения  $S/N$  на уровне порядка 1,6. Аналогичный характер поведения отношения  $S/N$  наблюдается и при наличии поглощения в среде. При значениях  $r$ , близких к 0, и малых оптических размерах среды при углах освещения внешними источниками, близкими к  $90^\circ$ ,

наблюдается максимальное значение  $S/N$  (рис. 3, *a*, кривые 1,5). Этот эффект можно объяснить следующим образом: при малых оптических размерах среды и угле освещения, близком к  $90^\circ$ , выход излучения через боковые поверхности невелик и, следовательно, невелика доля рассеянного излучения, ухудшающего контраст опорного сигнала, что и приводит к большему по сравнению с углами больше и меньше  $90^\circ$  значению  $S/N$ , так как при этих углах доля рассеянного излучения сравнительно выше. Появление отражающей поверхности с достаточно большим коэффициентом отражения равносильно увеличению оптических размеров среды, что приводит к монотонному ходу зависимости  $S/N$  от  $\varphi$ . На рис. 3, *б* приведена зависимость  $S/N$  от угла  $r$  для среды с оптическими размерами  $10 \times 10 \times 10$ . В случае среды с такими размерами мы наблюдаем уменьшение отношения  $S/N$  с увеличением угла падения излучения внешних источников для любых значений вероятности выживания кванта  $\Lambda$  и коэффициента отражения ограничивающей поверхности  $r$ . Данный факт легко объясняется наличием сформировавшегося поля многократного рассеяния в среде таких размеров.

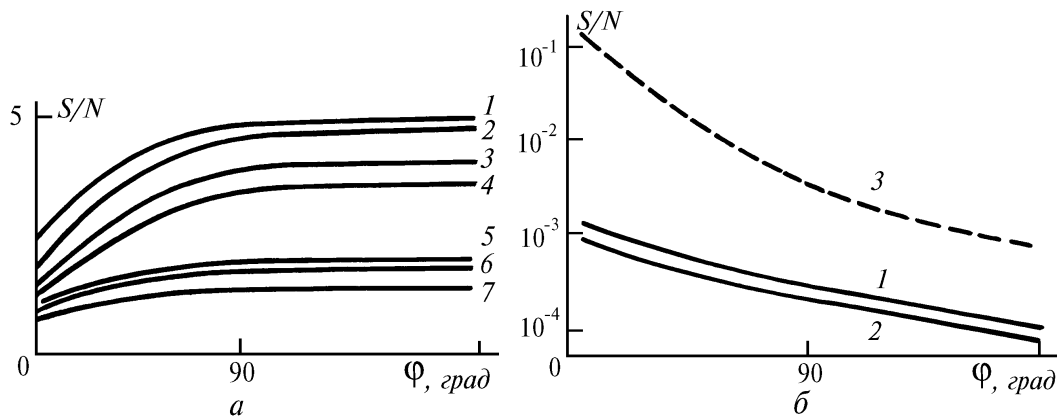


Рис. 3. Зависимость отношения  $S/N$  от угла освещения внешним источником: *a* -  $\tau_x = \tau_y = \tau_z = 1$ ;  $a = 1$ ; кривые 1, 5 -  $r = 0$ ; 2, 6 -  $r = 0,2$ ; 3 -  $r = 0,5$ ; 4, 7 -  $r = 0,8$ ; 1 - 4 -  $\Lambda = 0,5$ ; 5 - 7 -  $\Lambda = 1$ ; *б* -  $\tau_x = \tau_y = \tau_z = 10$ ;  $a = 1$ ; кривые 1 -  $r = 0,2$ ;  $\Lambda = 1$ ; 2 -  $r = 0,8$ ;  $\Lambda = 1$ ; 3 -  $r = 0,2 \div 0,8$ ;  $\Lambda = 0,5$

На рис. 4 приведена зависимость  $S/N$  от коэффициента  $r$ , увеличение которого во всех анализируемых случаях приводит к уменьшению  $S/N$ . При  $\varphi = 0$  и консервативной среде отношение  $S/N$  от угла падения внешних источников практически не зависит, а по мере увеличения угла  $\varphi$  и поглощения в среде зависимость  $S/N$  от  $\varphi$  становится более сильной. Факт уменьшения отношения  $S/N$  с увеличением коэффициента  $r$  объясняется тем, как уже указывалось выше, что появление отражающей поверхности аналогично увеличению оптических размеров среды, а увеличение размеров, как известно, приводит к увеличению фона многократно рассеянного света, являющегося в данном случае помехой, понижающей контраст опорного сигнала. Полученные результаты можно кратко представить в следующем виде:

- увеличение поперечных оптических размеров дисперсной среды всегда приводит к уменьшению отношения  $S/N$ ;
- появление поглощения в среде приводит к увеличению  $S/N$  и существенно сглаживает зависимость этого отношения от поперечных оптических размеров;
- увеличение анизотропии индикатрисы рассеяния приводит к почти полной независимости отношения  $S/N$  от поперечных оптических размеров дисперсной среды;
- увеличение продольной оптической плотности дисперсной среды приводит к резкому уменьшению отношения  $S/N$  при вытянутой индикатрисе рассеяния;
- появление освещения внешними источниками и отражающей поверхности ухудшает отношение  $S/N$ ;
- при увеличении угла освещения внешними источниками величина  $S/N$  уменьшается при любых значениях коэффициента отражения ограничивающей поверхности и вероятности выживания кванта;
- увеличение коэффициента  $r$  во всех рассмотренных случаях приводит к уменьшению величины отношения  $S/N$ ;

–влияние внешнего источника излучения на величину отношения  $S/N$  в среде с сильно вытянутой индикатрисой рассеяния относительно мало.

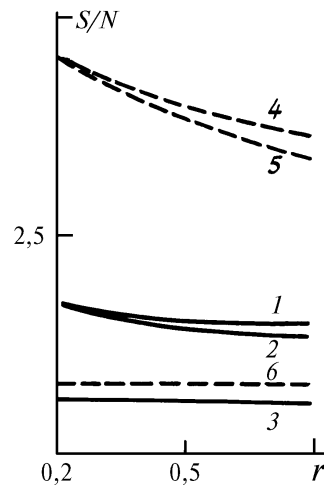


Рис. 4. Зависимость отношения  $S/N$  от коэффициента отражения подстилающей поверхности:  
 $\tau_y = \tau_z = \tau_x = 1$ ;  $a = 1$ ; кривые 1, 4 –  $\varphi = 180^\circ$ ; 2, 5 –  $\varphi = 90^\circ$ ; 3, 6 –  $\varphi = 0^\circ$ ; 1, 3 –  $\Lambda = 1$ ; 4 – 6 –  $\Lambda = 0,5$

И. Горячев Б.В., Ларионов В.В. Могильницкий С.Б., Савельев Б.А. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 64. Вып. 2. С. 407–409.

Конструкторско-технологический институт СО РАН <Оптика>  
 Томский политехнический университет

Поступила в редакцию  
 22 июня 1993 г.

B. V. Goryachev, M. V. Kabanov, S. B. Mogil'nitskii, B. A. Savel'ev. **Radiation Transfer in a Limited Scattering Volume under the Presence of Background Noise.**

In this paper we study the signal-to-noise ratio (SNR) as a function of optical volume of a medium, reflection coefficient of the underlying surface, and of the angle of medium irradiation by an external source. It is shown in the paper that an increase of the angle of medium irradiation by an external source increases the SNR regardless of the value of the reflection coefficient  $r$  of an underlying surface starting with  $r = 0,2$ . At the same time a growth of  $\varphi$  and anisotropy of the medium scattering phase function decreases the SNR.