



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014114465/08, 14.04.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.04.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.04.2014

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2058593 C1, 20.04.1996. US 4377808 A1, 22.03.1983. RU 2319211 C2, 10.03.2008. RU 2311686 C2, 27.11.2007. RU 110855 U1, 27.11.2011. US 4179691 A1, 18.12.1979. CN 201974900 U, 14.09.2011. US 6377174 B1, 23.04.2002. US 6774791 B2, 10.08.2004

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, МГТУ им.  
Н.Э. Баумана, Центр защиты интеллектуальной  
собственности, (для Халатовой Е.С.)

(72) Автор(ы):

Суворов Сергей Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана (МГТУ им.  
Н.Э. Баумана) (RU)**(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАРУШЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области охранной сигнализации. Технический результат - повышение помехоустойчивости обнаружения нарушителя за счет анализа параметров нарушения: размеров объекта-нарушителя, скорости его перемещения и расстояния траектории его движения от сторон охраняемого рубежа.

Изобретение заключается в приеме теплового излучения двумя датчиками, расположенными на противоположных сторонах рубежа на известном расстоянии друг от друга в направлении вдоль его границ. Принятое излучение преобразуется в электрические сигналы с выделением шести временных интервалов, характеризующих длительности сигналов, возникающих в датчиках, от моментов их начала до положительных и отрицательных максимумов ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ), а также между началами и положительными максимумами сигнала двух датчиков ( $t_4$ ,  $t_5$ ). Все возможные варианты пересечения рубежа,

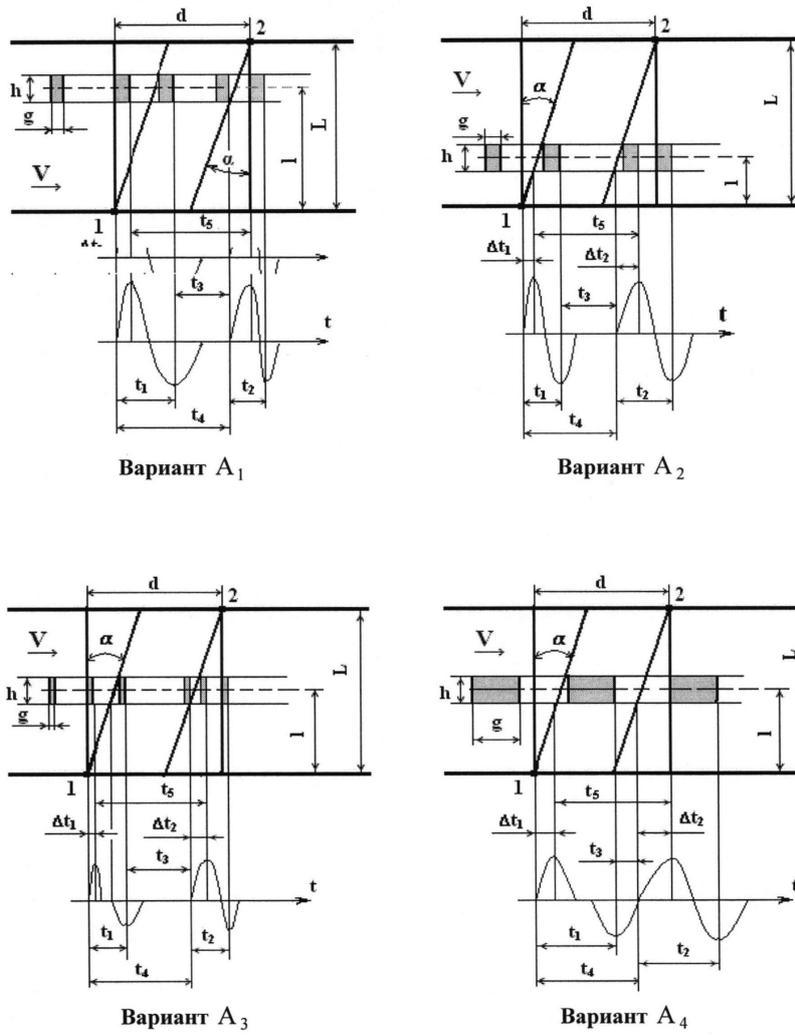
составляющие генеральную совокупность  $\Omega$ , отличаются друг от друга размерами объекта по отношению к полям зрения объективов и положением траектории движения относительно сторон рубежа. Синтез алгоритма разбиения на классы в области реальных событий основан на поиске соответствующих признаков в области временных откликов, возникающих на приемниках излучения. Разработана экспертная модель в виде набора этих признаков, отличающихся дискриминантными функциями, позволяющая на основе анализа временных интервалов однозначно идентифицировать вариант пересечения рубежа и определить параметры пересечения: продольный и поперечный размеры объекта-нарушителя, скорость его движения и положение траектории относительно сторон рубежа охраны (контроля). На основе оценки полученных параметров пересечения рубежа может быть принято решение, адекватное общему назначению системы: подан

R U  
2 5 4 6 0 7 7  
C 1

C 1  
7 2 0 9 4 5 2  
R U

сигнал тревоги, произведен подсчет объектов-нарушителей, их сортировка по размерам и др.

2 ил.



Классы разделения вариантов пересечения рубежа

Фиг. 1

1 С 7 7 0 9 4 5 2 R U

R U 2 5 4 6 0 7 7 С 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014114465/08, 14.04.2014

(24) Effective date for property rights:  
14.04.2014

Priority:

(22) Date of filing: 14.04.2014

(45) Date of publication: 10.04.2015 Bull. № 10

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU im.  
N.Eh. Baumana, Tsentr zashchity intellektual'noj  
sobstvennosti, (dlja Khalatovoj E.S.)

