



УДК 623.62
ГРНТИ 78.25.41.15.07

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ КАДРОВ

*А.Ю. КОЗИРАЦКИЙ, доктор технических наук, профессор
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
А.И. ГРЕВЦЕВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
В.В. КАПИТАНОВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
О.В. КУСАКИН, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Рассмотрен способ определения пространственных координат объекта наблюдения лазерной локационной станцией военного назначения на основе обработки последовательности кадров. Предложен подход к заданию порога сравнения откликов элементов матричного фотоприемного устройства. Проведена оценка точности определения координат в условиях флуктуации яркости изображения.

Ключевые слова: лазерная локационная станция; матричный фотоприемник; элемент фотоприемника, пространственные координаты.

OBJECTS SPATIAL COORDINATES DETERMINATION METHOD BY THE MILITARY PURPOSE LASER RADAR STATION ON THE BASIS OF A FRAME SEQUENCE PROCESSING

*A.YU. KOZIRATSKIJ, Doctor of technical sciences, Professor
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
A.I. GREVTSEV, Candidate of technical sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
V.V. KAPITANOV, Candidate of technical sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
O.V. KUSAKIN, Candidate of technical sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

Objects spatial coordinates determination method by the military purpose laser radar station on the basis of a frame sequence processing is considered. An approach is proposed for setting the threshold for comparing the responses of elements of a matrix photodetector device. A coordinates determination accuracy estimation under conditions image brightness fluctuation of the is carried out.

Keywords: laser locating station; matrix photodetector; photodetector element; spatial coordinates.



В настоящее время для определения пространственных координат объектов активно используются оптико-электронные средства активной локации, которые состоят из лазерного передающего устройства, приемного устройства оптического излучения, подсистем анализа и управления (рисунок 1) [1-2].

