



УДК 623.624.2
ГРНТИ 78.25.41

СПОСОБ СКРЫТОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ НАЛИЧИИ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ

Н.В. ДРОБЫШЕВСКИЙ

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Разработан способ скрытого функционирования оптико-электронных средств на основе определения траектории перемещения поля зрения оптико-электронных средств, обеспечивающей необнаружение факта разведки противником и получение требуемого количества информации в секторе сканирования за минимальное время. Составлены уравнения для расчета траектории перемещения поля зрения ОЭС при просмотре заданной области пространства.

Ключевые слова: оптико-электронное средство, лазерное средство разведки, скрытое функционирование, количество информации.

METHOD OF HIDDEN OPTICAL-ELECTRONIC OPERATION FUNCTIONING WITH PRIOR INFORMATION ABOUT LOCATION OF EXPLORATION PRODUCTS

N. V. DROBYSHEVSKIY

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

A method for the hidden operation of optical-electronic devices based on the trajectory determination of the optical-electronic devices field of view, which ensures that the enemy does not detect reconnaissance and obtain the required amount of information in the scanning sector in the shortest possible time has been developed. Equations have been compiled for calculating the trajectory of movement of the OET field of view when viewing a given area of space.

Keywords: optical-electronic tool (OET), laser intelligence tool, hidden operation, the volume of information.

Введение. В современных условиях функционирование оптико-электронных средств (ОЭС), выполняющих задачу по получению разведывательных данных, протекает, как правило, в условиях конфликта со средствами защиты противника. Он заключается в том, что ОЭС стремятся получить как можно больше информации об объектах противостоящей стороны, которая препятствует ей в этом [1]. Одним из путей достижения выигрыша в конфликте является скрытие собственных намерений, которое осуществляют путем повышения разведзащищенности защищаемого объекта. Под разведзащищенностью понимается способность объекта защиты в процессе конфликтного взаимодействия с техническими средствами разведки сохранять в тайне сведения о себе [2]. Управление разведзащищенностью ОЭС должно обеспечить эффективное скрытие ОЭС от обнаружения средствами противостоящей стороны.

Актуальность. Решение данной задачи осложняется тем, что сканирование ОЭС заданной области пространства происходит по заранее определенной траектории, алгоритм которой при современной реализации не предусматривает защиту от обнаружения ОЭС лазерным средством разведки (ЛСР).



Цель работы состоит в разработке способа, позволяющего определить траекторию перемещения поля зрения оптико-электронного средства, обеспечивающую необнаружение факта разведки противником и получение требуемого количества информации в заданной области пространства за минимальное время.

Постановка задачи. Беспилотный летательный аппарат (БЛА) осуществляет разведку противника с помощью оптико-электронного средства (ОЭС). В качестве датчика используется телевизионный приемник. ОЭС последовательно просматривает разведываемую поверхность, заданную на плоскости размером $m \times n$ элементов (рисунок 1). Каждый элемент представляет собой участок местности с размерами, соответствующими одному кадру формируемого ОЭС изображения. Для просмотра всей заданной области требуется время:

$$t = t_1 nm, \quad (1)$$

где t_1 – время просмотра одного элемента. Количество получаемой ОЭС информации I с разведываемой поверхности определяется выражением:

$$I = I_T nm, \quad (2)$$

где I_T – требуемое количество информации в одном кадре формируемого ОЭС изображения. Функционированию ОЭС препятствует лазерный комплекс функционального поражения (ЛКФП), ведущий поиск объектов поражения с помощью лазерного средства разведки (ЛСР). Местоположение ЛСР на плоскости характеризуется координатами x_0, y_0 ($x_0 \in 1 \dots m, y_0 \in 1 \dots n$). Считается, что размеры ЛСР существенно меньше одного элемента разведываемой поверхности. В случае ориентации поля зрения ОЭС в направлении на ЛСР, последнее обнаруживает функционирование ОЭС и выдает о нем информацию в ЛКФП, который осуществляет поражение ОЭС (ОЭС прекращает свое функционирование). Количество недополученной информации вычисляется по формуле:

$$I_n = I_T (nm - p), \quad (3)$$

где p – количество просмотренных ОЭС элементов.

