

Реализация длинной полосы видимости с помощью автосканирования в активно-импульсных системах наблюдения

Б. Ф. Кунцевич

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

Предложены варианты реализации сплошной зоны видимости в активно-импульсных системах наблюдения для диапазонов 0 – 50 м и 50 – 150 м. Для этого используется режим авто-сканирования, когда за время экспозиции полукадра регистрируется совокупность зон видимости, соответствующих заполнению необходимой дистанции наблюдения.

Ключевые слова: активно-импульсная система видения; режим автосканирования зоны видимости.

Implementation of a long visibility band using autoscanning in active-pulse observation systems

B. F. Kuntsevich

State Scientific and Production Association “Optics, Optoelectronics and Laser Technology”,
Minsk, Belarus, e-mail: bkun@ifanbel.bas-net.by

Options for implementing a continuous visibility zone in active-pulse surveillance systems for the ranges 0 – 50 m and 50 – 150 m are proposed. For this, an autoscanning mode is used, when during the exposure time of a half-frame a set of visibility zones is recorded, corresponding to filling the required observation distance.

Keywords: active-pulse vision system; auto scanning mode of visibility area.

Введение

В настоящее время известно много публикаций, посвященных исследованию и разработке активно-импульсных систем видения (АИСВ) для решения различных научных и практических задач (например, [1–6]). Кратко принцип работы АИСВ можно сформулировать следующим образом. Область наблюдения освещается периодически повторяющимися лазерными импульсами, длительность которых $\Delta t_{\text{лаз}}$ значительно меньше времени $\Delta t_{\text{об}}$ распространения света до зоны наблюдения и обратно. В приемном блоке в качестве быстродействующего затвора и усилителя принимаемого отраженного светового излучения чаще всего используется электронно-оптический преобразователь (ЭОП), который синхронно включается с лазерными импульсами на время $\Delta t_{\text{фп}}$ (строб-импульс), сравнимое с $\Delta t_{\text{лаз}}$. Регулировка времени задержки $\Delta t_{\text{зад}}$ между началами импульсов подсветки и стробирования изменяет расстояние до зоны наблюдения. АИСВ позволяют наблюдать объекты в сравнительно узком слое пространства, называемом зоной видимости (ЗВ). Ранее принималось, что длина ЗВ равна: $\Delta S_{\text{ЗВ}}^T = c(\Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{фп}})/2$. Первоначально АИСВ предназначались для наблюдения в условиях пониженной прозрачности атмосферы (дымка, туман,

дождь и т. п.), поскольку вследствие стробирования они позволяют «отсекать» сильный сигнал помехи обратного рассеяния от близко расположенного слоя дымки, тумана и др. К настоящему времени область применения таких систем значительно расширилась. В частности, АИСВ используются для высокоточного определения расстояний до объектов и построения так называемых трехмерных (3D) изображений [4–6].

Недавно было установлено [7], что при сравнительно малых расстояниях (условно $S \leq 50$ м), в пределах которых ведется наблюдение с помощью АИСВ, пространственно-энергетический профиль (ПЭП) зоны видимости, т.е. зависимость величины регистрируемого сигнала E от расстояния S , обладает отличительной особенностью. В этом случае ПЭП приобретает форму выпуклых асимметричных кривых со сравнительно коротким на полувысоте максимумом $\Delta S_{1/2}$ ($\Delta S_{1/2} \ll \Delta S_{ЗВ}$), смещенным в предельном случае к началу зоны видимости.

Настоящая работа посвящена исследованию возможностей формирования «сплошных» зон видимости с $\Delta S_{ЗВ} \sim 50$ м в диапазоне $S \leq 150$ м. Это задача является актуальной, например, при разработке систем на основе АИСВ для обеспечения навигации транспортных средств в сложных погодных условиях.

1. Используемые уравнения и приближения

Выражение для величины регистрируемого сигнала E можно записать в виде (например, [7]):

$$E = E_0 S^2 \exp(-2\alpha S) \int L(t - 2S/c) G(t - \Delta t_{\text{зад}}) dt, \quad (1)$$

где S – расстояние до объекта, который находится в пределах ЗВ; E_0 – константа, не зависящая от S ; α – показатель ослабления лазерного излучения в атмосфере; t – время, c – скорость света, L и G – функции, описывающие временные зависимости интенсивности излучения лазерной подсветки и чувствительности (коэффициента усиления) приемного блока (строб-импульса).

В дальнейшем множитель

$$E_{\text{св}} = \int L(t - 2S/c) G(t - \Delta t_{\text{зад}}) dt, \quad (2)$$

обусловленный физическим принципом работы АИСВ, будем называть множителем-сверткой, а множитель

$$E_{\text{пр}} = S^2 \exp(-2\alpha S) - \quad (3)$$

пространственным, поскольку он в явном виде учитывают расстояние.