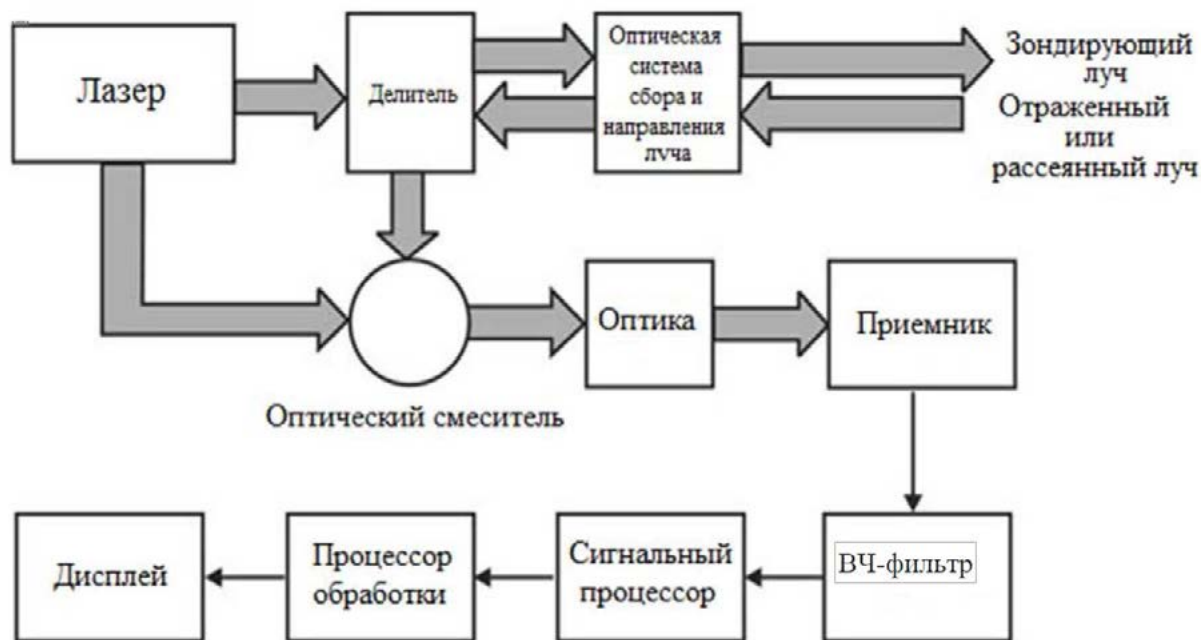


Рисунок 1 – Принципиальная схема лазерной локационной станции

Лазерная локационная станция (ЛЛС) осуществляет сканирование пространства по углу места и азимуту за счёт механического перемещения элементов локатора (рисунок 2). По величине этого перемещения определяются пространственные координаты. В этом случае среднеквадратические ошибки азимута и угла места будут существенно зависеть от конструкции механической части оптического локатора [1-2].

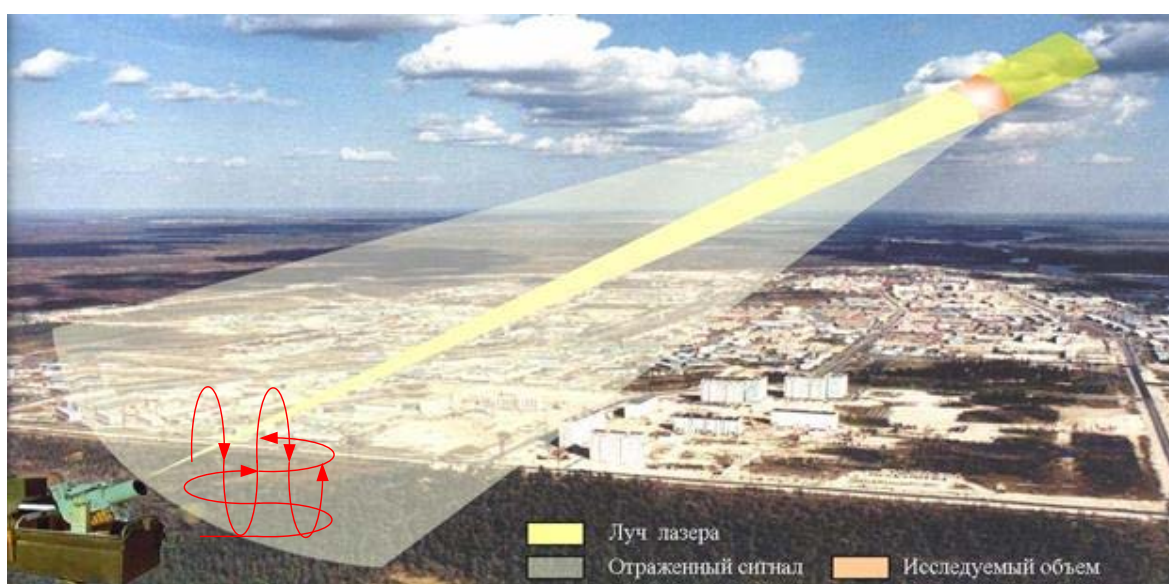


Рисунок 2 – Сканирование пространства ЛЛС



Для повышения точности определения угловых координат или возможности их измерения при выходе из строя измерительных элементов механической части необходимо использовать принципиально новые способы, основанные на пространственно-временной обработке регистрируемых изображений (кадров). Предпосылками использования таких способов является существенное развитие матричных фотоприемных устройств, использование методов цифровой обработки сигналов [3] и существующих алгоритмов повышения разрешения [4,5].

Таким образом, **целью статьи** является разработка способа определения пространственных координат объектов лазерной локационной станцией военного назначения на основе обработки последовательности кадров.

Суть предлагаемого способа заключается в следующем. Лазерная локационная станция, функционирующая в импульсном режиме, осуществляет сканирование заданного сектора пространства. В качестве приемника ЛЛС используется матричный фотоприемник (МФП), который, принимая отраженное оптическое излучение, формирует изображение участка обзораемого пространства.

