



УДК 623.62
ГРНТИ 70.25.41

ДАТЧИК ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЛУЧА АКТИВНОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА ПО РАССЕЯННОЙ В АТМОСФЕРЕ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

*П.Е. КУЛЕШОВ, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
А.Н. ГЛУШКОВ, доктор технических наук, старший научный сотрудник
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Н.В. ДРОБЫШЕВСКИЙ
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Обоснован и разработан облик датчика пространственного положения луча активного оптико-электронного средства по рассеянной в атмосфере составляющей, определен порядок функционирования его составных элементов, учитывающий пространственные преобразования входного потока оптической системой. Осуществлено моделирование работы датчика и произведена оценка его точности при определении угловых координат в режиме приема слабых сигналов.

Ключевые слова: активное оптико-электронное средство; луч; матричный фотоприемник; фоточувствительный элемент; датчик пространственного положения луча; рассеянная составляющая излучения; пространственное положение луча.

BEAM SPATIAL POSITION SENSOR of the ACTIVE OPTICAL-ELECTRONIC MEAN SCATTERED IN THE ATMOSPHERE COMPONENT

*P.E. KULESHOV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
MESCAF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
A.N. GLUSHKOV, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
MESCAF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
N.V. DROBYSHEVSKIY
MESCAF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The beam spatial position sensor image of the active optical-electronic mean scattered in the atmosphere component is substantiated and developed, the order of its component functioning is determined, taking into account the spatial transformations of the input flow by the optical system. The simulation of the sensor operation is carried out and the estimation of its accuracy in determining the angular coordinates in the mode of receiving weak signals is made.

Keywords: active optical-electronic means; beam; matrix photodetector; photosensitive element; sensor of spatial position of the beam; scattered component of radiation; spatial position of the beam.

Пространственный мониторинг активных оптико-электронных средств (АОЭС) является одной из основных задач ведения оптико-электронной разведки. Существуют различные способы пеленгации и определения пространственных координат АОЭС, из которых наибольшей разведзащищенностью обладают, осуществляющие прием рассеянного в атмосфере излучения. Это обуславливается минимальной мощностью отраженного сигнала в направлении средства разведки.

В ряде работ представлены способы определения пространственного положения луча лазерного излучения и координат носителя АОЭС, которые базируются на использовании иден-



точных матричных фотоприемников (МФП), объединенных алгоритмом вычисления угловых координат и осуществляющих прием рассеянного излучения [1-5]. При этом в МФП нет необходимости использовать всю матрицу, достаточно несколько параллельных ее линеек фоточувствительных элементов (ФЧЭ). Это определяет неоправданные энергетические затраты и снижение быстродействия МФП. Следует отметить, что взаимная установка, близкая к ортогональности матриц МФП, приводит к определенным ограничениям по площадке (пространству) мониторинга АОЭС. Разработка «компактного» быстродействующего датчика пространственного положения луча (ДППЛ) АОЭС по рассеянной в атмосфере составляющей позволит снять перечисленные выше ограничения.

Целью работы является обоснование и разработка облика ДППЛ АОЭС по рассеянной в атмосфере составляющей.

В работах [1-5] оценка пространственного положения луча по рассеянной составляющей осуществлялась по проекциям изображения луча АОЭС на плоскости двух пространственно разнесенных идентичных по своим параметрам МФП. Однако, учитывая пространственное преобразование оптической системой падающего оптического потока, появляется возможность объединения функций координатных МФП для решения задач оценки угловых координат излучений АОЭС в одном устройстве.

Для упрощения аналитического описания функционирования ДППЛ АОЭС представим оптическую систему МФП в виде (рисунок 1).