(72) Inventor(s):

Suvorov Sergej Vital'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
N.Eh. Baumana (MGTU im. N.Eh. Baumana)  
(RU)

(54) **METHOD FOR VIOLATOR DETECTION AND VIOLATION PARAMETERS IDENTIFICATION**

(57) Abstract:

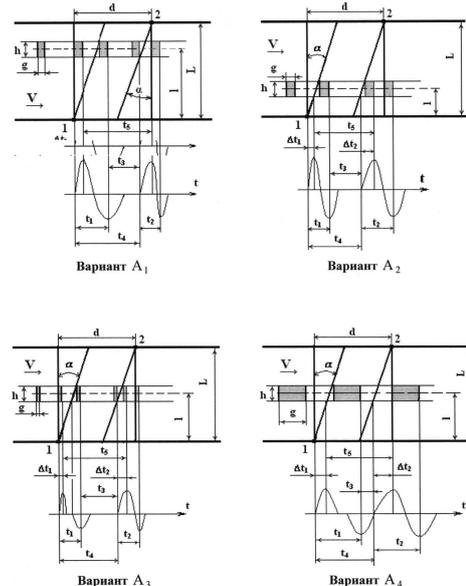
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention consists in receipt of heat emission by two sensors placed at opposite boundary sides at the known distance from each other in direction along its lines. Received emission is converted to electrical signals characterizing duration of signals sensed by sensors since their commencement till their positive and negative maxima ( $t_1, t_2, \Delta t_1, \Delta t_2$ ), as well as between commencement and positive maxima of the signal from two sensors ( $t_4, t_5$ ). All potential alternatives of boundary crossing, being represented as the main population  $\Omega$ , differ from each other by object size in regard to objective field of view and position of movement pattern in regard to the boundary sides. Synthesis of class-division algorithm in the area of real events is based on search of the respective signs in the area of time responses occurring at emission receivers. An expert model is developed as a set of the above signs differentiating by discriminator functions, which allows on the basis of time interval analysis identification of the boundary-crossing alternative and parameters of crossing: longitudinal and transversal dimensions of the violating object, speed of its movement and position of the movement pattern in regard to secured (controlled) boundary. Based on estimation of the received parameters of the boundary crossing the

decision adequate to general purpose of the system is taken: alarm signal is sent, violating objects are counted and sorted by size, etc.

EFFECT: improved interference resistance for violator detection due to analysis of violation parameters.

2 dwg



Классы разделения вариантов пересечения рубежа

Фиг. 1

RU 2 546 077 C1

RU 2 546 077 C1

Изобретение относится к области охранной сигнализации.

Известен способ обнаружения нарушителя по его тепловому излучению, в котором принятое тепловое излучение преобразуют в электрический сигнал, который по форме сравнивают с эталонным сигналом. Сравнение осуществляют путем вычисления коэффициента корреляции и сравнения его с заданным уровнем (см., например, патент США №4377808, МПК G08B 13/18, опублик. 22.03.1983 г.).

Недостатком известного технического решения является низкая помехоустойчивость, обусловленная перемещением через рубеж контрастных по температуре слоев воздуха, наблюдаемых на открытой местности при порывистом ветре, так как в этом случае регистрируемый сигнал практически не отличается от сигнала, принимаемого при перемещении через рубеж человека.

Ближайшим известным техническим решением является способ обнаружения нарушителя, основанный на использовании 4-х тепловых датчиков (объективов) и позволяющий повысить помехозащищенность по отношению к перемещению через рубеж контрастных по температуре слоев воздуха, имеющих размеры, превышающие размер реального объекта, за счет выявления и контроля поперечного по отношению к сторонам контролируемого рубежа размера пересекающего рубеж объекта (см. патент РФ №2058593 от 27.10.1989 г., МПК G08B 13/18)

Недостатком известного способа является необходимость использования 4-х тепловых датчиков, связанное с этим удорожание реализации способа обнаружения нарушителя на стадиях изготовления, юстировки и эксплуатации системы.

Техническая задача изобретения - удешевление реализации способа обнаружения нарушителя путем использования не 4-х, как в прототипе, а 2-х тепловых датчиков при сохранении помехозащищенности за счет контроля размеров объекта-нарушителя.

Реализуется поставленная задача тем, что в способе обнаружения нарушителя и определения параметров нарушителя по его тепловому излучению, путем использования тепловых датчиков, расположенных на противоположных сторонах рубежа, преобразования принятого излучения в электрические сигналы, определения временных задержек сигналов друг относительно друга, используют два тепловых датчика с углами полей зрения  $\alpha$ , расположенных по одному на каждой стороне рубежа протяженностью  $L$ , образующие поля зрения которых в горизонтальной плоскости параллельны и одна из них у каждого объектива перпендикулярна противоположной стороне рубежа, а расстояние между ними равно  $d$ , по преобразованным принятыми этими датчиками излучениям в электрические сигналы определяют временные отрезки:  $t_1$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения первого объектива до его полного выхода,  $t_2$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения второго объектива до его полного выхода,  $t_4$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения первого объектива до начала вхождения объекта в поле зрения второго объектива,  $t_5$  - время между максимумами сигналов, возникающих на приемниках излучения обоих объективов,  $\Delta t_1$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения первого объектива до достижения сигналом максимума,  $\Delta t_2$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения второго объектива до достижения сигналом максимума, с помощью полученных временных отрезков  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$  формируют дискриминантный набор логических функций:

$$f_1 = \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 = t_2 \\ 0, & \text{если } t_1 \neq t_2 \end{cases}, \quad f_3 = \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 > t_2 \\ 0, & \text{если } t_1 < t_2 \end{cases},$$

$$f_2 = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} = \frac{Ltg\alpha}{d} \\ 0, & \text{если } \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} < \frac{Ltg\alpha}{d} \end{cases}, \quad f_4 = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t_1 = t_2 - \Delta t_2 \\ 0, & \text{если } \Delta t_1 < t_2 - \Delta t_2 \end{cases},$$

$$f_5 = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t_2 = t_1 - \Delta t_1 \\ 0, & \text{если } \Delta t_2 < t_1 - \Delta t_1 \end{cases},$$

для выявления класса пересечения рубежа вычисляют четыре логических выражения:

$$A_1 = \bar{f}_1 f_3 f_4, \quad A_2 = \bar{f}_1 \bar{f}_3 f_5, \quad A_3 = f_1 \bar{f}_2 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5, \quad A_4 = f_1 f_2 \vee \bar{f}_1 f_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 f_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5,$$

только одно из которых является истинным и определяет вариант пересечения рубежа, бесконечное множество  $\Omega$  которых, отличающееся размерами объекта по отношению к полям зрения тепловых датчиков, разделено на четыре несовместных класса,