От кадра к кадру ЛЛС перемещает свое поле зрения, в результате чего два последовательно сформированных кадра будут иметь общую прямоугольную область, размеры и положение которой пропорциональны изменению углового положения передающего канала лазерного локатора.

На рисунке 3 приведена схема, поясняющая существо способа, где 1 – формируемое МФП 1-е изображение; 2 – формируемое МФП 2-е изображение; 3 – область перекрытия последовательно формируемых изображений; d и h – размеры МФП; Δx , Δy – размеры области перекрытия изображений; O и O_1 – центры координат изображений 1-го и 2-го изображений; XOY и $X_1O_1Y_1$ – системы координат 1-го и 2-го изображений отраженных оптических излучений; $\Delta\alpha$ и $\Delta\varepsilon$ – смещения азимута и угла места объекта.

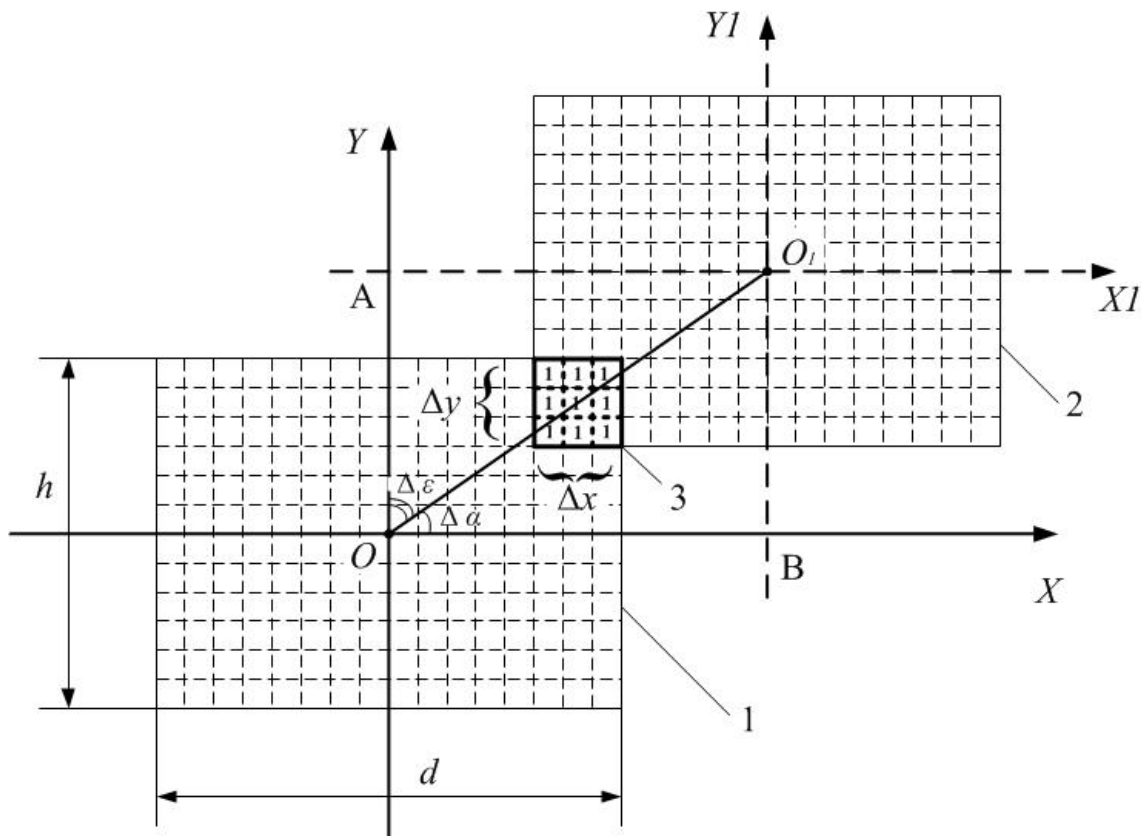


Рисунок 3 – Геометрия задачи



Для определения пространственного смещения последовательности кадров относительно друг друга разработана вычислительная схема пространственно-временной обработки двух кадров, показанная на рисунке 4.