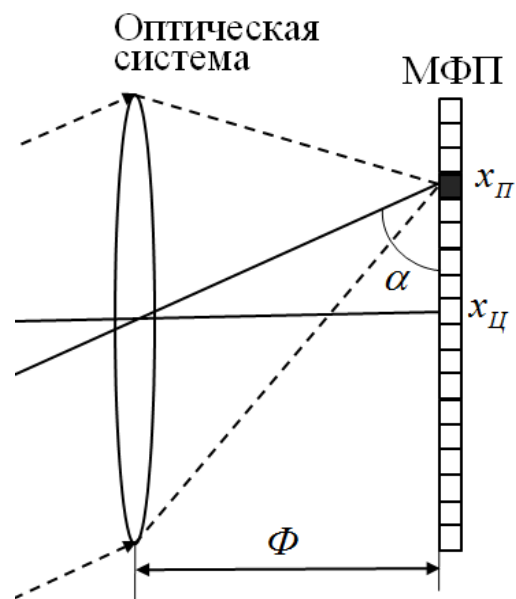


Рисунок 1 – Представление МФП, предназначенного для формирования изображения луча АОЭС по рассеянной составляющей с упрощенным представлением его оптической системы

Данная схема включает два основных элемента: объектив с фокусным расстоянием Φ и линейку ФЧЭ МФП. Такое описание МФП справедливо при любой сложности конструкции его объектива, так как опирается на фундаментальное представление об оптической системе как о линейной системе. Объектив ОЭС любой сложности, состоящий из последовательно расположенных линейных элементов (компонентов оптической системы), может быть представлен эквивалентной системой, обеспечивающей при заданных параметрах излучения на входе такие же параметры излучения на выходе, что и реальная система [1].

Введем ограничение, что изображение рассеянного излучения АОЭС, формируемого оптической системой, соизмеримо с размерами ФЧЭ МФП. Такое ограничение справедливо, так как в сформированном изображении части луча АОЭС на МФП для оценки его пространственного положения использовались координаты ФЧЭ с максимальным значением выходного сиг-



нала или его середины [1-5]. Тогда угловые координаты луча излучения АОЭС определяются выражением [1,6]:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{\Phi}{x_{II} - x_{II}} \right), \quad (1)$$

где Φ – фокусное расстояние оптической системы МФП; x_{II} – координата центрального ФЧЭ МФП; x_{II} – координата ФЧЭ МФП, на котором сформировано изображение рассеянного излучения АОЭС.

Опираясь на эквивалентное представление объектива, представим геометрическую схему (рисунок 2) локации АОЭС по рассеянной составляющей в виде ДППЛ, состоящего из установленных на оси x двух идентичных МФП, каждый ФЧЭ которых имеют координатную привязку. При этом в МФП рассматриваются только по две горизонтальные линейки ФЧЭ, а луч АОЭС попадает в их поля зрения.