составляющих полную группу событий и удовлетворяющих условию  $\Omega = A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4$ ,

где  $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j, i, j = \overline{1,4}$  и в соответствии с выявленным классом определяют параметры нарушителя:

Класс $A_1$	Класс $A_2$
$V = \frac{d}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$V = \frac{d - Ltg\alpha}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}$

$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{tg\alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right)$	$l = \frac{1}{2} \left[ L + \left( \frac{d}{tg\alpha} - L \right) \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} \right]$
$g = \frac{d\Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$g = (d - Ltg\alpha) \times \frac{t_2 + t_4}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} - d$
$h = \frac{d}{tg\alpha} \times \left( \frac{t_1 + t_2 - 2\Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right) - L$	$h = \frac{d}{tg\alpha} - \left( \frac{d}{tg\alpha} - L \right) \times \frac{t_4 + t_2 - \Delta t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}$

Класс $A_3$	Класс $A_4$
$V = \frac{d}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$V = \frac{d}{t_5 + \Delta t_1}$
$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{tg\alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right)$	$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{tg\alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 + \Delta t_1} \right)$
$g = \frac{d\Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$g = d \times \frac{t_2 - \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$
$h = \frac{d}{tg\alpha} \times \left( \frac{t_1 + t_2 - 2\Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right) - L$	$h = \frac{d}{tg\alpha} \times \frac{t_1 - t_2 - \Delta t_1 + \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$

где  $V$  - скорость перемещения объекта вдоль границ рубежа,  $h$  - поперечный размер объекта,  $g$  - продольный размер объекта,  $l$  - расстояние от первого объектива до траектории движения объекта.

При этом возникает задача разделения бесконечного множества (генеральной совокупности)  $\Omega$  на минимально возможное число несовместных классов, составляющих полную группу множеств, удовлетворяющих условию  $\Omega = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_r$ , где

5  $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j, i, j = \overline{1, r}$ . Каждому классу  $A_i$  должны быть поставлены в соответствие свои уникальные, присущие только ему, признаки и уравнения, по которым определяются параметры объекта.

10 В этих условиях возникает задача поиска дискриминантных функций в области временных откликов датчиков, позволяющих отнести наблюдаемое пересечение рубежа к определенному классу  $A_i$ .

Изобретение поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлены классы разделения вариантов пересечения рубежа, на фиг. 2 - алгоритм определения класса пересечения рубежа.

15 В описываемом способе обнаружения оптико-электронная система содержит всего два одинаковых объектива с одноэлементными приемниками 1 и, как показано чертеже (фиг. 1),  $\alpha$  - угол поля зрения объектива. На каждой из сторон рубежа протяженностью  $L$  размещено по одному объективу. Две образующие полей зрения объективов, проходящие через их оси в горизонтальной плоскости перпендикулярны сторонам

20 рубежа, параллельны между собой и расстояние между ними равно  $d$ . Две другие образующие также параллельны, что видно из фиг. 1. Тело, имеющее поперечный размер  $h$  и продольный размер  $g$ , движется через рубеж со скоростью  $V$  и пересекает его на расстоянии  $l$ , например, от приемника 1. Множество вариантов пересечения рубежа, составляющих бесконечное множество (генеральную совокупность)  $\Omega$ , разбито

25 на четыре подгруппы (классы), обозначенных на фиг. 1 классами  $A_1, A_2, A_3, A_4$ . Классы  $A_1, A_2, A_3, A_4$  составляют полную группу множеств, т.е.  $\Omega = A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4$  взаимно не пересекаются. Классы  $A_1$  и  $A_2$  (фиг. 1) отличаются друг от друга только расстоянием  $l$  от одной из сторон рубежа, имея при этом размеры, целиком вписывающиеся в одно

30 из полей зрения и не вписывающиеся в другое. Класс  $A_3$  иллюстрирует объект, имеющий минимальные размеры объекта-нарушителя, а класс  $A_4$  - максимальные, когда его размер  $g$  при любом расстоянии  $l$  превышает размер поля зрения объектива.

35 Внутри каждого класса соблюдается идентичность соотношений, связывающих параметры объекта  $V, l, h, g$  с временными откликами датчиков  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$  и известными характеристиками рубежа  $\alpha, L, d$ .

Обнаружение объекта базируется, как и в прототипе, на анализе откликов тепловых датчиков, которых в предлагаемом способе не четыре, а два. Однозначность отнесения конкретного пересечения рубежа к одному из классов  $A_1, A_2, A_3, A_4$  обеспечивается

40 логическим анализом на основе выявленных и представленных ниже дискриминантных функций, формируемых на базе временных откликов  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$  двух тепловых приемников.

45 Временные диаграммы, изображенные в нижней части фиг. 1 для каждого из классов пересечения рубежа, показывают вид сигналов на тепловых приемниках и построены с учетом особенностей их работы. По оси времени моменты максимумов сигнала совпадают с моментами полного входа объекта в поле зрения или полного перекрытия объектом поля зрения объектива, а моменты минимума сигнала - с моментами полного выхода объекта из поля зрения объектива.

На фиг. 1 обозначены следующие временные отрезки:

$t_1$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения объектива 1 до его полного выхода;

$t_2$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения объектива 2 до его полного выхода;

$t_3$  - время от момента полного выхода объекта из поля зрения объектива 1 до момента начала вхождения в поле зрения объектива 2;

$t_4$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения объектива 1 до начала вхождения объекта в поле зрения объектива 2;

$t_5$  - время между максимумами сигналов, возникающих на приемниках излучения обоих объективов;

$\Delta t_1$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения объектива 1 до достижения сигналом максимума;

$\Delta t_2$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения объектива 2 до достижения сигналом максимума.

Временные диаграммы на фиг. 1 построены с учетом особенностей работы пироэлектрических приемников излучения, реагирующих на изменение температуры чувствительного элемента. Продолжительность амплитудного нарастания отклика будет совпадать по времени с процессами входа объекта в поле зрения и выхода из него, а по знаку будет определяться увеличением или уменьшением температуры чувствительного элемента (увеличением или уменьшением принимаемого лучистого потока). Продолжительность амплитудного спада определяется временем достижения температурного равновесия кристалла приемника и его чувствительного слоя.