Рисунок 4 – Вычислительная схема пространственно-временной обработки кадров

Схема работает следующим образом. На выходе МФП на каждом такте обработки формируется матрица яркостей, соответствующая получаемому изображению. Блок запоминания осуществляет запись в память текущую матрицу яркостей \mathbf{m} и хранение полученной на предыдущем шаге матрицы яркостей \mathbf{n} . После записи данных в память, в процессе получения следующего кадра изображения, происходит определение углового перемещения текущего кадра относительно предыдущего. Для этого блок поэлементного перебора и бинаризации осуществляет сравнение элементов $m_{i,j}$ текущей матрицы \mathbf{m} со всеми элементами $n_{l,k}$ предыдущей матрицы \mathbf{n} , где $i, l \in [1 \dots N]$, $j, k \in [1 \dots M]$, $M \times N$ – размерность МФП. Далее исследуется их сходство. Учитывая, что полного совпадения элементов участка перекрытия, как правило, не бывает из-за шумов и искажений, то вводится в рассмотрение некая мера различия, которая показывает допустимый уровень схожести элементов:

$$|m_{i,j} - n_{l,k}| < L_\epsilon, \quad (1)$$

где L_ϵ – порог, зависящий от интенсивности шумов и чувствительности элементов матричного фотоприемника, $m_{i,j}$ и $n_{l,k}$ – яркости элементов матриц \mathbf{m} и \mathbf{n} соответственно.

Далее осуществляется процедура бинаризации, которая при выполнении на текущем шаге условия (1), присваивает элементу $m_{i,j}$ значение «единица». По окончании сравнения всем элементам, не удовлетворившим условию (1) – присваивает «ноль».

Полученная матрица, элементы которой имеют нулевые и единичные значения, поступает в блок определения положения перекрывающихся участков. Данный блок осуществляет нахождение значений координат ячеек через определение положения единичных строк и столбцов. Условием нахождения перекрывающейся области считается наличие четырех единичных ячеек в виде локальной матрицы размерностью 2×2 элемента.

Полученные значения координат элементов матрицы, являющиеся вершинами прямоугольной области перекрытия, поступают в блок расчета углового смещения последовательности изображений относительно друг друга.

Таким образом, вычислительная схема позволяет в двумерной системе координат XOY текущего изображения определить размеры зоны перекрытия в виде координат начала и конца соответствующих строк и столбцов, по которым, с учетом проекций на соответствующие координатные оси OX и OY , определяются смещения азимута и угла места, а также текущие значения азимута и угла места объекта следующими выражениями:



$$\Delta\alpha = \arctg\left(\frac{BO_1}{OB}\right) = \arctg\left(\frac{h - \Delta y}{d - \Delta x}\right), \quad (2)$$

$$\Delta\varepsilon = \arctg\left(\frac{AO_1}{OA}\right) = \arctg\left(\frac{d - \Delta x}{h - \Delta y}\right), \quad (3)$$

$$\alpha_N = \alpha_{N-1} + \Delta\alpha, \quad (4)$$

$$\varepsilon_N = \varepsilon_{N-1} + \Delta\varepsilon. \quad (5)$$

Размеры области перекрытия определяются выражениями:

$$\Delta x = x_{нач} - x_{кон}, \quad (6)$$

$$\Delta y = y_{нач} - y_{кон}, \quad (7)$$

где $x_{нач}$, $x_{кон}$, $y_{нач}$ и $y_{кон}$ – координаты чувствительных элементов МФП, соответствующие началу и окончанию области перекрытия по двум осям.