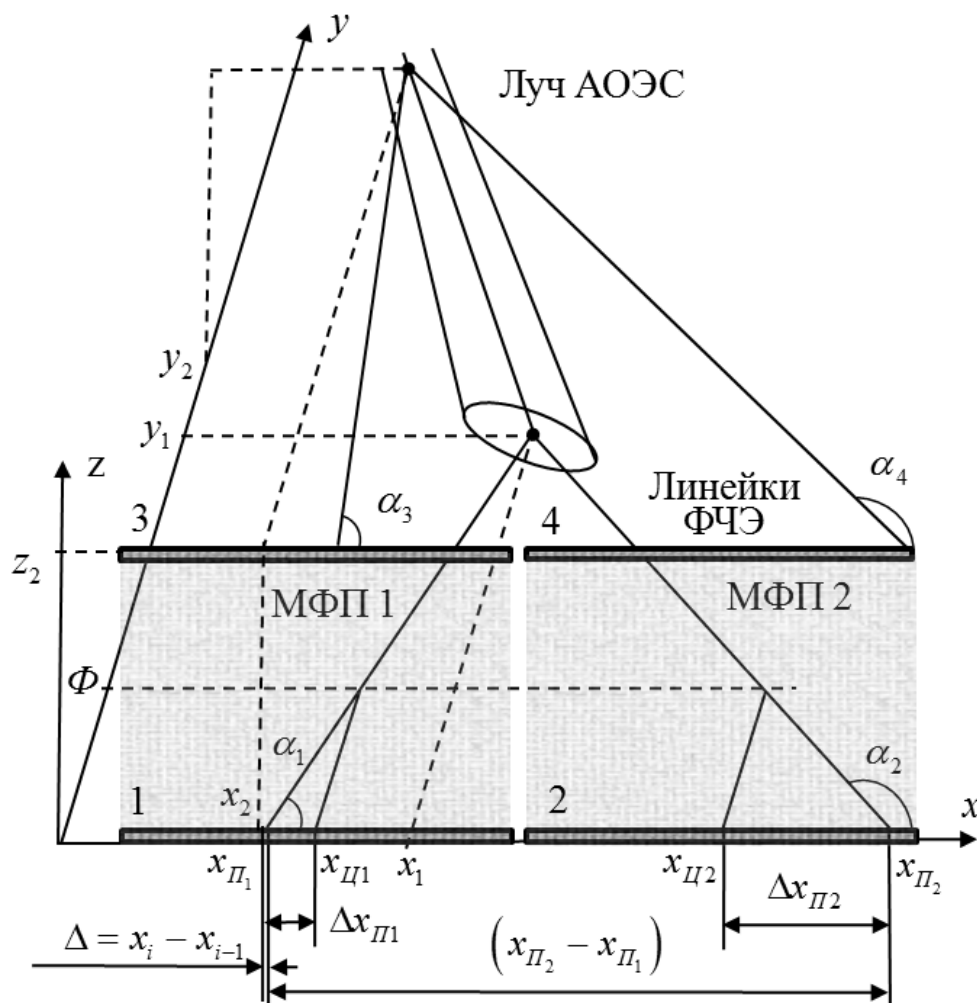


Рисунок 2 – Геометрическая схема локации АОЭС по рассеянной составляющей ДППЛ

Тогда углы пеленгов α_1, α_2 рассеянного излучения АОЭС определяемые одной парой линеек ФЧЭ ДППЛ на оси x , находятся с помощью выражений:



$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Phi}{x_{П1} - x_{Ц1}} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Phi}{\Delta x_{П1}} \right);$$

$$\alpha_2 = \pi - \operatorname{arctg} \left(\frac{\Phi}{x_{П2} - x_{Ц2}} \right) = \pi - \operatorname{arctg} \left(\frac{\Phi}{\Delta x_{П2}} \right),$$
(2)

где Φ – фокусное расстояние оптической системы; $x_{Ц1}$, $x_{Ц2}$ – координаты центральных ФЧЭ МФП 1 и 2; $x_{П1}$, $x_{П2}$ – координаты ФЧЭ МФП 1 и 2, на которых сформировано изображение рассеянного излучения АОЭС.

Используя подход для угломерной двухбазовой системы местоопределения, изложенный в [7], и осуществив параллельный перенос осей координат в точку $0,5(x_{П1} + x_{П2})$ определим координаты (x_1, y_1) части сфокусированного луча АЭОС на нижние линейки ФЧЭ ДППЛ как:

$$x_1 = 0,5(x_{П1} + x_{П2}) + \frac{(x_{П2} - x_{П1}) \sin(\alpha_1 + \alpha_2)}{2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)};$$

$$y_1 = \frac{(x_{П2} - x_{П1}) \sin \alpha_1 \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}.$$
(3)

Аналогично вычисляются координаты (x_2, y_2) части сфокусированного луча АЭОС для второй пары линеек ДППЛ (линейки ФЧЭ 3,4 рисунок 2). Значения (x_1, y_1) и (x_2, y_2) используются для получения угловых параметров пространственного положения луча АОЭС [1-5]. Для частного случая будем считать, что нижние линейки ФЧЭ ДППЛ «расположены» на подстилающей поверхности. Тогда координаты (x_1, y_1) являются координатами центра пятна подсвета АОЭС. В этом случае можно отказаться от формирования уравнения прямой и угловое положение луча АОЭС (угол места ε и азимут β) из центра пятна подсвета можно определить, используя [1-5]:

$$\varepsilon = \operatorname{arctg} \frac{z_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}, \quad \beta = \operatorname{arctg} \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)},$$
(4)

где z_2 ($z_2 - z_1 = z_2$, при $z_1 = 0$) – расстояние между линейками ФЧЭ ДППЛ.