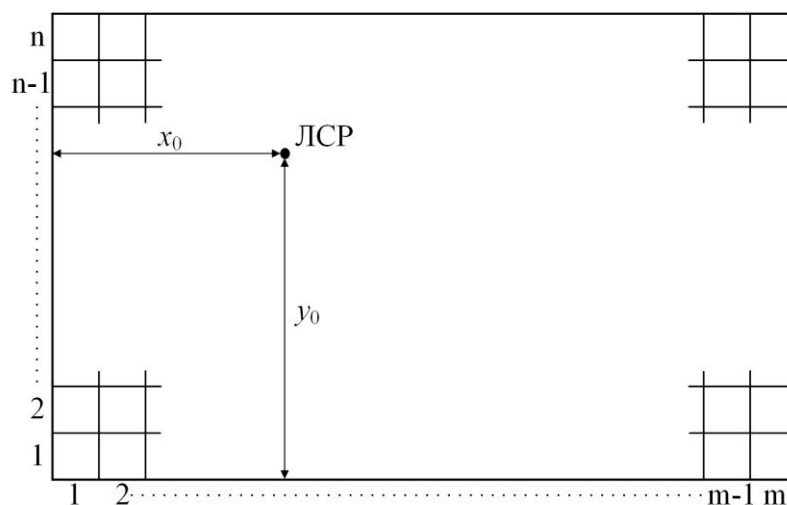


Рисунок 1 – Схема, поясняющая постановку задачи



Требуется определить такую траекторию перемещения поля зрения ОЭС при просмотре заданной области пространства, чтобы было получено количество информации $I = I_r n m$ и сканирование всего участка заняло минимальное время $t = t_1 n m$.

Примем, что:

- 1) $m > n$ (значения n и m – четные);
- 2) мгновенное поле зрения ОЭС может сканировать любой элемент заданной области в любой момент времени;
- 3) переход из одного кадра, формируемого ОЭС изображения в другой происходит мгновенно.

Так как ОЭС необходимо осуществить просмотр всей разведываемой поверхности и факт разведки не должен быть обнаружен ЛСР, логично предположить, что элемент поверхности с ЛСР сканируется ОЭС в последнюю очередь. Для обеспечения минимального времени разведки заданной области пространства это может быть выполнено, например, если ОЭС просматривает область, последовательно приближаясь к элементу с ЛСР, с поочередным использованием перемещений поля зрения, изображенных на рисунке 2:

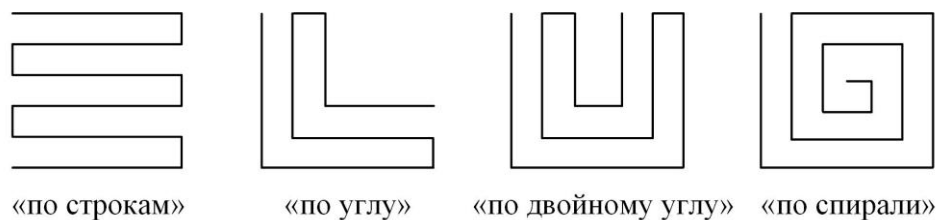


Рисунок 2 – Типы перемещений поля зрения ОЭС

Для наглядности рассмотрения алгоритма примем: $m=12$, $n=10$, $x_0=8$, $y_0=4$ (рисунок 3).

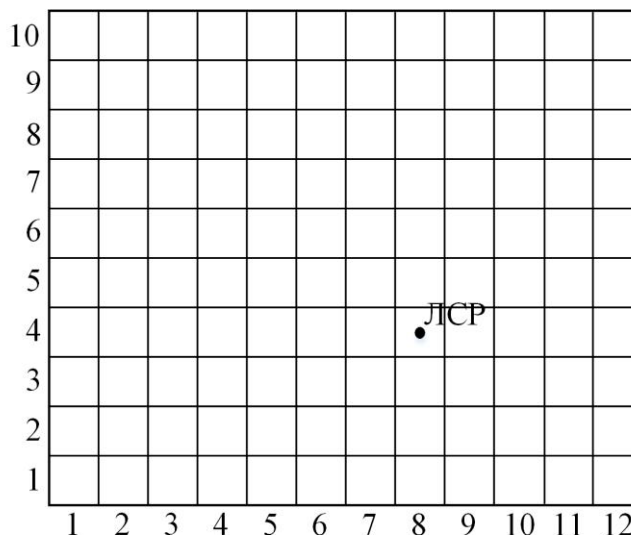


Рисунок 3 – Плоскость разведки

Определение траектории сканирования разведываемой поверхности описывается следующим алгоритмом.

1. Определяются границы зоны 1, в которой движение поля зрения ОЭС целесообразно осуществлять «по спирали». Приращение количества элементов r_1 относительно элемента с



ЛСР вычисляется на основе определения количества элементов до ближайшей границы разведываемой плоскости, исходя из выражения:

$$r_1 = \min(x_1, x_2, y_1, y_2), \quad (4)$$

где: $x_1 = x_0 - 1$, $x_2 = m - x_0$, $y_1 = y_0 - 1$, $y_2 = n - y_0$.

Для принятых исходных данных: $r_1 = \min(7, 4, 3, 6) = 3$ (рисунок 4).

2. Если $2r_1 + 1 = n - 1$, то:

а) определяется точка начала сканирования (x_n, y_n) :

- $s_1 = x_1 - r_1$; $s_2 = x_2 - r_1$;

- если значение s_1 – нечетное число, то $x_n = 1$ и $s = s_1$, $v = s_2$;

- если значение s_2 – нечетное число, то $x_n = m$ и $s = s_2$, $v = s_1$;

- если $y_0 \leq n/2$, то $y_n = 1$;

- если $y_0 > n/2$, то $y_n = n$;

б) значения r_2, r_3, r_4 приравниваются к 0;

в) осуществляется переход к пункту 9 алгоритма.

3. Определяются границы зоны 2, в которой движение поля зрения ОЭС целесообразно осуществлять «по двойному углу». Приращение количества элементов r_2 относительно границ зоны 1 определяется исходя из выражений:

$$r_2 = \min(x_1 - r_1, x_2 - r_1, y_1 - r_1, y_2 - r_1), r_2 > 0. \quad (5)$$

Для принятых исходных данных: $r_2 = \min(4, 1, 0, 3) = 1$ (рисунок 5).

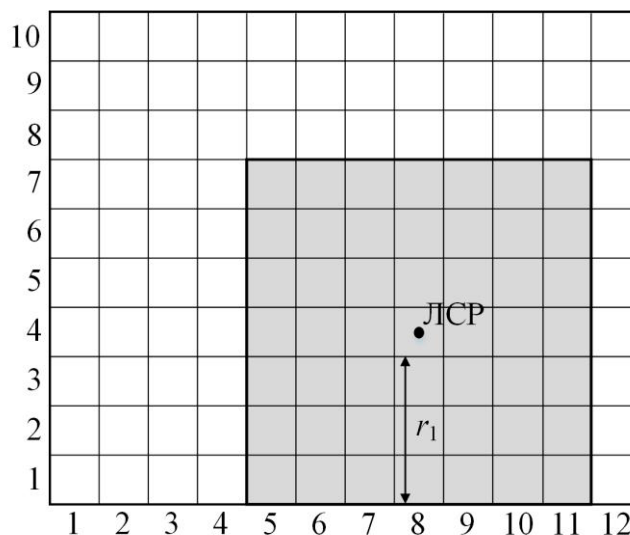


Рисунок 4 – Область зоны 1 на плоскости разведки

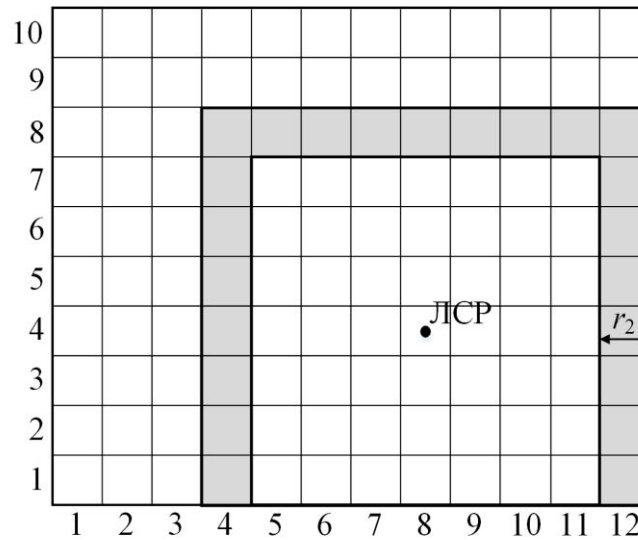


Рисунок 5 – Область зоны 2 на плоскости разведки

4. Если $2r_1 + 1 + r_2 = n$, то $r_3 = 0$ и осуществляется переход к пункту 7 алгоритма.

5. Определяются границы зоны 3, в которой движение поля зрения ОЭС целесообразно осуществлять «по углу». Приращение количества элементов r_3 относительно границ зоны 2 определяется исходя из выражений:

$$r_3 = \min(x_1 - (r_1 + r_2), x_2 - (r_1 + r_2), y_1 - (r_1 + r_2), y_2 - (r_1 + r_2)), r_3 > 0. \quad (6)$$

Для принятых исходных данных: $r_3 = \min(3, 0, -1, 2) = 2$ (рисунок 6).

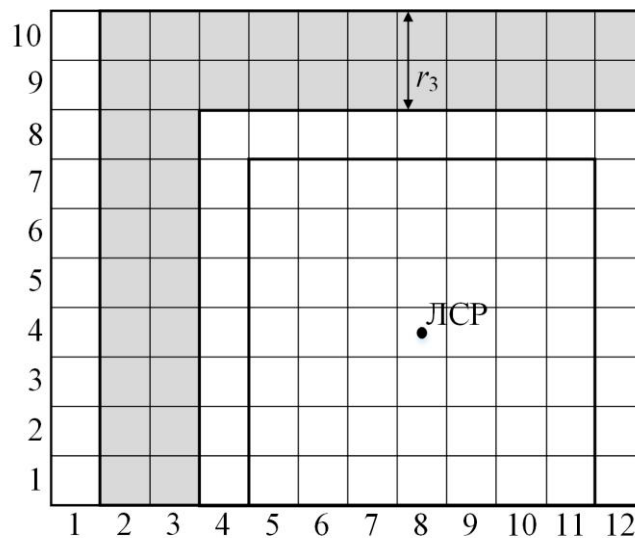


Рисунок 6 – Область зоны 3 на плоскости разведки

6. Если $2r_1 + 1 + 2r_2 + r_3 = m$, то в пункте 8 вместо значения r_4 используется r_3 .

7. Область, не входящая в зоны 1, 2, 3, определяется как зона 4. Движение поля зрения ОЭС в ней целесообразно осуществлять «по строкам». Приращение количества элементов r_4 относительно границ зоны 3 определяется исходя из выражения:



$$r_4 = \max(x_1 - R, x_2 - R, y_1 - R, y_2 - R), \quad (7)$$

где $R = r_1 + r_2 + r_3$.

Для принятых исходных данных $r_4 = \max(1, -2, -3, 0) = 1$ (рисунок 7).

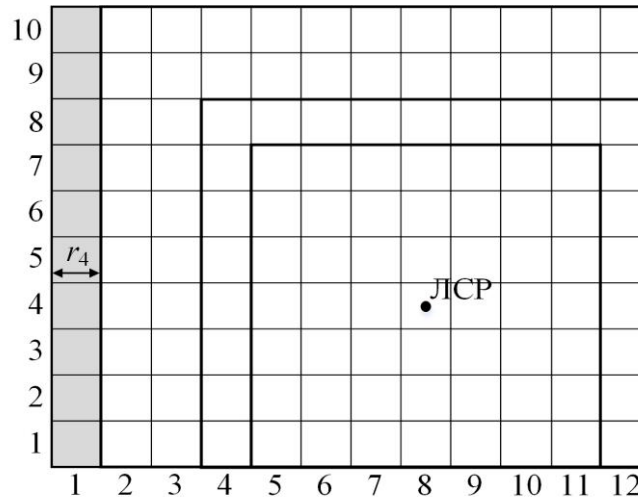


Рисунок 7 – Область зоны 4 на плоскости разведки

8. Определяется точка начала сканирования (x_n, y_n) исходя из следующих условий:

- при $y_{1(2)} - R \leq 0$, если $x_1 - R = 0$ или $x_2 - R > 0$, то $x_n = m$;
- при $y_{1(2)} - R \leq 0$, если $x_1 - R > 0$ или $x_2 - R = 0$, то $x_n = 1$;
- если $y_1 - R = 0$ и значение r_4 – нечетное число или $y_2 - R = 0$ и значение r_4 – четное число, то $y_n = 1$;
- если $y_1 - R = 0$ и значение r_4 – четное число или $y_2 - R = 0$ и значение r_4 – нечетное число, то $y_n = n$;
- если $y_1 - R > 0$ и значение r_4 – нечетное число, то $y_n = 1, x_n = m$;
- если $y_1 - R > 0$ и значение r_4 – четное число, то $y_n = 1, x_n = 1$;
- если $y_2 - R > 0$ и значение r_4 – нечетное число, то $y_n = n, x_n = m$;
- если $y_2 - R > 0$ и значение r_4 – четное число, то $y_n = n, x_n = 1$.

9. Для составления уравнения перемещения поля зрения ОЭС примем точку начала сканирования за начало координат. Первоначальное перемещение поля зрения ОЭС происходит по оси x с первым изменением направления на ось y . Перерасчет количества элементов по осям координат производится на основании условий:

- если $y_{1(2)} - R \leq 0$, то $m' = n$ и $n' = m$;
- если $y_{1(2)} - R > 0$, то $m' = m$ и $n' = n$.

Также при входе в каждую из зон, точка начала сканирования в данной зоне принимается за начало координат с первоначальным перемещением поля зрения ОЭС по оси x и первым изменением направления на ось y .

Исходя из этого, выражения для расчета траектории перемещения поля зрения ОЭС имеют вид:

а) для $2r_1 + 1 = n - 1$:

- принимаем $m' = n, n' = m, x_i = 1, y_j = 1$, где $i \in 1 \dots m', j \in 1 \dots n'$;
- расчет ведется по циклу системы уравнений (9) до $y_{j+1} = s + 1$;
- расчет ведется согласно выражения $y_{j+1} = y_j + 1$ до $y_{j+1} = n'$;



- выполняется $x_{i+1} = x_i - 1$;

- расчет ведется по циклу системы уравнений (8) до $y_{j+1} = n' - v$;

$$\begin{cases} x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 < x_i \leq m' - 1, y_j - \text{ четные значения;} \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, \text{ для } x_i = 1, y_j - \text{ четные значения;} \\ x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 \leq x_i < m' - 1, y_j - \text{ нечетные значения;} \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, \text{ для } x_i = m' - 1, y_j - \text{ нечетные значения;} \end{cases} \quad (8)$$

- осуществляется переход к пункту 9д алгоритма;

б) в зоне 4 – расчет ведется по циклу системы уравнений до $y_{j+1} = r_4 + 1$:

$$\begin{aligned} & x_i = 1; y_j = 1; i \in 1 \dots m'; j \in 1 \dots n'; \\ & \begin{cases} x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 \leq x_i < m', y_j - \text{ нечетные значения;} \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, \text{ для } x_i = m', y_j - \text{ нечетные значения;} \\ x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 < x_i \leq m', y_j - \text{ четные значения;} \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, \text{ для } x_i = 1, y_j - \text{ четные значения;} \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

в) в зоне 3 – расчет ведется по циклу системы уравнений до $k = r_3$:

$$\begin{aligned} & x_i = 1; y_j = 1; k = 0; \\ & \begin{cases} x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 \leq x_i < m' - k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, \text{ для } x_i = m' - k, 1 + k \leq y_j < n'; \\ x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } x_i = m' - k, y_j = n'; \\ k = k + 1; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, \text{ для } x_i = m' - k, 1 + k \leq y_j < n'; \\ x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 < x_i \leq m' - k, y_j = 1 + k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, \text{ для } x_i = 1, y_j = 1 + k; \\ k = k + 1; \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

г) в зоне 2 – расчет ведется по циклу системы уравнений до $k = r_2$:

$$\begin{aligned} & x_i = 1; y_j = 1; k = 0; m' = 2r_1 + 1 + r_2; n' = 2(r_1 + r_2) + 1; \\ & \begin{cases} x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 \leq x_i < m' - k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, \text{ для } x_i = m' - k, 1 + k \leq y_j < n'; \\ x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 < x_i \leq m' - k, y_j = n' - k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, \text{ для } x_i = 1, y_j = n' - k; \\ k = k + 1; \\ x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 \leq x_i < m' - k; y_j = n' - k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, \text{ для } x_i = m' - k, 1 + k < y_j \leq n' - k; \\ x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, \text{ для } 1 < x_i \leq m' - k, y_j = 1 + k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, \text{ для } x_i = 1, y_j = 1 + k; \\ k = k + 1; \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

д) в зоне 1 – расчет ведется по циклу системы уравнений до $k = r_1$:



$$\begin{aligned}
 &x_i=1; y_j=1; k=0; m'=n'=2r_1+1; \\
 &\begin{cases} x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 1 \leq x_i < m' - k, y_j = 1 + k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = m' - k, 1 + k \leq y_j < n'; \\ x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 1 < x_i \leq m' - k, y_j = n' - k; \\ x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, & \text{для } x_i = 1 + k, 1 + k < y_j \leq n' - k; \\ k = k + 1. \end{cases}
 \end{aligned} \tag{12}$$

Для принятых исходных данных выражения для расчета траектории перемещения поля зрения ОЭС имеют вид:

$$\begin{aligned}
 &x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 1 \leq x_i < 10, y_j = 1; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = 10, y_j = 1; \\
 &x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 1 < x_i \leq 10, y_j = 2; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = 1, 2 \leq y_j < 12; \\
 &x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } x_i = 1, y_j = 12; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, & \text{для } x_i = 2, 3 < y_j \leq 12; \\
 &x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 2 \leq x_i < 10, y_j = 3; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = 10, y_j = 3; \\
 &x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 3 < x_i \leq 10, y_j = 4; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = 3, 4 \leq y_j < 12; \\
 &x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 3 \leq x_i < 10, y_j = 12; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, & \text{для } x_i = 10, 5 < y_j \leq 12; \\
 &x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 4 < x_i \leq 10, y_j = 5; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = 4, 5 \leq y_j < 11; \\
 &x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 4 \leq x_i < 9, y_j = 11; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, & \text{для } x_i = 9, 6 < y_j \leq 11; \\
 &x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 5 < x_i \leq 9, y_j = 6; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = 5, 6 \leq y_j < 10; \\
 &x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 5 \leq x_i < 8, y_j = 10; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, & \text{для } x_i = 8, 7 < y_j \leq 10; \\
 &x_{i+1} = x_i - 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 6 < x_i \leq 8, y_j = 7; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j + 1, & \text{для } x_i = 6, 7 \leq y_j < 9; \\
 &x_{i+1} = x_i + 1; y_{j+1} = y_j, & \text{для } 6 \leq x_i < 7, y_j = 9; & x_{i+1} = x_i; y_{j+1} = y_j - 1, & \text{для } x_i = 7, y_j = 9,
 \end{aligned}$$

где $i \in 1 \dots 10, j \in 1 \dots 12$, а траектория сканирования разведываемой поверхности имеет вид, изображенный на рисунке 8.

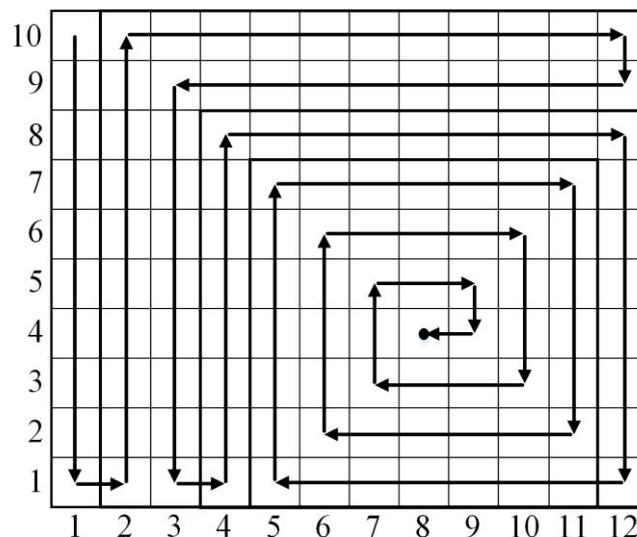


Рисунок 8 – Траектория перемещения поля зрения ОЭС

В результате, поле зрения ОЭС перемещается от точки начала сканирования до места расположения ЛСР, просматривая каждый элемент один раз, и может быть обнаружено только при просмотре элемента поверхности с ЛСР. Количество получаемой ОЭС информации также может быть ограничено только при просмотре последнего элемента заданной области и составит



$I = I_T n t$, количество недополученной информации – $I_n = 0$. Время просмотра составит $t = t_1 n t$, что совпадает со временем разведки, затрачиваемым ОЭС, при отсутствии ЛСР.

Таким образом, следуя данному способу, при определении траектории перемещения поля зрения ОЭС в процессе обзора заданной области пространства, обеспечивается получение требуемого количества информации за минимальное время.

Выводы. На основе определения траектории перемещения поля зрения опико-электронных средств, обеспечивающей необнаружение факта разведки противником и получение требуемого количества информации в секторе сканирования за минимальное время, разработан способ скрытого функционирования опико-электронных средств. В соответствии с данным способом составлены обобщенные уравнения для расчета траектории перемещения поля зрения ОЭС при просмотре заданной области пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушков А.Н., Дробышевский Н.В., Кулешов П.Е., Марченко А.В. Динамическая модель процесса защиты опико-электронного средства от лазерного комплекса функционального поражения [Электронный ресурс] // Системы управления, связи и безопасности: журн. 2018. № 3. С. 136–149. Режим доступа: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018/03/07-Glushkov.pdf> (дата обращения: 19.08.2018).
2. Энциклопедия РВСН [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/listrvsn.htm> (дата обращения: 25.10.2018).

REFERENCES

1. Glushkov A.N., Drobyshevskij N.V., Kuleshov P.E., Marchenko A.V. Dinamicheskaya model' processa zaschity optiko-`elektronnogo sredstva ot lazernogo kompleksa funkcional'nogo porazheniya [`Elektronnyj resurs] // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti: zhurn. 2018. № 3. pp. 136-149. Rezhim dostupa: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018/03/07-Glushkov.pdf> (data obrascheniya: 19.08.2018).
2. Enciklopediya RVSN [`Elektronnyj resurs] // Rezhim dostupa: <http://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/listrvsn.htm> (data obrascheniya: 25.10.2018).

© Дробышевский Н.В., 2018

Дробышевский Николай Васильевич, адъюнкт научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), 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, d_n.v@mail.ru.