Предполагая, что получаемое на выходе МФП изображение может быть искажено вследствие влияния внешних факторов, оценим работоспособность способа в этих условиях. Рассматриваемые изображения представлены в виде оттенков серого с уровнем яркости от 0 (пиксель черного цвета) до 255 единиц (пиксель белого цвета). Флуктуация яркости изображений подчинены усеченному нормальному закону с нулевым средним, среднеквадратическое отклонение (СКО) задано в уровнях яркости. Так как для определения углового смещения необходимо знать размер и координаты области перекрытия, то выходными данными будет являться число элементарных фотоприемников, показывающих величину смещения кадров относительно друг друга по соответствующим осям. Порог сравнения в выражении (1) задается как разность СКО яркостей двух последовательных кадров изображения.

Структура имитационной модели, позволяющей исследовать влияние флуктуации яркости принимаемого излучения на точность определения величины смещения кадров относительно друг друга по соответствующим осям, имеет вид, представленный на рисунке 5.

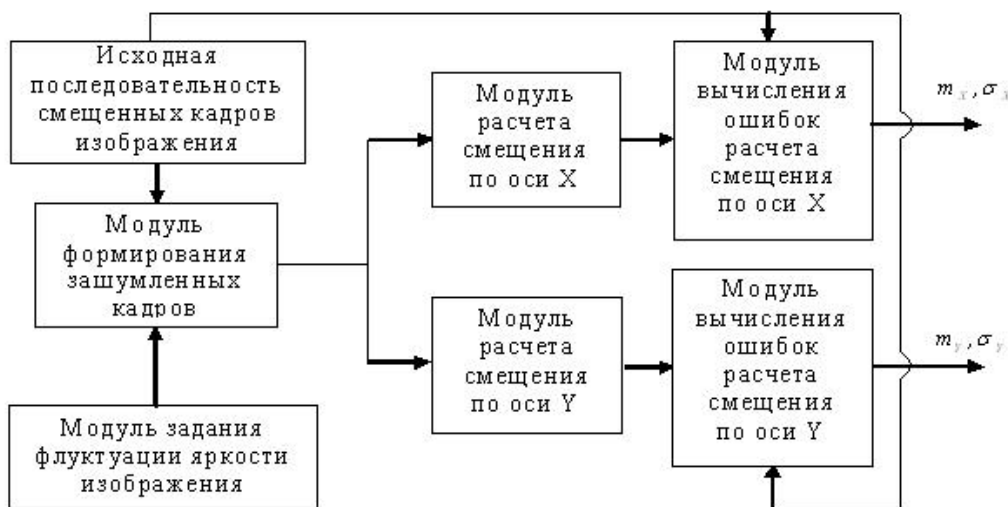


Рисунок 5 – Структурная схема имитационной модели



На рисунке 6 приведены зависимости математического ожидания и СКО величины смещения кадров от СКО флуктуации уровня яркости. Размер МФП 9x9 элементов. Анализ зависимостей, представленных на рисунке 6 показывает, что точность определения величины смещения зависит от величины флуктуации уровня яркости получаемого изображения, при этом результаты совпадают с истинными вплоть до значений флуктуации яркости $\sigma_{изоб} \approx 4.5$ ед. Учтывая, что за время смены кадров изменение шумового уровня яркости незначительно, то это позволяет говорить о работоспособности способа в условиях сильных возмущающих воздействий.