На рисунке 3 изображена структурная схема предлагаемого ДППЛ АОЭС по рассеянной в атмосфере составляющей. ДППЛ представляет собой минимум два идентичных пеленгационных канала 1 и 2 размещенных в одном функциональном корпусе, оптические оси которых повернуты относительно друг друга под определенном углом, обеспечивающим просмотр одного сектора пространства. Соответственно каждый канал подключен к вычислителю угловых координат (микропроцессору), к которому также подключен спутниковый навигационный приемник. В вычислителе угловых координат реализована расчетная задача по определению ε и β . Каждый канал включает объектив, элементы фильтрации и матрицу ФЧЭ. Матрица ФЧЭ состоит минимум из двух параллельных линеек ФЧЭ, располагаемых на определенном расстоянии друг от друга. Это освобождает технологический ресурс для формирования матрицы без опроса ФЧЭ, что увеличивает быстродействие ДППЛ в целом и снижает энергопотребление. Порядок работы ДППЛ следующий. После размещения на местности или объекте осуществляется координатная привязка ФЧЭ путем определения координат своего местоположения спутниковым навигационным приемником и вычисления относительно них с учетом пространственной ориентации пеленгационных каналов вычислителем угловых координат текущих координат ФЧЭ. Пеленгационные каналы принимают рассеянное атмосферой излучение АОЭС и выходные сиг-



налы ФЧЭ передают в вычислитель угловых координат. Последний определяет угловые параметры пространственного положения луча АОЭС.

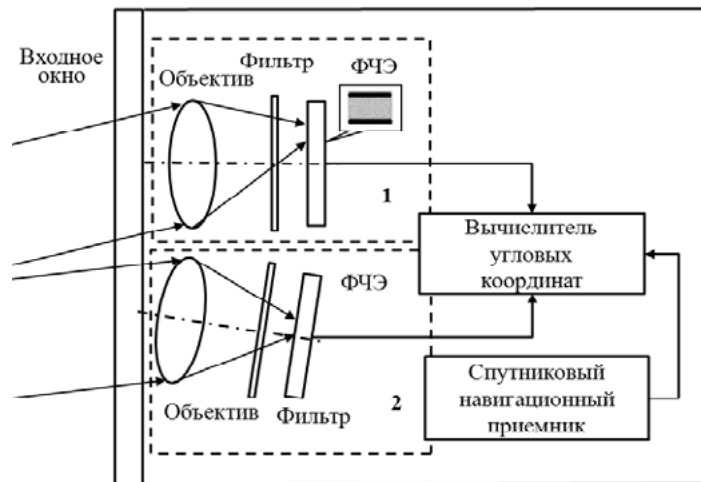


Рисунок 3 – Структурная схема ДППЛ АОЭС

Произведем оценку точности функционирования ДППЛ при определении углового положения луча АОЭС из центра пятна подсвета, используя методику, изложенную в [1,5]. В качестве показателей также выберем числовые характеристики ошибок ε^* и β^* при условии, что может произойти не более одной ошибки.

Аналогично [1, 6] введем $\Delta = |x_i - x_{i+1}|$, $\Delta = |y_i - y_{i+1}|$ – размер ФЧЭ. Тогда положение (координаты) ФЧЭ, на которых сфокусировано изображение части луча АОЭС, можно обозначить как (рисунок 1) $\Delta j, \Delta z, \Delta c, \Delta d$ где j – номер ФЧЭ нижней линейки первого пеленгационного канала ДППЛ, и соответственно z – номер ФЧЭ нижней линейки второго пеленгационного канала ДППЛ; c – номер ФЧЭ верхней линейки первого пеленгационного канала ДППЛ; d – номер ФЧЭ верхней второго пеленгационного канала ДППЛ.

Вероятность ошибочного решения одной линейкой ФЧЭ ДППЛ $P_{1,2,3,4}^*$ ДППЛ (пропуск сигнала ФЧЭ, где сфокусировано изображение, и ложная тревога на одном из N ФЧЭ) для одного измерения будет иметь вид (при условии параметрической идентичности ФЧЭ) [1,6]:

$$P_1^* \left(\frac{i}{j} \right) = P_2^* \left(\frac{k}{z} \right) = P_3^* \left(\frac{v}{c} \right) = P_4^* \left(\frac{m}{d} \right) = \frac{1}{N} \widehat{D} F \widehat{F}^{N-2}, \quad (5)$$

где $\frac{1}{N}$ – вероятность нахождения изображения луча АОЭС на ФЧЭ соответствующей линейки ДППЛ; \widehat{D} – вероятность пропуска сигнала ФЧЭ; F – вероятность ложной тревоги ФЧЭ; \widehat{F} – вероятность правильного необнаружения сигнала ФЧЭ; N – количество ФЧЭ в линейке; i, k, v, m – соответствующие номера ФЧЭ МФП, имеющие выходной сигнал при условии, что изображение сформировано на соответствующих j, z, c, d ФЧЭ ДППЛ; «*» – принадлежность к ошибке.

Учитывая выражения (2 – 4) для координат ФЧЭ ДППЛ, имеющих выходной сигнал, математическое ожидание m_β^* и дисперсия σ_β^{*2} ошибок β^* для N измерений, а также используя подход для нахождения числовых характеристик случайной величины при известной функциональной зависимости [8], примут вид (для упрощения вычислений принято: матрицы МФП лежат в плоскости xOz):



$$m_{\beta}^* = \frac{1}{N} \widehat{DF\widehat{F}}^{N-2} \times$$

$$\times \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{v=1}^N \sum_{m=1}^N \arctg \left(\frac{(m-v) \sin \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) \sin \left[\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) \right]}{\sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) \right)} - \frac{(k-i) \sin \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) \sin \left[\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) \right]}{\sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) \right)} \right);$$

$$\left(\frac{(v+c)}{2} + \frac{(m-v) \sin \left(\arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) + \pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) \right)}{2 \sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) \right)} - \frac{(i+\kappa)}{2} + \frac{(k-c) \sin \left(\arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) + \pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) \right)}{2 \sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) \right)} \right) \quad (6)$$

$$\sigma_{\beta}^{*2} = \frac{1}{N} \widehat{DF\widehat{F}}^{N-2} \times$$

$$\times \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{v=1}^N \sum_{m=1}^N \arctg \left(\frac{(m-v) \sin \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) \sin \left[\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) \right]}{\sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) \right)} - \frac{(k-i) \sin \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) \sin \left[\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) \right]}{\sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) \right)} \right) - m_{\beta}^*,$$

$$\left(\frac{(v+c)}{2} + \frac{(m-v) \sin \left(\arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) + \pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) \right)}{2 \sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(m-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(v-c)} \right) \right)} - \frac{(i+\kappa)}{2} + \frac{(k-c) \sin \left(\arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) + \pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) \right)}{2 \sin \left(\pi - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(k-w)} \right) - \arctg \left(\frac{\Phi}{\Delta(i-c)} \right) \right)} \right)^2 \quad (7)$$



где c , w – номера центральных ФЧЭ ДППЛ. Аналогично определяются m_ε^* и σ_ε^{*2} ошибок по углу места ε^* .

На рисунке 3 представлены зависимости m_β^* и σ_β^{*2} от соотношения сигнал/шум q при заданной вероятности ложной тревоги F (критерий Неймана-Пирсона [9]) и числа ФЧЭ N в линейках ДППЛ.