Для всех классов пересечения рубежа справедливы три уравнения, полученные на основании анализа, проведенного по фиг. 1:

$$Vt_1 = \left(1 + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha + g, \quad (1)$$

$$Vt_2 = \left(L - 1 + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha + g, \quad (2)$$

$$Vt_4 = d - \left(L - 1 + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

Для нахождения четырех неизвестных  $V$ ,  $l$ ,  $h$ ,  $g$  в полученной системе не хватает еще одного уравнения. Следует заметить, что некоторые, обозначенные на рисунке 1 временные отрезки взаимозависимы, а именно  $t_4 = t_1 + t_3$ . Временной отрезок  $t_3$  неудобен в использовании, поскольку начало вхождения в поле зрения объектива 2 (фиг. 1) может происходить раньше момента полного выхода объекта из поля зрения объектива 1, и в дальнейшем не используется.

Для каждого из классов  $A_1, A_2, A_3, A_4$  можно составить еще по несколько уравнений, связывающих искомые параметры объекта-нарушителя  $V$ ,  $l$ ,  $h$ ,  $g$ , параметры рубежа  $d$ ,  $L$ ,  $\alpha$  и временные отрезки  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$ , получаемые при обработке откликов, возникающих в тепловых датчиках. Однако среди этих уравнений нет ни одного общего для всех классов пересечения рубежа.

Определение реально произошедшего класса пересечения должно проводиться на базе анализа величин временных отрезков  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$ , которыми располагает

анализирующее устройство. В результате анализа необходимо найти дискриминантные функции, позволяющие разделить классы  $A_1, A_2, A_3, A_4$ .

Рассмотрим случай, когда  $t_1 > t_2$  ( $l > L/2$ ). При этом возможны три класса пересечения  
 5 рубежа -  $A_1, A_3, A_4$ . При наличии класса  $A_1$  справедливо  $V(t_2 - \Delta t_2) = g = V\Delta t_1$ , что в условиях фиксации временных отрезков эквивалентно равенству

$$t_2 - \Delta t_2 = \Delta t_1. \quad (4)$$

10 Для класса  $A_3$  характерно соотношение  $\Delta t_1 < t_2 - \Delta t_2$ , поскольку  $g < \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$ , а, следовательно,  $V\Delta t_1 = g < V(t_2 - \Delta t_2) = \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$ . Аналогично для класса  $A_4$

15 справедливо неравенство  $\Delta t_1 < t_2 - \Delta t_2$ , поскольку  $g > \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$ , а следовательно

$V\Delta t_1 = \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha < V(t_2 - \Delta t_2) = g$ . Таким образом, равенство (4) отделяет класс  
 20  $A_1$  от классов  $A_3$  и  $A_4$ .

В случае, когда  $t_1 < t_2$  ( $l < L/2$ ), возможны классы  $A_2, A_3, A_4$ . При наличии класса  $A_2$   
 справедливо  $V(t_1 - \Delta t_1) = g + h \cdot \operatorname{tg} \alpha = V\Delta t_2$ , что в условиях фиксации временных  
 отрезков эквивалентно равенству

$$25 \quad t_1 - \Delta t_1 = \Delta t_2. \quad (5)$$

Для класса  $A_3$  в этом случае характерно соотношение  $\Delta t_2 < t_1 - \Delta t_1$ , поскольку

$$30 \quad g < \left(l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha, \text{ а следовательно, } V\Delta t_2 = h \cdot \operatorname{tg} \alpha + g < V(t_1 - \Delta t_1) = \left(l + \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha.$$

Аналогично для класса  $A_4$  в этом случае  $\Delta t_2 < t_1 - \Delta t_1$ , поскольку  $g > \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha$ , а

35 поэтому  $V\Delta t_2 = \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha < V(t_1 - \Delta t_1) = g + h \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . Таким образом, равенство (5) отделяет класс  $A_2$  от классов  $A_3$  и  $A_4$ .

Рассмотрим теперь разность уравнений (1) и (2):

$$40 \quad V(t_1 - t_2) = (2l - L) \operatorname{tg} \alpha.$$

Очевидно, что при прохождении рубежа объектом посередине его границ ( $l = L/2$ )  
 имеет место равенство временных отрезков:  $t_1 = t_2$ . Это условие исключает классы  $A_1$  и  
 $A_2$  пересечения рубежа, т.к. для них характерно обратное:  $t_1 \neq t_2$ . Условие  $t_1 = t_2$   
 идентифицирует классы  $A_3$  и  $A_4$ , между которые необходимо делать выбор. Заметим,  
 45 что класс  $A_3$  - это пересечение рубежа объектом сравнительно небольшой

протяженности, когда его размер  $g$  отвечает условиям  $g \leq \left(l - \frac{h}{2}\right)$  и  $g \leq \left(L - l - \frac{h}{2}\right)$ .

Проанализируем признаки, разделяющие классы  $A_3$  и  $A_4$ .

Для класса  $A_4$  при любом соотношении между  $t_1$  и  $t_2$  характерно условие

$$\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} = \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{d} \quad (6)$$

В то же время для класса  $A_3$  справедливы два выражения

$$V(\Delta t_1 + \Delta t_2) = 2g + h \cdot \operatorname{tg} \alpha < \left(1 - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha + \left(L - 1 - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha + h \cdot \operatorname{tg} \alpha = L \operatorname{tg} \alpha,$$

$$V(\Delta t_1 + t_5) = V(\Delta t_2 + t_4) = g + d - \left(L - 1 - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha < d,$$

т.е. числитель и знаменатель отношений  $\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4}$  меньше, чем для класса  $A_4$ .

Рассмотрим подробнее отношения  $\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4}$  для класса  $A_3$ , чтобы определить, каким образом они отличаются от зависимости (6).