Известно, что в АИСВ существует так называемый шумовой порог [2]. Это означает, что даже в отсутствие входного излучения в приемном канале присутствует сигнал, соответствующий шумовому порогу. Поставим ему в соответствие, аналогично [7], некоторое значение энергии шумового порога $E_{\text{шп}}$. В дальнейшем при вычислении величины сигналов E при использовании выражения (1) учитывается, что значения E не могут быть меньше $E_{\text{шп}}$.

2. Результаты расчетов и их обсуждение

Расчеты выполнены для следующих параметров: форма импульса лазерной подсветки соответствовала одной из экспериментальных реализаций, а форма коэффициента усиления задавалась в виде прямоугольника; $E_{\text{шп}} = 1 \cdot 10^{-12}$ Дж; $G_m = 40000$ (амплитуда прямоугольной функции G). На рис. 1 и рис. 2 расчеты выполнены для $\Delta t_{\text{лаз}} = 4$ нс и $\Delta t_{\text{фп}} = 150$ нс. Значение $\Delta t_{\text{лаз}}$ выбрано из условия, что в режиме движения с ближним светом (ДБС; $S \leq 50$ м) ближайший объект находится на расстоянии ~ 2 м, а $\Delta t_{\text{лаз}} = \Delta t_{\text{об}}/3$. Для увеличения $\Delta S_{\text{ЗВ}} = c(\Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{фп}})/2$ длительность строб-импульса выбрана значительно большей. Здесь введено обозначение: $N_{\text{лаз}}$ – число лазерных импульсов, регистрируемое в течение полукадра (20 мс), равное числу строб импульсов.

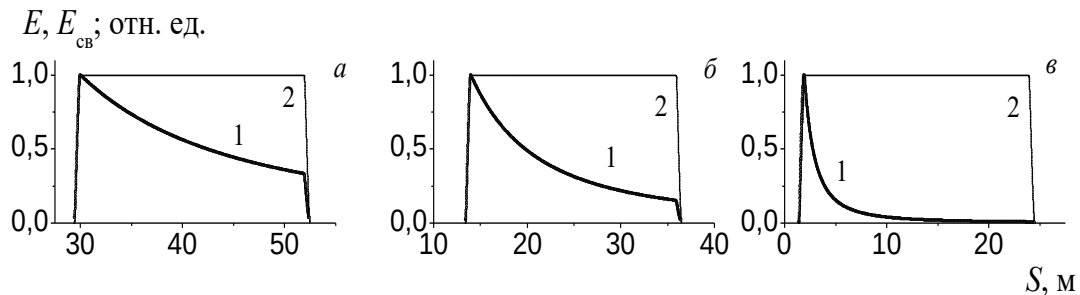


Рис. 1. Зависимости величин E (1) и $E_{\text{св}}$ (2) от расстояния S ; $S_{\text{зад}} = c\Delta t_{\text{зад}}/2 = 30$ (а), 14 (б) и 2 м (в); $N_{\text{лаз}} = 300$ (а), 98 (б) и 7 (в); $E_m = 2,7 \cdot 10^{-11}$ (а), $4,6 \cdot 10^{-11}$ (б) и $1,5 \cdot 10^{-10}$ Дж (а)

Из рис. 1, а видно, что начальные участки кривых 1 и 2 практически совпадают. Это обусловлено сравнительно малым значением $\Delta t_{\text{лаз}} = 4$ нс. Известно [8], что в данном случае длина фронта ЗВ $\Delta S_{\text{фр}} = c\Delta t_{\text{лаз}}/2 = 0,6$ м. При используемом масштабе S фронты близки к вертикальным линиям. При уменьшении $S_{\text{зад}}$ (рис. 1, б и рис. 1, в) уменьшается $\Delta S_{1/3}$ – длина ПЭП на уровне $E_m/3$, где E_m – максимальное значение сигнала в пределах ЗВ. Рисунок 1, в демонстрирует только уменьшение $\Delta S_{1/3}$. Сдвиг максимума сигнала к началу зоны видимости наглядно не проявляется, поскольку мало значение $\Delta S_{\text{фр}}$. Отметим, что в данном случае $\Delta S_{\text{ЗВ}}^T = 23,1$ м. Для рис. 1, а: $E_m = 2,7 \cdot 10^{-11}$ Дж, $\Delta S_{1/3} = 22,3$ м ($m = \Delta S_{1/3}/\Delta S_{\text{ЗВ}}^T = 0,96$), а для рис. 1, в: $E_m = 1,5 \cdot 10^{-10}$ Дж, $\Delta S_{1/3} = 1,8$ м ($m = 0,08$). При расчетах вследствие учета $E_{\text{шп}}$ получено несколько меньшее значение: $\Delta S_{\text{ЗВ}} \approx 22,9$ м. Дополнительный анализ показывает, что уменьшение m более чем на порядок (практически преобразующее форму ПЭП) и значительное увеличение E_m обусловлены преобладающим влиянием пространственного множителя $E_{\text{пр}}$ (в основном $1/S^2$) на малых расстояниях, поскольку при $S \rightarrow 0$ значение $E_{\text{пр}} \rightarrow \infty$ [7]. Из приведенных результатов следует, что реализовать режим ДБС с помощью только одной зоны видимости нельзя из-за очень малого значения m . Для этого необходимо, например, за время экспозиции одного полукадра изображения путем автоматического перемещения ЗВ получить «суммарное» изображение с максимально возможной одинаковой яркостью в пределах необходимого интервала дистанции. Аналогичный подход использовался ранее в работе [9].

Пример такой реализации приведен на рис. 2. В данном случае использовано десять зон. Их номера обозначены на рис. 2, б, а также в подписи к рисунку указаны в скобках для величин $S_{\text{зад}}$ и $N_{\text{лаз}}$. Параметр $N_{\text{лаз}}$ равен числу лазерных импульсов (и строб-импульсов), которые суммируются видеокамерой за время полукадра (20 мс) для каждой из ЗВ. Кривая на рис. 2, а представляет собой результирующий сигнал, полученный в результате суммирования десяти отдельных ПЭП, приведенных на рис. 2, б. Число импульсов $N_{\text{лаз}}$ для каждой зоны подбиралось численным путем. Шаг изменения $S_{\text{зад}}$ для первых пяти зон (где $\Delta S_{1/3}$ (1-я зона) = 1,8 м – очень мало) составлял 2 м, а для остальных ($\Delta S_{1/3}$ (6-я зона) = 10,6 м) – 4 м. Из рис. 2, а видно, что результирующая освещенность на дистанции 0 – 50 м промодулирована. Для уменьшения глубины модуляции $E_{\text{сум}}$ необходимо уменьшать шаг изменения $S_{\text{зад}}$. Значение $\Delta t_{\text{лаз}}$ выбрано из условия, что в режиме движения с ближним светом (ДБС; $S \leq 50$ м) ближайший объект находится на расстоянии 2 м, а $\Delta t_{\text{лаз}} = \Delta t_{206}/3$. При этом для увеличения $\Delta S_{\text{ЗВ}} = c(\Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{фп}})/2$ длительность строб-импульса выбрана значительно большей.

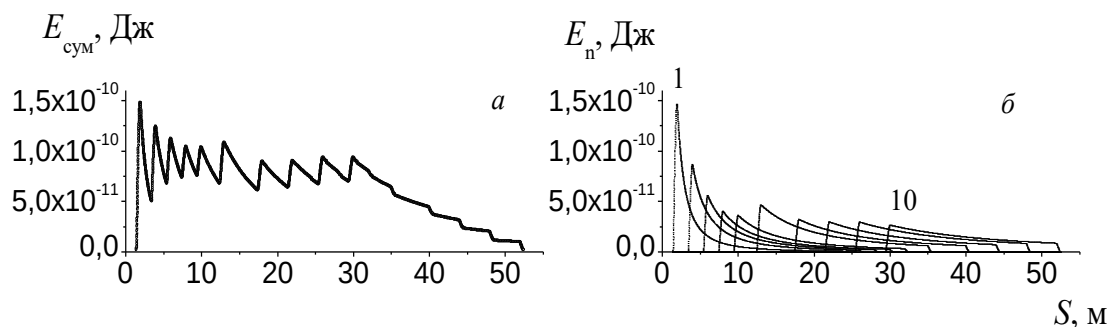


Рис 2. Зависимости величин просуммированной по десяти ЗВ энергии $E_{\text{сум}}$ (а) и ПЭП E_n (б) для каждой из зон от расстояния S ; $S_{\text{зад}} = 2$ (1), 4 (2), 6 (3), 8 (4), 10 (5), 14 (6), 18 (7), 22 (8), 26 (9), и 30 м (10); $N_{\text{лаз}} = 7$ (1), 17 (2), 25 (3), 32 (4), 45 (5), 98 (6), 130 (7), 180 (8), 130 (9), и 300 (10)

Рассмотрим сейчас режим движения с дальним светом (ДДС), которому условно соответствует освещаемая полоса в диапазоне 40 – 150 м. Выберем значение $\Delta t_{\text{лаз}} = 90$ нс из условия, что в режиме ДДС ближайший объект находится на расстоянии 40 м, а $\Delta t_{\text{лаз}} = \Delta t_{206}/3$. Результаты расчетов при учете только девяти зон видимости приведены на рис. 3. Из сравнения рис. 3, б и рис. 2, б видно, что на дистанциях 40–150 м эффект уменьшения длины зоны видимости $\Delta S_{1/3}$ не проявляется. По этой причине глубина модуляции сигнала на рис. 3, а пренебрежимо мала. Кроме того, значение $E_{\text{сум}}$ в области «платообразного» участка превышает максимальные значения E_n .