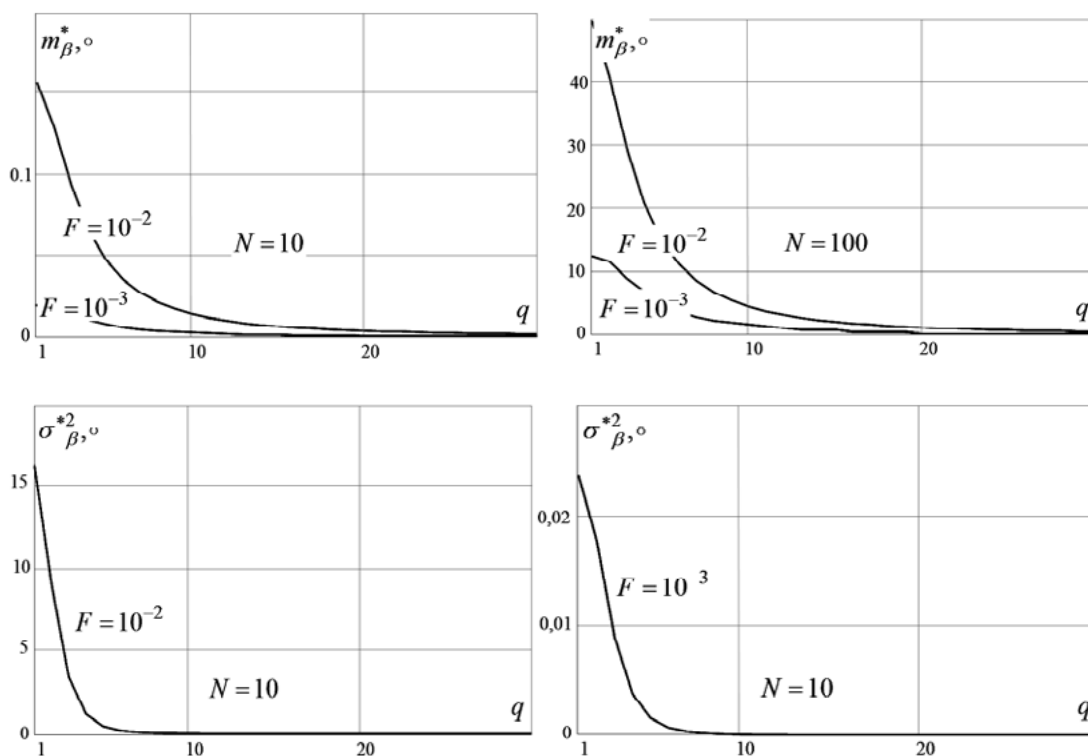


Рисунок 4 – Зависимость числовых характеристик β^* и ε^* от отношения q для различных значений F ($\Delta = 10$ мкм, $\Phi = 0,01$ м)

Анализ представленных зависимостей показывает, что «устойчивая» работа ДППЛ с минимальным значением ошибок при заданном значении F наступает для $F = 10^{-2}$ при $q \approx 20$, для $F = 10^{-3}$ при $q \approx 10$. При этом режим работы ДППЛ с минимальными значениями ошибок в меньшей степени зависит от N , а в основном определяется значением F и q .

Таким образом, обоснован и разработан облик ДППЛ АОЭС по рассеянной в атмосфере составляющей, определен порядок функционирования его составных элементов, учитывающий пространственные преобразования входного потока оптической системой. Осуществлено моделирование работы датчика и произведена оценка его точности при определении угловых координат в режиме приема слабых сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козирацкий Ю.Л., Гревцев А.И., Донцов А.А., Иванцов А.В., Кулешов П.Е. и др. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов. / Ю.Л. Козирацкий, А.И. Гревцев, А.А. Донцов, А.В. Иванцов, П.Е. Кулешов и др. М.: «ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015. 456 с.
2. Козирацкий Ю.Л., Козирацкий А.Ю. Коровин В.М. Кулешов П.Е. и др. Определение положения лазерного луча в пространстве по рассеянной составляющей / Ю.Л. Козирацкий, А.Ю. Козирацкий В.М. Коровин П.Е. Кулешов и др. // Радиотехника. 2005. №7. С. 94–98.



3. Пат. 2285275 RU, МПК G01S 17/06. Способ определения направления на источник оптического излучения по рассеянной в атмосфере составляющей и устройство его реализации / Голубев С.В., Дунец В.П., Козирацкий А.Ю., Козирацкий Ю.Л., Кулешов П.Е. и др.; заявитель и патентообладатель ВИРЭ. – 2005106700; заявл. 09.03.2005; опубл. 10.10.2006, Бюл. № 28. 9 с.
4. Пат. 2357272 RU, МПК G01S 17/06. Способ определения направлений на источники оптического излучения по рассеянной в атмосфере составляющей / Козирацкий Ю.Л., Козирацкий А.Ю., Кулешов П.Е. и др.; заявитель и патентообладатель ВВВИАУ (ВИ). 2007105646; заявл. 14.02.2007; опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15. 15 с.
5. Пат. 2439615 RU, МПК G01S 17/02. Устройство определения угловых координат оптического излучения / Козирацкий Ю.Л., Козирацкий А.Ю., Кулешов П.Е. Кусакин О.В.; заявитель и патентообладатель ВИАУ (г. Воронеж). 2009113067; заявл. 07.04.2009; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1. 8 с.
6. Козирацкий А.Ю., Кулешов П.Е., Паринов М.Л. и др. Сравнение показателей эффективности работы координатно-чувствительных приемников с различными принципами определения направления на источник оптического излучения / А.Ю. Козирацкий, П.Е. Кулешов, М.Л. Паринов и др. // Радиотехника. 2006. № 9. С. 88–91.
7. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы. / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
8. Венцель Е.С. Теория вероятностей. / Е.С. Венцель. М.: Наука, 1969. 576 с.
9. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. / В.И. Тихонов. М.: Сов. радио, 1966. 624 с.

