

О влиянии помехи обратного рассеяния излучения подсветки на контраст в активно-импульсных системах видения

Б. Ф. Кунцевич¹, Д. В. Шабров²

¹ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Беларусь;
e-mail: bkun@ifanbel.bas-net.by

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск

Показано, что влияние помехи обратного рассеяния излучения подсветки на контраст в активно-импульсных системах видения пренебрежимо мало. При фиксированной длине зоны видимости существует оптимальное значение длительности подсветки, соответствующее максимуму контраста.

Ключевые слова: активно-импульсная система видения, помеха обратного рассеяния, контраст

Введение

В настоящее время разработаны активно-импульсные системы видения (АИСВ) с широким набором параметров, которые используются для решения различных практических задач. В АИСВ осуществляется в частотно-импульсном режиме подсветка объектов наблюдения лазерным излучением с типичной длительностью $\Delta t_{\text{лаз}}$ от десятков до нескольких сотен наносекунд. Синхронно с лазерной подсветкой, но с некоторой задержкой по времени $\Delta t_{\text{зад}}$, на короткое время $\Delta t_{\text{ЭОП}}$, обычно сравнимое с $\Delta t_{\text{лаз}}$, включается фотоприемник (строб-импульс). В качестве фотоприемника обычно используется электронно-оптический преобразователь (ЭОП). АИСВ позволяют осуществлять наблюдение объектов в сравнительно узкой полосе пространства $\Delta S_{\text{ЗВ}} = c(\Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{ЭОП}})/2$, называемой зоной видимости.

Обычно считается (например, [1, 2]), что АИСВ вследствие импульсной подсветки и стробирования по дальности (или времени) позволяют повысить контраст изображения и тем самым дальность наблюдения за счет существенного уменьшения, в частности, помехи обратного рассеяния (ПОР) при наблюдении в условиях пониженной прозрачности атмосферы (дымка, туман, дождь, снег и т. д.). ПОР может возникать из-за рассеяния как лазерного излучения подсветки, так и фонового излучения (световая дымка, солнечное излучение и др.) в слое аэрозоля атмосферы в направлении АИСВ.

Однако авторам не известны публикации, посвященные исследованию относительного вклада ПОР излучения лазерной подсветки в регистрируемый сигнал (и на контраст изображения), а также распределению ПОР в пределах зоны видимости. Данная работа направлена на выяснение указанных вопросов.

1. Определение контраста

Прием сигналов в АИСВ в общем случае осуществляется на фоне различных шумов (помех), которые детально рассмотрены, например, в [1]. Согласно [1], на практике в АИСВ существует шумовой порог. Это ведет к тому, что даже в отсутствие входного излучения в приемном канале присутствует сигнал, соответствующий шумовому порогу. Поставим ему в соответствие энергию $E_{\text{шп}}$. С учетом сказанного, а также поставленной задачи, будем определять контраст K следующим образом:

$$K = (E - E_{\text{сум-ш}})/(E + E_{\text{сум-ш}}) \quad (1)$$

где E – энергия эхо-сигнала от объекта, $E_{\text{сум-ш}} = E_{\text{ПОР}} + E_{\text{шп}}$ – суммарный шум, а $E_{\text{ПОР}}$ – энергия помехи, обусловленная рассеянием в обратном направлении излучения подсветки (другие составляющие не учитываются).

2. Выражения для расчета величины регистрируемых сигналов

Величину сигнала E в зависимости от расстояния S до объекта можно вычислить с помощью выражения [3]:

$$E = C_0 P \frac{\rho}{\pi} \frac{A_{пр}}{S^2} \exp(-2\alpha S) \int L(t - \frac{2S}{c}) G(t - \Delta t_{зад}) dt \quad (2)$$

где C_0 – константа, зависящая от коэффициентов пропускания передающего, приемного и согласующего объективов, а также узкополосного фильтра, пропускающего излучение подсветки; P – мощность блока подсветки; ρ – коэффициент отражения объекта; $A_{пр}$ – площадь апертуры приемного объектива; α – показатель ослабления в атмосфере излучения подсветки; L и G – функции, описывающие временные зависимости интенсивности лазерной подсветки и чувствительности приемного блока (строб-импульса); c – скорость света; t – время.

Для вычисления $E_{ПОР}$ использовалось выражение (2), в котором множитель ρ/π заменялся на β_π , где β_π – коэффициент обратного рассеяния излучения подсветки.