Полученные результаты можно кратко обобщить следующим образом. В режиме движения с ближним светом (дистанция подсветки 0–50 м) из-за необходимости выбора малых длительностей импульсов подсветки (~ 4 нс) и малых рабочих дистанций вследствие сильного уменьшения длины зоны видимости (например, на уровне 1/3 от максимального значения сигнала) для получения

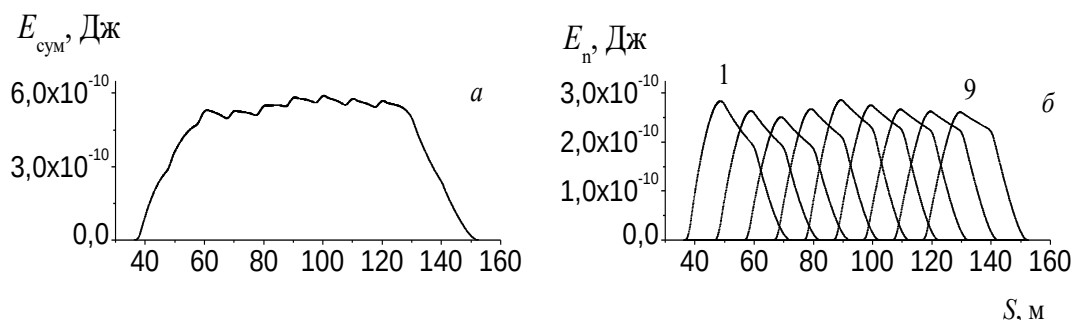


Рис. 3. Зависимости величин просуммированной по девяти ЗВ энергии $E_{\text{сум}}$ (а) от расстояния S и ПЭП E_n (б) для каждой из зон; $S_{\text{зад}} = 50$ (1), 60 (2), 70 (3), 80 (4), 90 (5), 100 (6), 110 (7), 120 (8) и 130 м (9); $N_{\text{лаз}} = 17$ (1), 23 (2), 30 (3), 42 (4), 57 (5), 68 (6), 80 (7), 94 (8) и 110 (9)

равномерной освещенности необходимо использовать при автосканировании более десяти зон подсветки. В режиме движения с дальним светом (дистанция подсветки 40 – 150 м) указанные выше эффекты не проявляются и для реализации равномерной освещенности дорожной обстановки вполне достаточно девяти зон видимости.

Библиографические ссылки

1. Гейхман И. Л., Волков В. Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях, Москва, ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999.
2. Карасик В. Е., Орлов В. М. Лазерные системы видения: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
3. Волков В. Г., Случак Б. А. Новые лазерные приборы наблюдения // Контенант. 2016. Т. 15, № 3. С. 62–70.
4. Goehler B., Lutzmann P. Review on short-wavelength infrared laser gated-viewing at Fraunhofer IOSB // Optical Engineering. 2017. Vol. 56(3). P. 031203.
5. Laurenzis M., Bacher E. Image coding for three-dimensional range-gated imaging // Appl. Optics. 2011. Vol. 50, N21. P. 3824–3828.
6. Three-dimensional range-gated flash LIDAR for land surface remote sensing / X. Wang [et al.] // Proc. SPIE. 2014. Vol. 9260. P. 92604L.
7. Кунцевич Б. Ф. Сравнение пространственно-энергетических профилей зон видимости активно-импульсных систем видения для двух способов наблюдения / Б. Ф. Кунцевич, И. Н. Пучковский, С. С. Шавель // Журн. прикл. спектр. 2023. Т. 90, № 5. С. 795–805.
8. Закономерности формирования изображения и определение расстояния до объекта при его движении относительно активно-импульсной системы видения / В. А. Горобец [и др.] // Журн. прикл. спектр. 2015. Т. 82, № 1. С. 68–75.
9. Кабашиников В. П., Кунцевич Б. Ф. Коррекция неравномерной яркости изображения в активно-импульсных системах с автосканированием. Сборник научных статей I международной научно-технической конференции «ОПТО-, МИКРО- и СВЧ-электроника – 2018», Минск, 22–26 октября 2018 г. Минск, 2018. С. 256–259.