Пусть  $l > L/2$ . При этом зададим продольный размер объекта в виде  $g = \left(L - 1 - \frac{h}{2}\right) - x$ , где  $x$  - некоторый линейный размер, характеризующий на сколько объект меньше соответствующего размера поля зрения объектива (что характерно для класса  $A_3$ ), т.е.

$$0 \leq x < \left(L - 1 - \frac{h}{2}\right). \text{ Тогда}$$

$$V(\Delta t_1 + \Delta t_2) = 2g + h \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot \left[ \left(L - 1 - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha - x \right] + h \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2(L - 1) \operatorname{tg} \alpha - 2x,$$

$$V(\Delta t_1 + t_5) = V(\Delta t_2 + t_4) = g + d - \left(L - 1 - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha = d - x.$$

Введем и рассмотрим дискриминантную функцию  $y_1$  в виде разности

$$\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{d};$$

$$y_1 = \frac{-2x + 2(L - 1) \operatorname{tg} \alpha}{-x + d} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{d} = \frac{(L \operatorname{tg} \alpha - 2d)x + d(L - 2l) \operatorname{tg} \alpha}{-dx + d^2}. \quad (7)$$

Анализ дискриминантной функции  $y_1(x)$  позволяет определить поведение отношения

$\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4}$  для класса  $A_3$ . При этом практический интерес представляет область значений аргумента функции от  $x=0$  до соизмеримых с размерами сечения поля зрения объектива.

Выражение (7) показывает, что  $y_1(x)$  - дробно-рациональная функция вида

$$y = \frac{a_1 x + b_1}{a_2 x + b_2}. \text{ Ее график - равносторонняя гипербола с асимптотами, параллельными}$$

5 осям координат, и с центром в точке  $C\left(-\frac{b_2}{a_2}, \frac{a_1}{a_2}\right)$ ; она имеет разрыв при  $x = -\frac{b_2}{a_2}$  и

не имеет экстремумов. Функция  $y(x)$  является убывающей, если  $D < 0$ , где  $D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}$

10 - дискриминант функции, для  $y_1(x)$  равный

$$D_{y_1} = a_1 b_2 - a_2 b_1 = (L \operatorname{tg} \alpha - 2d)d^2 + d^2(L - 2l) \operatorname{tg} \alpha = 2d^2(L \operatorname{tg} \alpha - l \operatorname{tg} \alpha - d). \text{ При}$$

соблюдении условия  $L \operatorname{tg} \alpha < l \operatorname{tg} \alpha + d$  дискриминант функции  $y_1(x)$  отрицателен, а функция  
15 убывает. При  $x=0$  и при соблюдении условия  $l > L/2$  функция  $y_1(x)$  отрицательна. Это

$$\text{означает, что } \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} < \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{d}.$$

Рассмотрим случай  $l < L/2$ . При этом зададим продольный размер объекта в виде

$$20 \quad g = \left(1 - \frac{h}{2}\right) - x, \text{ где } x - \text{некоторый линейный размер, характеризующий на сколько}$$

объект меньше соответствующего размера поля зрения объектива (что характерно для

25 класса  $A_3$ ), т.е.  $0 \leq x < \left(1 - \frac{h}{2}\right)$ . Тогда

$$V(\Delta t_1 + \Delta t_2) = 2g + h \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot \left[ \left(1 - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha - x \right] + h \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2l \cdot \operatorname{tg} \alpha - 2x,$$

$$30 \quad V(\Delta t_1 + t_5) = V(\Delta t_2 + t_4) = g + d - \left(L - l - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha = d - (L - 2l) \operatorname{tg} \alpha - x.$$

Сформируем вторую дискриминантную функцию  $y_2$  как разность  $\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{d}$ :

$$35 \quad y_2 = \frac{-2x + 2l \cdot \operatorname{tg} \alpha}{-x + d - (L - 2l) \operatorname{tg} \alpha} - \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{d} =$$

$$= \frac{(L \operatorname{tg} \alpha - 2d)x + (L - 2l)(L \operatorname{tg} \alpha - d) \operatorname{tg} \alpha}{-dx + d^2 - d(L - 2l) \operatorname{tg} \alpha} \quad (8)$$

40 Дискриминант функции  $y_2(x)$  равен

$$D_{y_2} = a_1 b_2 - a_2 b_1 = (L \operatorname{tg} \alpha - 2d) \left[ d^2 - d(L - 2l) \operatorname{tg} \alpha \right] + d(L - 2l)(L \operatorname{tg} \alpha - d) \operatorname{tg} \alpha =$$

$$= (L \operatorname{tg} \alpha - 2d)d^2 - d(L - 2l)(L \operatorname{tg} \alpha - 2d) \operatorname{tg} \alpha + d(L - 2l)(L \operatorname{tg} \alpha - d) \operatorname{tg} \alpha =$$

$$45 \quad = (L \operatorname{tg} \alpha - 2d)d^2 - d(L - 2l)(L \operatorname{tg} \alpha - 2d - L \operatorname{tg} \alpha + d) \operatorname{tg} \alpha =$$

$$= (L \operatorname{tg} \alpha - 2d)d^2 + d^2(L - 2l) \operatorname{tg} \alpha = 2d^2(L \operatorname{tg} \alpha - l \operatorname{tg} \alpha - d),$$

т.е. такой же, как и для функции  $y_1(x)$ .

При соблюдении условия  $Ltg\alpha < l \cdot tg\alpha + d$  дискриминант функции  $y_2(x)$  отрицателен, а функция будет убывающей. При  $x=0$  функция  $y_2(x)$  приобретает вид:

$$y_2 = \frac{(L-2l)(Ltg\alpha - d)tg\alpha}{d^2 - d(L-2l)tg\alpha}.$$

Знаменатель выражения для  $y_2(x)$  положителен при условии, что  $Ltg\alpha < l \cdot tg\alpha + d$ , поскольку в этом случае

$$d^2 - d(L-2l)tg\alpha = d(d - Ltg\alpha + 2l \cdot tg\alpha) > d(Ltg\alpha - l \cdot tg\alpha - Ltg\alpha + 2l \cdot tg\alpha) = d \cdot l \cdot tg\alpha > 0.$$

Числитель выражения (8) для  $y_2(x)$  отрицателен при условии, что  $Ltg\alpha < d$ . Таким образом, при соблюдении условий  $l < L/2$  и  $Ltg\alpha < d$  функция  $y_2(x)$  при  $x=0$  отрицательна

и является убывающей. Это означает, что  $\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} < \frac{Ltg\alpha}{d}$ .

И, наконец, при  $l=L/2$  третья дискриминантная функция  $y_3(x)$  приобретает вид:

$$y_3 = \frac{(Ltg\alpha - 2d)x}{-dx + d^2}.$$

Функция  $y_3(x)$  является убывающей ( $D < 0$ ) при условии  $Ltg\alpha < 2d$ , а при  $x=0$  функция равна нулю. При  $x=0$  происходит фактический переход класса В, при котором

соблюдаются условия  $g \leq \left(1 - \frac{h}{2}\right)$  и  $g \leq \left(L - l - \frac{h}{2}\right)$ , в класс Г пересечения рубежа объектом с большим продольным размером.

Представленный выше анализ дискриминантных функций  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$  и  $y_3(x)$  показывает, что при пересечении объектом рубежа на любом расстоянии  $l$  и при выполнении условия  $Ltg\alpha < d$  классы  $A_3$  и  $A_4$  разделимы, поскольку для класса  $A_4$  всегда выполняется условие (6), а для класса  $A_3$  справедливо альтернативное соотношение:

$$\frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} < \frac{Ltg\alpha}{d}. \quad (9)$$

Анализ особой точки функций  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$  и  $y_3(x)$ , соответствующей определенной организации рубежа, когда  $Ltg\alpha = d$ , показал, что и в этом случае условие (9) для класса  $A_3$  справедливо. Однако в этом случае становится недостаточным количество независимых временных откликов для класса  $A_2$ . Если же  $d < Ltg\alpha$ , то нарушаются условия формирования временных отрезков  $t_4$ ,  $t_5$ , поскольку в этом случае сигнал может раньше появляться на приемнике излучения 2, чем на приемнике 1 (фиг. 1). Справедливость формул, связанных с временами  $t_4$ ,  $t_5$ , нарушается. Необходимо формировать рубеж таким образом, чтобы соблюдалось неравенство  $d > Ltg\alpha$ .

Таким образом, при  $t_1 = t_2$ , что допускают только классы  $A_3$  и  $A_4$ , дискриминантные функции (6), (9) позволяют их разделить, а при  $t_1 \neq t_2$  в зависимости от того, какое из времен больше ( $t_1 > t_2$  или  $t_1 < t_2$ ), оказывается возможным разделить классы на две группы,

в каждую из которых входит по три класса -  $A_1, A_3, A_4$  или  $A_2, A_3, A_4$ . Дискриминантные функции (4) и (5) позволяют выделить из этих групп классы  $A_1$  и  $A_2$  соответственно, а дальнейшее разделение возможно опять с помощью (6), (9).

5 Пространственно-временная селекция объекта реализуется с помощью пяти логических функций (дискриминантного набора), зависящих от введенных дискриминантных функций и определяющих алгоритм определения класса пересечения рубежа с помощью анализа временных интервалов  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$ :

$$10 \quad f_1 = \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 = t_2, \\ 0, & \text{если } t_1 \neq t_2, \end{cases} \quad f_3 = \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 > t_2, \\ 0, & \text{если } t_1 < t_2, \end{cases}$$

$$15 \quad f_2 = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} = \frac{Ltg\alpha}{d} \\ 0, & \text{если } \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} < \frac{Ltg\alpha}{d}, \end{cases} \quad f_4 = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t_1 = t_2 - \Delta t_2, \\ 0, & \text{если } \Delta t_1 < t_2 - \Delta t_2, \end{cases}$$

$$f_5 = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t_2 = t_1 - \Delta t_1, \\ 0, & \text{если } \Delta t_2 < t_1 - \Delta t_1. \end{cases}$$

Классам пересечения рубежа  $A_1, A_2, A_3, A_4$  сопоставлены булевы функции. В качестве аргументов булевых функций  $A_1, A_2, A_3, A_4$  рассматриваются введенные логические функции  $f_1$ - $f_5$ . Таблица истинности булевых функций  $A_1, A_2, A_3, A_4$  в соответствии с алгоритмом, представленным на фиг. 2, приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Таблица истинности функций  $A_1, A_2, A_3, A_4$

$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
1	1	-	-	-	0	0	0	1
1	0	-	-	-	0	0	1	0
0	-	1	1	-	1	0	0	0
0	-	0	-	1	0	1	0	0
0	1	1	0	-		0	0	1
0	0	1	0	-	0	0	1	0
0	1	0	-	0	0	0	0	1
0	0	0	-	0	0	0	1	0

Заданные таблицей истинности булевы функции  $A_1, A_2, A_3, A_4$  выражены в дизъюнктивной нормальной форме:

$$A_1 = \bar{f}_1 f_3 f_4$$

$$A_2 = \bar{f}_1 \bar{f}_3 f_5$$

$$45 \quad A_3 = f_1 \bar{f}_2 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5$$

$$A_4 = f_1 f_2 \vee \bar{f}_1 f_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 f_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5$$

Факт прохождения рубежа объектом контроля фиксируется одной и только одной

из булевых функций  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , которая принимает единичное значение в соответствии с классом этого прохождения. Такой выбор происходит на основании анализа временных отрезков  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$ , получаемых как результат обработки сигналов с приемников излучения системы. Этот выбор позволяет однозначно оценить параметры объекта  $g$  и  $h$ , в зависимости от класса прохождения рубежа.

Определяем параметры нарушения.

Определяем параметры объекта для классов  $A_1$  и  $A_3$ . Сложение уравнений (2) и (3) дает выражение

$$V(t_2 + t_4) = d + g, \quad (10)$$

откуда с использованием общего признака классов  $A_1$  и  $A_3$  ( $V\Delta t_1 = g$ ) получаем

$$V = \frac{d}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}. \text{ При этом } g = \frac{d\Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}. \text{ Вычитая из уравнения (1) уравнение}$$

(2), получим

$$V(t_1 - t_2) = (2l - L)\operatorname{tg}\alpha, \quad (11)$$

откуда находим третий параметр  $l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg}\alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right)$ . Складывая

уравнения (1) и (2), получим  $V(t_1 + t_2) = (L + h)\operatorname{tg}\alpha + 2g$ , откуда находим четвертый

$$\text{параметр } h = \frac{d}{\operatorname{tg}\alpha} \times \left( \frac{t_1 + t_2 - 2\Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right) - L.$$

Определим параметры объекта для класса  $A_2$ . Для этого класса пересечений рубежа справедливы два равенства (фиг. 1):  $V(t_1 - \Delta t_1) = g + h \cdot \operatorname{tg}\alpha$  и  $Vt_5 = d + g - (L - h)\operatorname{tg}\alpha$ . Вычитая из последнего равенства первое, получим  $V(t_5 - t_1 + \Delta t_1) = d - L\operatorname{tg}\alpha$ , откуда

находим  $V = \frac{d - L\operatorname{tg}\alpha}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}$ . Складывая уравнение (3) с дополнительным уравнением

$$V(t_2 - \Delta t_2) = \left( L - l - \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg}\alpha \text{ для класса } A_2, \text{ получим } V(t_4 + t_2 - \Delta t_2) = d - h\operatorname{tg}\alpha.$$

Подставив в это уравнение полученное значение скорости, найдем второй параметр

$$\text{объекта } h = \frac{d}{\operatorname{tg}\alpha} - \left( \frac{d}{\operatorname{tg}\alpha} - L \right) \times \frac{t_4 + t_2 - \Delta t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}. \text{ Воспользовавшись уравнением (10),}$$

получаем третий параметр объекта  $g = (d - L\operatorname{tg}\alpha) \times \frac{t_2 + t_4}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} - d$ . Для получения выражения, определяющего четвертый параметр объекта, используем уравнение (11):

$$l = \frac{1}{2} \left[ L + \left( \frac{d}{\operatorname{tg}\alpha} - L \right) \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} \right].$$

И, наконец, определяем параметры объекта для класса  $A_4$ . Для этого класса пересечений рубежа справедливы три дополнительных равенства (фиг. 1):

$V(\Delta t_1 + t_5) = d$ ,  $V(t_2 - \Delta t_2) = g$  и  $V(t_1 - \Delta t_1) = g + h \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . Первое из них дает

5  $V = \frac{d}{t_5 + \Delta t_1}$ , второе определяет  $g = d \times \frac{t_2 - \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$ , третье определяет

$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2 - \Delta t_1 + \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$ . Используя уравнение (11), получаем четвертый

10 параметр объекта  $l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 + \Delta t_1} \right)$ .

Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Уравнения для определения параметров объекта

15

Класс $A_1$	Класс $A_2$
$V = \frac{d}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$V = \frac{d - L \operatorname{tg} \alpha}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}$
$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right)$	$l = \frac{1}{2} \left[ L + \left( \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} - L \right) \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} \right]$
$g = \frac{d \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$g = (d - L \operatorname{tg} \alpha) \times \frac{t_2 + t_4}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} - d$

30

$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \left( \frac{t_1 + t_2 - 2 \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right) - L$	$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} - \left( \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} - L \right) \times \frac{t_4 + t_2 - \Delta t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}$
Класс $A_3$	Класс $A_4$
$V = \frac{d}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$V = \frac{d}{t_5 + \Delta t_1}$
$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right)$	$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 + \Delta t_1} \right)$
$g = \frac{d \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$g = d \times \frac{t_2 - \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$
$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \left( \frac{t_1 + t_2 - 2 \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right) - L$	$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2 - \Delta t_1 + \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$

45

Классы  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , составляющие генеральную совокупность  $\Omega$  всех возможных пересечений рубежа, можно идентифицировать (подразумевая под  $\omega$  класс пересечения рубежа, а под  $F(\omega)$  - аналитическое выражение булевой функции) следующим образом:

$$A_1 = \{ \omega : F(\omega) = \bar{f}_1 f_3 f_4 \},$$

$$A_2 = \{ \omega : F(\omega) = \bar{f}_1 \bar{f}_3 f_5 \},$$

$$5 \quad A_3 = \{ \omega : F(\omega) = f_1 \bar{f}_2 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5 \}, \quad (12)$$

$$A_4 = \{ \omega : F(\omega) = f_1 f_2 \vee \bar{f}_1 f_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 f_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5 \}.$$

Таким образом, при пересечении объектом-нарушителем рубежа с помощью  
возникающих в тепловых приемниках временных откликов формируются логические  
10 дискриминантные функции  $f_1$ - $f_5$ , однозначно определяющие вариант пересечения рубежа  
по выражениям (12). После этого, по выражениям таблицы 2 определяются параметры  
пересечения и в соответствии с назначением системы принимается решение (тревога,  
сортировка, подсчет и др.).

15

### Формула изобретения

Способ обнаружения нарушителя и определения параметров нарушителя по его  
тепловому излучению, путем использования тепловых датчиков, расположенных на  
противоположных сторонах рубежа, преобразования принятого излучения в  
электрические сигналы, определения временных задержек сигналов друг относительно  
20 друга, отличающийся тем, что используют два тепловых датчика с углами полей зрения  
 $\alpha$ , расположенных по одному на каждой из противоположной стороне рубежа  
протяженностью  $L$ , образующие полей зрения которых в горизонтальной плоскости  
параллельны и одна из них у каждого объектива перпендикулярна противоположной  
стороне рубежа, а расстояние между ними равно  $d$ , по преобразованным принятым  
25 этими датчиками излучениям в электрические сигналы определяют временные отрезки:  
 $t_1$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения первого объектива до его полного  
выхода,  $t_2$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения второго объектива до  
его полного выхода,  $t_4$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения первого  
30 объектива до начала вхождения объекта в поле зрения второго объектива,  $t_5$  - время  
между максимумами сигналов, возникающих на приемниках излучения обоих  
объективов,  $\Delta t_1$  - время от начала вхождения объекта в поле зрения первого объектива  
до достижения сигналом максимума,  $\Delta t_2$  - время от начала вхождения объекта в поле  
зрения второго объектива до достижения сигналом максимума, с помощью полученных  
35 временных отрезков  $t_1, t_2, t_4, t_5, \Delta t_1, \Delta t_2$  формируют дискриминантный набор логических  
функций:

$$40 \quad f_1 = \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 = t_2 \\ 0, & \text{если } t_1 \neq t_2 \end{cases}, \quad f_3 = \begin{cases} 1, & \text{если } t_1 > t_2 \\ 0, & \text{если } t_1 < t_2 \end{cases},$$

$$45 \quad f_2 = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} = \frac{Ltg\alpha}{d} \\ 0, & \text{если } \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_1 + t_5} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\Delta t_2 + t_4} < \frac{Ltg\alpha}{d} \end{cases}, \quad f_4 = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t_1 = t_2 - \Delta t_2 \\ 0, & \text{если } \Delta t_1 < t_2 - \Delta t_2 \end{cases},$$

$$f_5 = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t_2 = t_1 - \Delta t_1 \\ 0, & \text{если } \Delta t_2 < t_1 - \Delta t_1 \end{cases},$$

для выявления класса пересечения рубежа вычисляют четыре логических выражения:

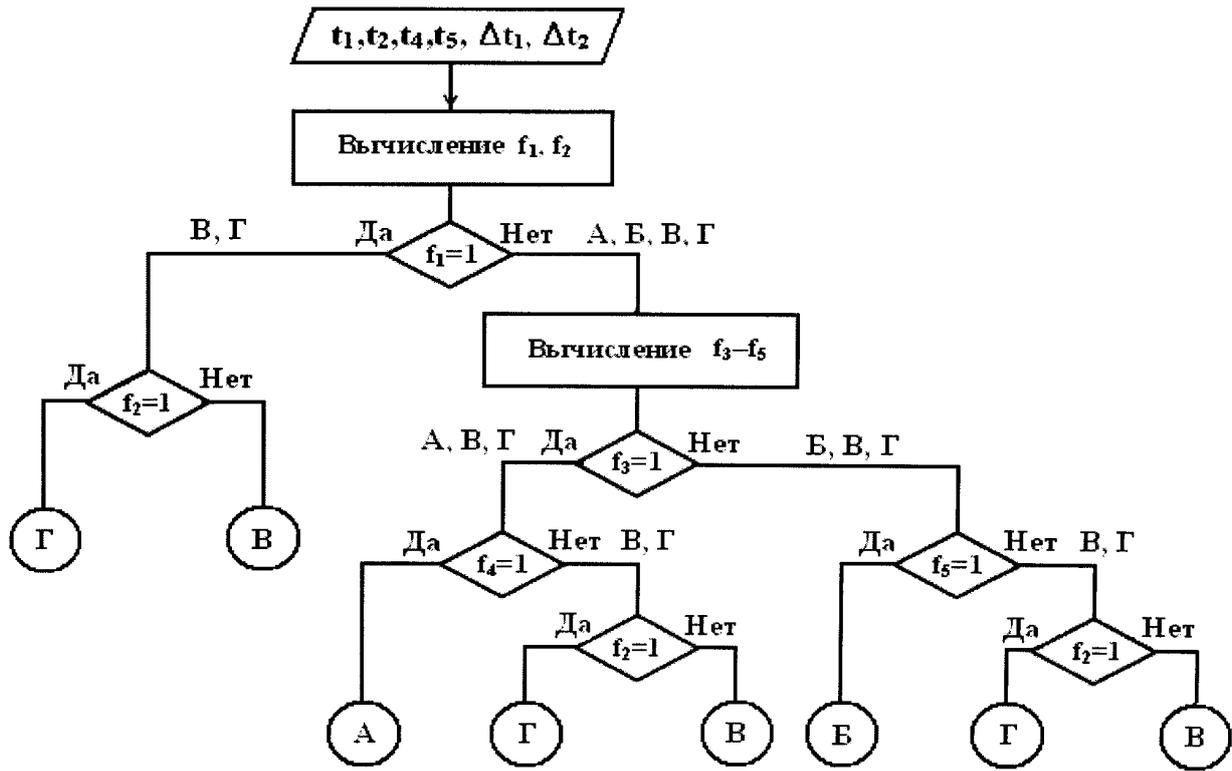
$$A_1 = \bar{f}_1 f_3 f_4, \quad A_2 = \bar{f}_1 \bar{f}_3 f_5, \quad A_3 = f_1 \bar{f}_2 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 \bar{f}_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5, \quad A_4 = f_1 f_2 \vee \bar{f}_1 f_2 f_3 \bar{f}_4 \vee \bar{f}_1 f_2 \bar{f}_3 \bar{f}_5,$$

только одно из которых является истинным и определяет вариант пересечения рубежа, бесконечное множество  $\Omega$  которых, отличающееся размерами объекта по отношению к полям зрения тепловых датчиков, разделено на четыре несовместных класса, составляющих полную группу событий и удовлетворяющих условию  $\Omega = A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4$ , где  $A_i \cap A_j = \emptyset$ ,  $i \neq j$ ,  $i, j = \overline{1,4}$  и в соответствии с выявленным классом определяют параметры нарушителя:

Класс $A_1$	Класс $A_2$
$V = \frac{d}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$V = \frac{d - L \operatorname{tg} \alpha}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}$
$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right)$	$l = \frac{1}{2} \left[ L + \left( \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} - L \right) \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} \right]$
$g = \frac{d \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$g = (d - L \operatorname{tg} \alpha) \times \frac{t_2 + t_4}{t_5 - t_1 + \Delta t_1} - d$
$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \left( \frac{t_1 + t_2 - 2 \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right) - L$	$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} - \left( \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} - L \right) \times \frac{t_4 + t_2 - \Delta t_2}{t_5 - t_1 + \Delta t_1}$

Класс $A_3$	Класс $A_4$
$V = \frac{d}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$V = \frac{d}{t_5 + \Delta t_1}$
$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right)$	$l = \frac{1}{2} \left( L + \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2}{t_5 + \Delta t_1} \right)$
$g = \frac{d \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1}$	$g = d \times \frac{t_2 - \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$
$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \left( \frac{t_1 + t_2 - 2 \Delta t_1}{t_2 + t_4 - \Delta t_1} \right) - L$	$h = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha} \times \frac{t_1 - t_2 - \Delta t_1 + \Delta t_2}{t_5 + \Delta t_1}$

где  $V$  - скорость перемещения объекта вдоль границ рубежа,  $h$  - поперечный размер объекта,  $g$  - продольный размер объекта,  $l$  - расстояние от первого объектива до траектории движения объекта.



Алгоритм определения класса пересечения рубежа

Фиг.2