3. Результаты расчетов и их обсуждение

На рис. 1 и рис. 2 представлены результаты расчетов для разных значений метеорологической дальности видимости S_M и числа лазеров подсветки $N_{лаз}$. Величины E и $E_{ПОР}$ нормированы на их максимальные значения $E^{макс}$ и $E_{ПОР}^{макс}$ (указаны в подписях к рисункам). Предполагалось, что импульсы подсветки и стробирования имеют прямоугольную форму. Мощность подсветки вычислялась с помощью выражения: $P = P_0 N_{лаз} f$, где P_0 – амплитуда мощности подсветки одного лазера, $N_{лаз}$ – число лазеров в блоке подсветки, f – частота следования лазерных импульсов. Амплитуда множителя $G(t)$ усиления яркости ЭОП задавалась с помощью величины G_0 . При расчетах использовались следующие параметры: $P_0 = 320$ Вт; $N_{лаз} = 2$; $f = 5200$ Гц; $G_0 = 20000$; $C_0 = 0,31$; $\rho = 0,5$; $A_{пр} = 0,002$ м²; $E_{шп} = 4 \cdot 10^{-13}$ Дж; $S_{зад} = c\Delta t_{зад}/2 = 100$ м. Значения α и β_π вычислялись по известной величине S_M для длины волны 1,6 мкм.

На примере кривой 1 (рис. 1, а) поясним используемую в литературе терминологию при описании зоны видимости [4]. Расстояния $S_{нач} = 77,5$ м и $S_{кон} = 107,5$ м называют начальной и конечной точкой зоны видимости, а $S_{нач-100\%} = 85$ м и $S_{кон-100\%} = 100$ м – граничные расстояния, где принимаемый сигнал регистрируется в течение 100 % интервала времени открытого (включенного) состояния ЭОП (при $\Delta t_{лаз} > \Delta t_{ЭОП}$), либо в течение 100 % длительности импульса подсветки (при $\Delta t_{лаз} < \Delta t_{ЭОП}$) (рис. 1, в). При $\Delta t_{лаз} = \Delta t_{ЭОП}$ $S_{нач-100\%} = S_{кон-100\%} = S_{макс}$ (максимум сигнала) (рис. 1 б). Для всех рисунков $\Delta S_{ЗВ} = 30$ м. На рис. 1 и рис. 2 все характерные расстояния ($S_{нач}$, $S_{кон}$, $S_{нач-100\%}$ и $S_{кон-100\%}$) для рисунков с одинаковыми буквами совпадают, поскольку их значения определяются временами $\Delta t_{лаз}$ и $\Delta t_{ЭОП}$ [4].

Регистрация сигналов E и $E_{ПОР}$ в АИСВ со стробированием начинается только спустя время $\Delta t_{зад}$ после начала высвечивания импульса подсветки, когда включается ЭОП [4]. Для $E_{ПОР}$ это означает, что объект должен находиться на расстоянии прямой видимости $S \geq S_{зад}$. Известно [4], что $S_{зад} = S_{кон-100\%}$ при $\Delta t_{лаз} > \Delta t_{ЭОП}$, $S_{зад} = S_{макс}$ при $\Delta t_{лаз} = \Delta t_{ЭОП}$ и $S_{зад} = S_{нач-100\%}$ при $\Delta t_{лаз} < \Delta t_{ЭОП}$. Поэтому на рис. 1 и рис. 2 расстояния $S_{нач-ПОР}$, соответствующие началу формирования сигнала ПОР, расположены на разном удалении, например, от точки $S_{нач}$. Процессу формирования ПОР соответствуют разные длины $\Delta S_{ПОР}$ в пределах $\Delta S_{ЗВ}$. Оценим сейчас соотношение их абсолютных значений. При $\rho = 0,5$ вычисляем: $\rho/\pi = 0,16$. Пусть $\beta_\pi = 0,27 \cdot 10^{-4}$ м⁻¹ср⁻¹. Тогда сигнал $E_{ПОР}$ будет меньше E в $\beta_\pi/(\rho/\pi) \sim 1,7 \cdot 10^{-4}$ раз. Это подтверждается сравнением, например, величин $E^{макс}$ и $E_{ПОР}^{макс}$. Таким образом, для рассмотренных параметров АИСВ влияние ПОР на величину контраста пренебрежимо мало.

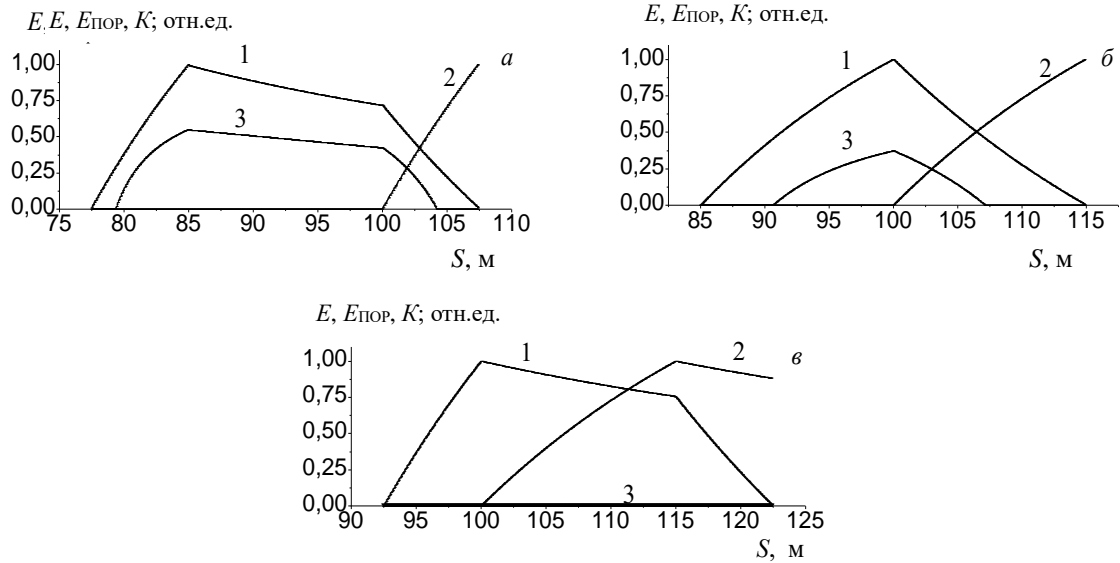


Рис. 1. – Зависимость вычисленных величин сигналов E (1), $E_{\text{ПОР}}$ (2) и контраста K (3) от расстояния S до объекта; $S_M = 20$ км; $N_{\text{лаз}} = 2$; (а) – $\Delta t_{\text{лаз}} = 150$ нс, $\Delta t_{\text{ЭОП}} = 50$ нс, $E^{\text{макс}} = 1,4 \cdot 10^{-12}$ Дж, $E_{\text{ПОР}}^{\text{макс}} = 2,3 \cdot 10^{-17}$ Дж; (б) – $\Delta t_{\text{лаз}} = 100$ нс, $\Delta t_{\text{ЭОП}} = 100$ нс, $E^{\text{макс}} = 8,7 \cdot 10^{-13}$ Дж, $E_{\text{ПОР}}^{\text{макс}} = 1,8 \cdot 10^{-17}$ Дж; (в) – $\Delta t_{\text{лаз}} = 50$ нс, $\Delta t_{\text{ЭОП}} = 150$ нс, $E^{\text{макс}} = 1,1 \cdot 10^{-13}$ Дж, $E_{\text{ПОР}}^{\text{макс}} = 4,3 \cdot 10^{-18}$ Дж.

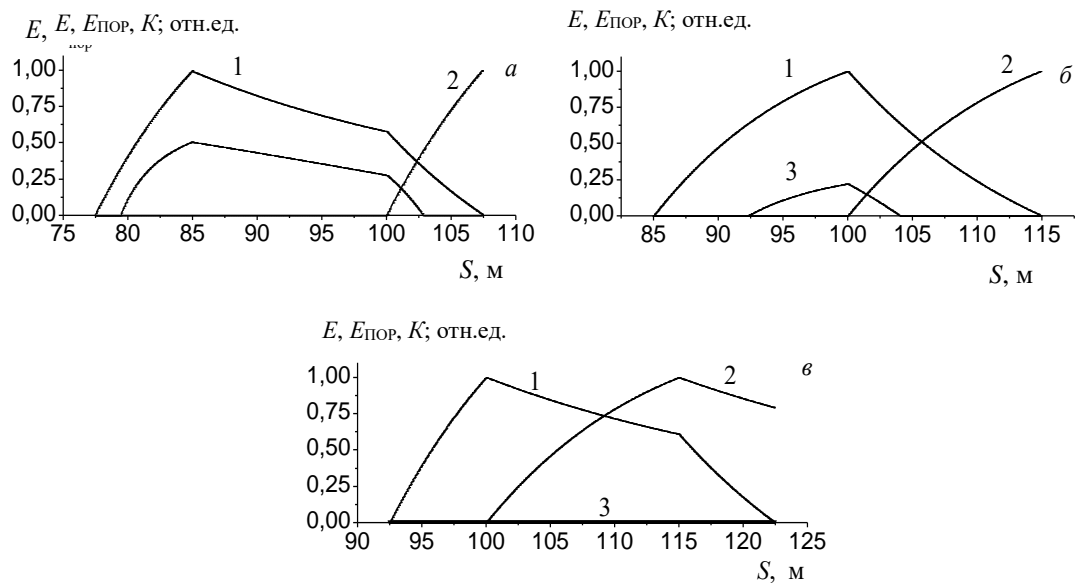


Рис. 2. – Зависимость вычисленных величин сигналов E (1), $E_{\text{ПОР}}$ (2) и контраста K (3) от расстояния S до объекта; $S_M = 0,35$ км; $N_{\text{лаз}} = 6$; (а) – $\Delta t_{\text{лаз}} = 150$ нс, $\Delta t_{\text{ЭОП}} = 50$ нс, $E^{\text{макс}} = 1,2 \cdot 10^{-12}$ Дж, и $E_{\text{ПОР}}^{\text{макс}} = 1,6 \cdot 10^{-15}$ Дж; (б) – $\Delta t_{\text{лаз}} = 100$ нс, $\Delta t_{\text{ЭОП}} = 100$ нс, $E^{\text{макс}} = 6,3 \cdot 10^{-13}$ Дж, $E_{\text{ПОР}}^{\text{макс}} = 1,1 \cdot 10^{-15}$ Дж; (в) – $\Delta t_{\text{лаз}} = 50$ нс, $\Delta t_{\text{ЭОП}} = 150$ нс, $E^{\text{макс}} = 7,8 \cdot 10^{-14}$ Дж, $E_{\text{ПОР}}^{\text{макс}} = 2,8 \cdot 10^{-16}$ Дж.

Прежде всего отметим, что при вычислении контраста K с помощью выражения (1) величины E и $E_{\text{ПОР}}$ заменялись на $E_{\text{шп}}$, если при расчетах их значения оказывались меньше $E_{\text{шп}}$. Из рис. 1, а, и рис. 1, б, рис. 2, а, и рис. 2, б видно, что длина зоны положительного контраста $\Delta S_{K-\text{пол}} < \Delta S_{\text{ЗВ}}$. Интервалы зоны видимости с нулевым

контрастом соответствуют расстояниям, где значение E меньше $E_{\text{шп}}$. Эти интервалы расположены в окрестностях характерных расстояний $S_{\text{нач}}$ и $S_{\text{кон}}$, где величина сигнала E стремится к нулевому значению. На рис. 1, в, и рис. 2, в в пределах всей зоны видимости контраст равен нулю. Это объясняется тем, что E меньше $E_{\text{шп}}$. Сравнение соответствующих значений $E^{\text{макс}}$ и $E_{\text{шп}}$ подтверждает это. Из анализа рис. 1 и рис. 2 следует, что увеличение $\Delta t_{\text{лаз}}$ ведет к росту сигнала E (и, как следствие, росту $E_{\text{пор}}$). При этом интервал $\Delta S_{\text{к-пол}}$ также возрастает. Таким образом, для увеличения абсолютного значения контраста и длины зоны его положительного значения при ясной погоде и в условиях пониженной прозрачности длительность импульса подсветки должна увеличиваться. Дополнительные расчеты показывают, что при фиксированной длине зоны видимости существует оптимальное значение $\Delta t_{\text{лаз}}$, соответствующее максимуму контраста.

Заключение

Показано, что влияние помехи обратного рассеяния излучения подсветки на контраст в активно-импульсных системах видения пренебрежимо мало. При фиксированной длине зоны видимости при ясной погоде и в условиях пониженной прозрачности атмосферы существует оптимальное значение длительности импульса подсветки $\Delta t_{\text{лаз}}$, соответствующее максимуму контраста.

Литература

1. Карасик В. Е., Орлов В. М. Лазерные системы видения: Учебное пособие. М., 2001.
2. Гейхман И. Л., Волков В. Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М., ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999.
3. Кунцевич Б. Ф., Кабашников В. П. Особенности формирования зоны видимости активно-импульсными системами видения на малых дистанциях. Журн. прикл. спектр. 2020. Т. 87, № 6. С. 984–989.
4. Горобец В. А., Кабанов В. В., Кабашников В. П., Кунцевич Б. Ф., Метельская Н. С., Шабров Д. В. Закономерности формирования изображения и определение расстояний до объекта при его движении относительно активно-импульсной системы видения. Журн. прикл. спектр. 2015. Т. 82, № 1. С. 68–75.

Influence of backscattered radiation of backlight radiation on contrast in active-pulse vision systems

B.F. Kuntsevich¹, D.V. Shabrov²

¹ *State Scientific and Production Association "Optics, Optoelectronics and Laser Technology" Minsk, Belarus; e-mail: bkun@ifanbel.bas-net.by*

² *B. I. Stepanov Institute of Physics of NAS of Belarus, Minsk*

It is shown that the influence of backscattering interference of illumination radiation on the contrast in active-pulse vision systems is negligible. With a fixed length of the visibility zone, there is an optimal backlight duration corresponding to the maximum contrast.

Keywords: active-impulse vision system, backscatter interference, contrast