REFERENCES

1. Koziratskij YU.L., Grevtsev A.I., Dontsov A.A., Ivantsov A.V., Kuleshov P.E. i dr. Obnaruzhenie i koordinatometriya optiko-ehlektronnykh sredstv, otsenka parametrov ikh signalov. / YU.L. Koziratskij, A.I. Grevtsev, A.A. Dontsov, A.V. Ivantsov, P.E. Kuleshov i dr. M.: «ZAO «Izdatel'stvo «Radiotekhnika», 2015. 456 s.
2. Koziratskij YU.L., Koziratskij A.YU. Korovin V.M. Kuleshov P.E. i dr. Opredelenie polozheniya lazernogo luchy v prostranstve po rasseyannoy sostavlyayushhej / YU.L. Koziratskij, A.YU. Koziratskij V.M. Korovin P.E. Kuleshov i dr. // Radiotekhnika. 2005. №7. P. 94–98.
3. Pat. 2285275 RU, МПК G01S 17/06. Sposob opredeleniya napravleniya na istochnik opticheskogo izlucheniya po rasseyannoy v atmosfere sostavlyayushhej i ustrojstvo ego realizatsii / Golubev S.V., Dunets V.P., Koziratskij A.YU., Koziratskij YU.L., Kuleshov P.E. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' VIREH. – 2005106700; zayavl. 09.03.2005; opubl. 10.10.2006, Byul. № 28. 9 p.
4. Pat. 2357272 RU, МПК G01S 17/06. Sposob opredeleniya napravlenij na istochniki opticheskogo izlucheniya po rasseyannoy v atmosfere sostavlyayushhej / Koziratskij YU.L., Koziratskij A.YU., Kuleshov P.E. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' VVVIAU (VI). 2007105646; zayavl. 14.02.2007; opubl. 27.05.2009, Byul. № 15. 15 p.
5. Pat. 2439615 RU, МПК G01S 17/02. Ustrojstvo opredeleniya uglovykh koordinat opticheskogo izlucheniya / Koziratskij YU.L., Koziratskij A.YU., Kuleshov P.E. Kusakin O.V.; zayavitel' i patentoobladatel' VIAU (g. Voronezh). 2009113067; zayavl. 07.04.2009; opubl. 10.01.2012, Byul. № 1. 8 p.
6. Koziratskij A.YU., Kuleshov P.E., Parinov M.L. i dr. Sravnenie pokazatelej ehffektivnosti raboty koordinatno-chuvstvitel'nykh priemnikov s razlichnymi printsipami opredeleniya napravleniya na istochnik opticheskogo izlucheniya / A.YU. Koziratskij, P.E. Kuleshov, M.L. Parinov i dr. // Radiotekhnika. 2006. № 9. P. 88–91.
7. Kondrat'ev B.C., Kotov A.F., Markov L.N. Mnogopozitsionnye radiotekhnicheskie sistemy. / B.C. Kondrat'ev, A.F. Kotov, L.N. Markov. M.: Radio i svyaz', 1986. 264 p.
8. Ventsel' E.S. Teoriya veroyatnostej. / E.S. Ventsel'. M.: Nauka, 1969. 576 p.
9. Tikhonov V.I. Statisticheskaya radiotekhnika. / V.I. Tikhonov. M.: Sov. radio, 1966. 624 p.



© Кулешов П.Е., Глушков А.Н., Дробышевский Н.В., 2018

Кулешов Павел Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательского отдела, 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, pekulesh@yandex.ru

Глушков Александр Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, 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.

Дробышевский Николай Васильевич, адъюнкт, 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.