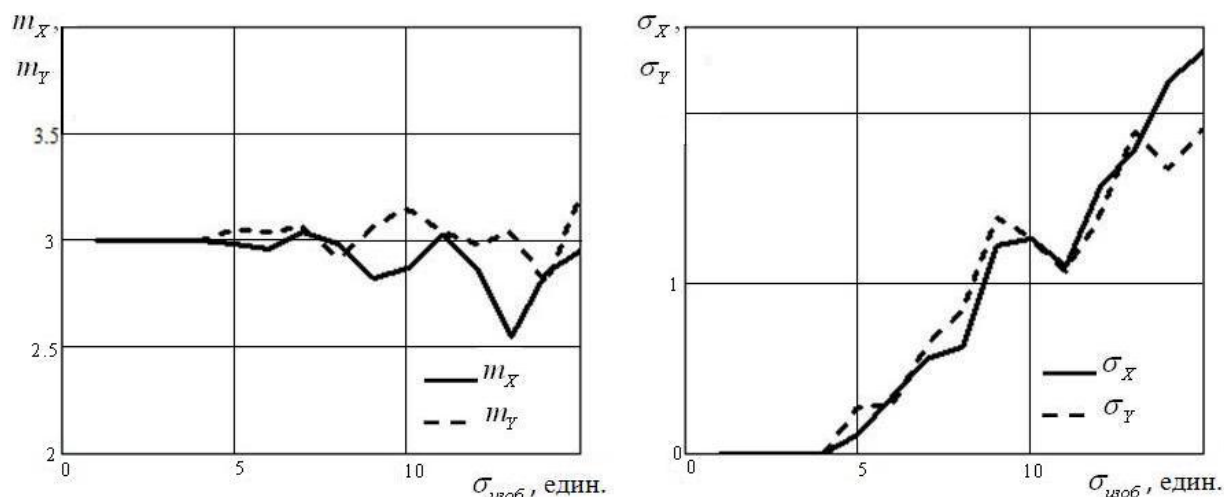


Рисунок 6 – Зависимости m_x, m_y и σ_x, σ_y от $\sigma_{изоб}$ флуктуации уровня яркости изображения

Таким образом, на основе использования методов пространственно-временной обработки последовательности регистрируемых МФП кадров разработан способ, позволяющий определять угловые координаты объекта и исключающий влияние ошибок позиционирования механической части оптической системы на точность измерения угловых координат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование: Пер. с англ. / Р. Межерис. М.: Мир, 1987. 550 с.
2. Краснов А.М. Оптико-электронные системы авиационного вооружения. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2007. 1272 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М: Техносфера, 2005. 1072 с.
4. Козирацкий А.Ю., Гревцев А.И., Фролов М.М. Способ повышения разрешения оптических изображений // Радиотехника . 2015. № 12. С. 54–59.
5. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов. Монография / Под ред. Ю.Л. Козирацкого. М.: Радиотехника. 2015. 456 с.

REFERENCES

1. Mezheris R. Lazernoe distantsionnoe zondirovanie: Per. s angl. / R. Mezheris. M.: Mir, 1987. 550 s.



2. Krasnov A.M. Optiko-ehlektronnye sistemy aviatsionnogo vooruzheniya. M.: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2007. 1272 s.
3. Gonsales R., Vuds R. TSifrovaya obrabotka izobrazhenij. M: Tekhnosfera, 2005. 1072 s.
4. Koziratskij A.YU., Grevtsev A.I., Frolov M.M. Sposob povysheniya razresheniya opti-cheskikh izobrazhenij // Radiotekhnika . 2015. № 12. S. 54–59.
5. Obnaruzhenie i koordinatometriya optiko-ehlektronnykh sredstv, otsenka parametrov ikh signalov. Monografiya / Pod red. YU.L. Koziratskogo. M.: Radiotekhnika. 2015. 456 s.

© Козирацкий А.Ю., Гревцев А.И., Капитанов В.В., Кусакин О.В., 2018

Козирацкий Александр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, начальник кафедры радиотехники и антенно-фидерных устройств, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, sashfish@bk.ru

Гревцев Александр Иванович, кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры радиотехники и антенно-фидерных устройств, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, grevets1@rambler.ru

Капитанов Владимир Валерьевич, кандидат технических наук, преподаватель кафедры радиотехники и антенно-фидерных устройств, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, kvv256@rambler.ru

Кусакин Олег Викторович, кандидат технических наук, преподаватель кафедры радиотехники и антенно-фидерных устройств, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru