

УДК 004.056

## МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ДВИЖЕНИЯ ОХРАННИКА ПРИ ПОИСКЕ ПРЕСТУПНИКА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**В.Н. Ворожейкин, А.С. Баранов**

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

**Аннотация.** Работа посвящена вопросу комплексного использования технических средств и физических сил охраны при обеспечении безопасности нескольких объектов, расположенных на контролируемой территории. Предлагается метод решения задачи выбора стратегии поиска преступника сотрудником охраны с минимизацией времени при наличии неопределенности знания направления движения первого к одному из двух объектов. В основе предлагаемого метода лежит стратегия поиска преступника, реализуемая системой управления движениями охранника, включающая два прямолинейных участка его пути, которые формируются на основе информации с датчиков охранной сигнализации. Разработана математическая модель расчета параметров управления движениями охранника и алгоритм работы системы управления, позволяющий реализовать оптимальную стратегию поиска в зависимости от местоположения объектов, охранника, преступника и информации с технических средств охраны.

**Ключевые слова:** объект, территория, преступник, охранник, стратегия, технические средства охраны, математическая модель, алгоритм.

### Введение

Исследование вопросов обеспечения безопасности объектов не потеряло свою актуальность и в настоящее время. Необходимость решения этих задач связана с рядом часто встречающихся проблем объектовой охраны. Во-первых, в большинстве организаций выделяется недостаточно средств на охрану, однако защищать объекты, находящиеся на территории организаций, в условиях ограниченных средств необходимо. Во-вторых, технические средства охраны (ТСО), установленные по периметру крупных предприятий, информируют лишь о факте несанкционированного доступа (НСД) и не позволяют исключить проникновение злоумышленника на контролируемую территорию. В-третьих, в организациях, расположенных на больших территориях, ТСО не позволяют отслеживать перемещения постороннего по охраняемой территории.

Анализ известных авторам работ в области защиты объектов показывает, что значительная их часть [1–12] посвящена техническим средствам охраны (в частности, проектированию, установке, обработке сигналов с охранных извещателей с целью уменьшения ложных срабатываний и др.).

Работа [13] В.В. Меньших и Д.Ю. Калкова посвящена разработке модели поиска злоумышленника в границах контролируемой территории при рассмотрении

---

*Ворожейкин Владимир Николаевич (к.т.н.), доцент кафедры «Электронные системы и информационная безопасность».*

*Баранов Александр Сергеевич, студент.*

различных реакций системы защиты. Данная модель рассчитывает время пребывания злоумышленника на охраняемой территории, а также помогает имитировать действия злоумышленника.

В статье [14] В.Н. Ворожейкина проводится анализ метода поиска преступника «вдогонку». Автор доказывает, что при использовании рассматриваемого метода не удастся минимизировать время поиска преступника, тем самым перехват преступника до реализации его цели на объекте маловероятен.

С.С. Звездинский, И.В. Парфенцев и М.Н. Бережная [15] предложили два критерия эффективности поиска наземных целей с использованием мобильного комплекса на основе системы дистанционного обнаружения.

В вышеприведенных работах не решается задача минимизации времени поиска преступника в пределах контролируемой территории на основе комплексного подхода с учетом технических и физических средств охраны с целью разработки математической модели поиска преступника.

Рассмотрим задачу разработки метода выбора стратегии движения охранника при поиске преступника в условиях неопределенности.

### Постановка задачи

Дана территория организации, в пределах которой находятся пост охраны и два защищаемых объекта (ЗО). Технические средства охраны регистрируют время и место нарушения преступником охраняемой территории и ЗО соответственно.

На посту охраны после срабатывания охранных извещателей проводится коррекция с помощью радиосвязи положения сотрудника охраны, осуществляющего патрулирование территории (рис. 1).

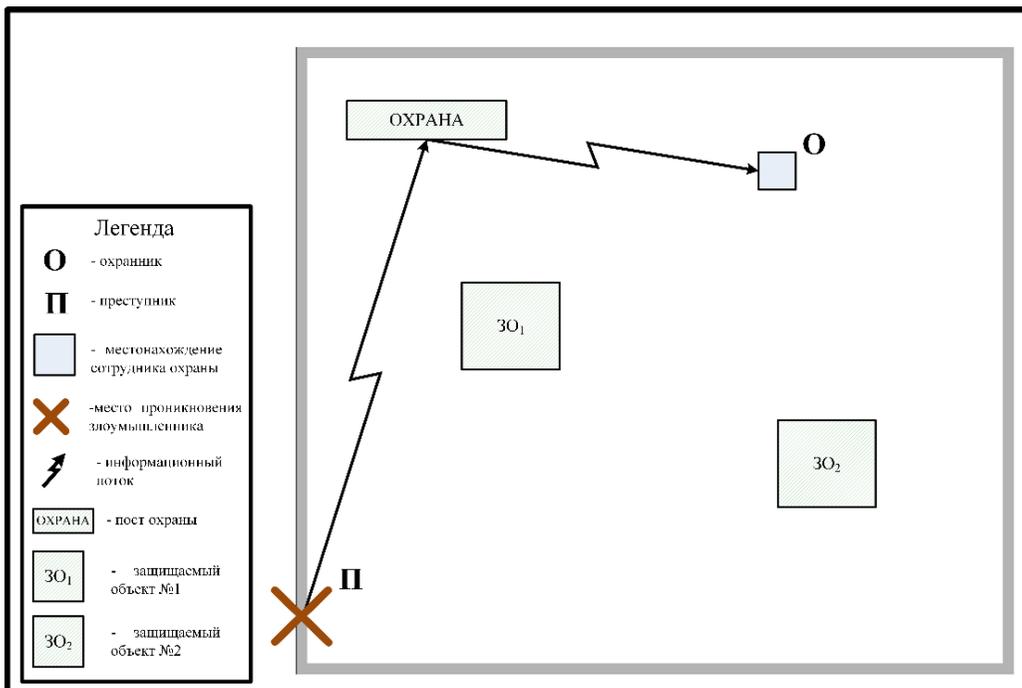


Рис. 1. Информационные потоки: периметральный извещатель – пункт охраны – охранник

Цель исследования – разработка стратегии поиска преступника в пределах контролируемой зоны в условиях неопределенности.

Под стратегией поиска преступника понимается алгоритм управления движением охранника по радиоканалу с поста охраны на основе сигналов охранных извещателей, расположенных вдоль периметров территории организации и защищаемых объектов.

Условием неопределенности является отсутствие информации у охраны о цели преступника в процессе его движения от периметра территории организации до одного из двух объектов.

В качестве критерия решения задачи рассматривается минимальное время поиска преступника независимо от его цели – любого из двух объектов, т. е. время поиска должно отвечать двум условиям:

- минимальное время и его значение для любого из двух объектов;
- минимальная разница времени поиска между двумя объектами.

В качестве параметров управления движением охранника в дальнейшем будем использовать время и направление движения охранника в начальный момент времени и в точках коррекции его движения.

Допущения:

1. Преступник движется по прямой.
2. Движение охранника может содержать несколько отрезков прямых линий.
3. Сотрудник охраны и преступник движутся с равной скоростью на всех участках.

### Метод решения

С целью решения поставленной задачи проведем анализ возможных вариантов – алгоритмов управления движением охранника при поиске преступника в зависимости от информации о взаимном положении охранника, преступника и объектов в моменты нарушения преступником периметров территории организации и объекта. В качестве метода системного анализа выбрали метод типа «сценарии» [16].

Введем отрезки  $u_1, u_2$ . Это расстояние от места совершения НСД до ЗО<sub>1</sub> и ЗО<sub>2</sub>;  $x_1, x_2$  – расстояния от местонахождения сотрудника охраны до ЗО<sub>1</sub> и ЗО<sub>2</sub>; «с» – расстояние между ЗО, «п» – расстояние, являющееся составной частью пути сотрудника охраны до выделенных помещений. Обозначим угол  $\varphi_{\max}$  между сторонами  $x_1$  и  $x_2$  треугольника  $x_1x_2c$ . Данные обозначения продемонстрированы на рис. 2. Под «О» будем подразумевать сотрудника охраны, под «П» – преступника.

Для анализа будем рассматривать стратегии, при которых охранник и преступник движутся к разным ЗО, поскольку в противном случае задача получает простое решение.

$$\begin{aligned} 1. & P \rightarrow ZO_1, O \rightarrow ZO_2, \\ 2. & P \rightarrow ZO_2, O \rightarrow ZO_1. \end{aligned} \tag{1}$$

Учитывая, что стратегии 1 и 2 в выражении (1) представляют собой взаимное зеркальное отображение, будем далее рассматривать только

$$1. P \rightarrow ZO_2, O \rightarrow ZO_1.$$

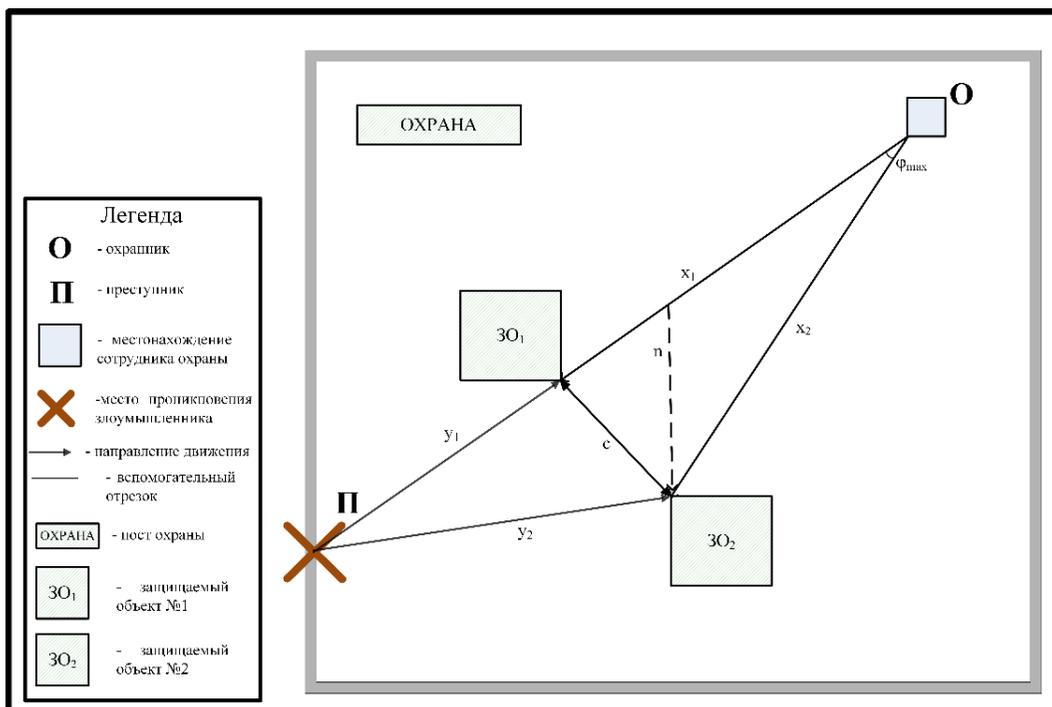


Рис. 2. Схема взаимного расположения преступника, охранника и объекта

Поскольку скорости движения сотрудника охраны и преступника одинаковы, следовательно,

$$v_{охран.} = v_{прест.} = v.$$

Математическая модель движения преступника:

$$t_{прест.} = \frac{y}{v}.$$

$t_{прест.}$  – время движения преступника от момента проникновения на охраняемую территорию.

Математическая модель движения охранника:

$$t_{охран.} = \frac{x}{v}.$$

$t_{охран.}$  – время движения охранника с момента проникновения преступника на охраняемую территорию

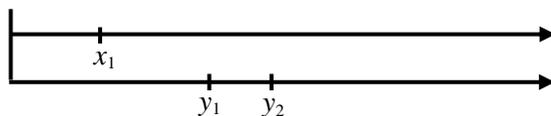
Начальные  $t_{0прест.}, t_{0охран.}$  равны 0, т. е.

$$t_{0охран.} = t_{0прест.} = 0.$$

Основными элементами взаимного расположения охранника, преступника и объекта при анализе схем движения охранника являются величины  $x_1, y_1, y_2$ , а именно:

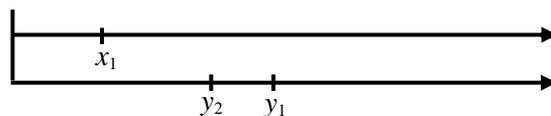
Вариант 1.

1.  $y_1 < y_2, x_1 < y_1, x_1 < y_2.$



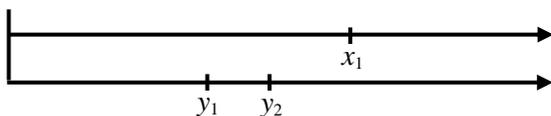
Вариант 2.

2.  $y_1 > y_2, x_1 < y_1, x_1 < y_2.$



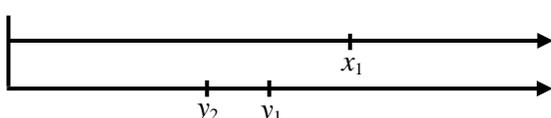
Вариант 3.

3.  $y_1 < y_2, x_1 > y_1, x_1 > y_2.$



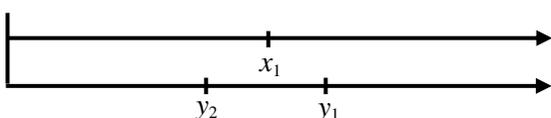
Вариант 4.

4.  $y_1 > y_2, x_1 > y_1, x_1 > y_2.$



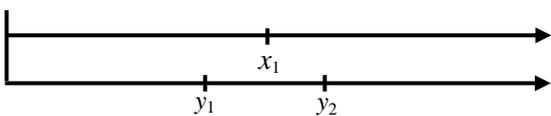
Вариант 5.

5.  $y_1 > y_2, x_1 < y_1, x_1 > y_2.$



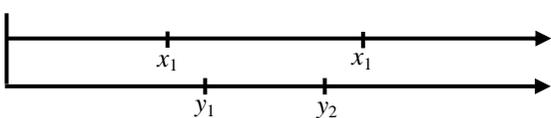
Вариант 6.

6.  $y_1 < y_2, x_1 > y_1, x_1 < y_2.$



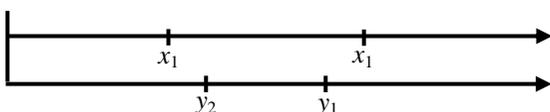
Вариант 7.

7.  $y_1 < y_2, x_1 < y_1, x_1 > y_2.$



Вариант 8.

8.  $y_1 > y_2, x_1 > y_1, x_1 < y_2$ .



Варианты 7 и 8 не могут иметь место ввиду противоречия сочетаний  $x_1, y_1, y_2$ , поэтому далее будут рассмотрены варианты 1–6.

*Рассмотрим 1-й вариант.* В этом случае охранник по команде с поста охраны движется в направлении ЗО<sub>1</sub> и достигает его раньше возможного прихода преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub>.

Ввиду неопределенности в приходе преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub> возникает альтернатива ожидания преступника в ЗО<sub>1</sub> либо движения к ЗО<sub>2</sub>.

Поскольку  $y_1 < y_2$ , то пост охраны передает команду охраннику на его ожидание в ЗО<sub>1</sub> на интервал времени

$$t_{\text{ожид.1}}^{\text{опр.}} = \frac{y_1 - x_1}{v}.$$

При отсутствии прихода преступника в ЗО<sub>1</sub> через время его ожидания охранник получает команду двигаться из ЗО<sub>1</sub> в ЗО<sub>2</sub>.

В этом случае суммарное время достижения охранником ЗО<sub>2</sub> равно

$$t_{\text{ЗО}_2}^{\text{опр.1}} = \frac{y_1 + c}{v}.$$

Учитывая это, разницу времени прихода в ЗО<sub>2</sub> преступника и охранника можно записать в следующем виде:

$$\Delta t_{\text{ЗО}_2}^1 = \frac{c}{v}.$$

*Рассмотрим 2-й вариант.* В этом случае охранник по команде с поста охраны движется в направлении ЗО<sub>1</sub> и достигает его раньше возможного прихода преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub>.

Ввиду неопределенности в приходе преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub> возникает альтернатива ожидания преступника в ЗО<sub>1</sub> либо движения к ЗО<sub>2</sub>.

Поскольку  $y_1 > y_2$ , то пост охраны передает команду охраннику на его ожидание в ЗО<sub>1</sub> на интервал времени

$$t_{\text{ожид.2}}^{\text{опр.}} = \frac{y_2 - x_1}{v}.$$

При приходе преступника в ЗО<sub>2</sub> через время его ожидания охранник получает команду двигаться из ЗО<sub>1</sub> в ЗО<sub>2</sub>.

В этом случае суммарное время достижения охранником ЗО<sub>2</sub> равно

$$t_{\text{ЗО}_2}^{\text{опр.2}} = \frac{y_2 + c}{v}.$$

Учитывая это, разницу времени прихода в ЗО<sub>2</sub> преступника и охранника можно записать в следующем виде:

$$\Delta t_{3O_2}^2 = \frac{c}{v}.$$

*Рассмотрим 3-й вариант.* В этом случае охранник по команде с поста охраны движется в направлении ЗО<sub>1</sub> и достигает его позже возможного прихода преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub>.

Ввиду неопределенности в приходе преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub> возникает необходимость выдвигания охранника к ЗО, а после получения информации о срабатывании сигнализации – направления его из текущего положения к ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub>.

При приходе преступника в ЗО<sub>2</sub> охранник получает команду двигаться из текущего местоположения к ЗО<sub>2</sub>.

В этом случае суммарное время достижения охранником ЗО<sub>2</sub> равно

$$t_{3O_2}^{exp.3} = \frac{y_2 + n_1}{v}.$$

$$n_1 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 - 2x_2y_2 \cos \varphi_{max}},$$

$\varphi_{max}$  – угол между сторонами  $x_1x_2$  треугольника  $x_1x_2c$ .

Учитывая это, разницу времени прихода в ЗО<sub>2</sub> преступника и охранника можно записать в следующем виде:

$$\Delta t_{3O_2}^3 = \frac{n_1}{v}.$$

*Рассмотрим 4-й вариант.* В этом случае охранник по команде с поста охраны движется в направлении ЗО<sub>1</sub> и достигает его позже возможного прихода преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub>.

Ввиду неопределенности в приходе преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub> возникает необходимость выдвигания охранника к ЗО, а после получения информации о срабатывании сигнализации – направления его из текущего положения к ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub>.

При приходе преступника в ЗО<sub>2</sub> охранник получает команду двигаться из текущего местоположения к ЗО<sub>2</sub>.

В этом случае суммарное время достижения охранником ЗО<sub>2</sub> равно

$$t_{3O_2}^{exp.4} = \frac{y_2 + n_2}{v}.$$

$$n_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 - 2x_2y_2 \cos \varphi_{max}},$$

$\varphi_{max}$  – угол между сторонами  $x_1x_2$  треугольника  $x_1x_2c$ .

Учитывая это, разницу времени прихода в ЗО<sub>2</sub> преступника и охранника можно записать в следующем виде:

$$\Delta t_{3O_2}^4 = \frac{n_2}{v}.$$

*Рассмотрим 5-й вариант.* В этом случае охранник по команде с поста охраны движется в направлении ЗО<sub>1</sub> и достигает его позже возможного прихода преступника в ЗО<sub>2</sub>.

Ввиду неопределенности в приходе преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub> возникает необходимость выдвигения охранника к ЗО, а после получения информации о срабатывании сигнализации – направления его из текущего положения к ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub>.

При приходе преступника в ЗО<sub>2</sub> охранник получает команду двигаться из текущего местоположения к ЗО<sub>2</sub>.

В этом случае суммарное время достижения охранником ЗО<sub>2</sub> равно

$$t_{3O_2}^{exp.5} = \frac{y_2 + n_3}{v}.$$

$$n_3 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 - 2x_2y_2 \cos \varphi_{max}},$$

$\varphi_{max}$  – угол между сторонами  $x_1x_2$  треугольника  $x_1x_2c$ .

Учитывая это, разницу времени прихода в ЗО<sub>2</sub> преступника и охранника можно записать в следующем виде:

$$\Delta t_{3O_2}^5 = \frac{n_3}{v}.$$

*Рассмотрим 6-й вариант.* В этом случае охранник по команде с поста охраны движется в направлении ЗО<sub>1</sub> и достигает его раньше возможного прихода преступника в ЗО<sub>2</sub>. Ввиду неопределенности в приходе преступника в ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub> возникает альтернатива ожидания преступника в ЗО<sub>1</sub> либо движения к ЗО<sub>2</sub>.

Охранник получает команду двигаться из текущего местоположения к ЗО<sub>2</sub> при отсутствии прихода преступника в ЗО<sub>1</sub> через время

$$t_{3O_1}^{прест.} = \frac{y_1}{v}.$$

В этом случае суммарное время достижения охранником ЗО<sub>2</sub> равно

$$t_{3O_2}^{exp.6} = \frac{x_1 - y_1 + n_4}{v}.$$

$$n_4 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 - 2x_2y_2 \cos \varphi_{max}},$$

$\varphi_{max}$  – угол между сторонами  $x_1x_2$  треугольника  $x_1x_2c$ .

Учитывая это, разницу времени прихода в ЗО<sub>2</sub> преступника и охранника можно записать в следующем виде:

$$\Delta t_{3O_2}^6 = \left| \frac{y_2}{v} - \left( \frac{x_1 - y_1 + n_4}{v} \right) \right|.$$

Рассмотренные выше варианты объединим в две базовые схемы движения охранника, которые могут быть положены в основу выбора траектории его движения, отвечающей критерию оптимальности.

В дальнейшем будем рассматривать базовые схемы при начальном направлении охранника  $O \rightarrow ZO_1$ , а преступника  $P \rightarrow ZO_2$  в условиях неопределенности  $P \rightarrow ZO_1$  или  $P \rightarrow ZO_2$ .

Случай начального движения охранника  $O \rightarrow ZO_2$ , а преступника  $P \rightarrow ZO_1$  аналогичен предыдущему.

*Базовая схема 1* соответствует ранее рассмотренным вариантам 1 и 2 и включает операции (шаги):

- охранник по команде с поста охраны движется в направлении  $ZO_1$  и достигает его раньше возможного прихода преступника в  $ZO_1$  или  $ZO_2$ ;
- охранник ожидает в  $ZO_1$  команды на дальнейшие действия;
- охранник по получении команды движется в направлении  $ZO_2$  на задержание преступника.

*Базовая схема 2* соответствует ранее рассмотренным вариантам 3–6 и включает операции (шаги):

- охранник по команде с поста охраны движется в направлении  $ZO_1$ ;
- охранник в процессе движения получает команду на изменение направления с  $ZO_1$  на  $ZO_2$ .

Базовые схемы содержат два прямолинейных участка, длительность которых зависит от информации, получаемой с датчиков охранной сигнализации, контролирующей периметры территории организации и объектов.

Анализ базовых схем движения охранника при использовании начальной стратегии  $O \rightarrow ZO_1$  ( $O \rightarrow ZO_2$ ) в условиях неопределенности стратегии преступника  $P \rightarrow ZO_1$  или  $P \rightarrow ZO_2$  позволяет заключить, что в этом случае обеспечивается критерий оптимальности (а), но не выполняется условие (б).

Учитывая, что разница начальных направлений движения охранника в стратегии  $O \rightarrow ZO_1$  отлична от стратегии  $O \rightarrow ZO_2$  углом  $\varphi_{\max}$  между ними, независимо от стратегии преступника примем угол  $\varphi$  ( $0, \varphi_{\max}$ ) в качестве переменного параметра при выборе начального направления движения охранника при поиске оптимальной траектории (критерий оптимальности (б)).

В этом случае критерий оптимальности (а) будет обеспечиваться за счет использования базовых схем движения охранника.

С учетом вышеперечисленного рассмотрим математическую модель оптимизации траектории поиска преступника в условиях неопределенности.

Введем отрезки:  $z_0, z_1$  и  $z_2$  – расстояния, являющиеся составной частью пути сотрудника охраны до защищаемых объектов, углы  $\varphi, \alpha, \gamma$ ;  $c_1$  и  $c_2$  являются частью «с». Данные обозначения продемонстрированы на рис. 3.

Условие оптимальности траектории движения охранника можно записать в виде:

- минимальное время поиска для любого из двух объектов

$$t_{ZO_1}^{exp.}(\varphi, c_x^1, \bar{T}), t_{ZO_2}^{exp.}(\varphi, c_x^2, \bar{T}) \rightarrow \min; \quad (2)$$

- минимальная разница времени поиска между двумя объектами

$$\Delta t_{ZO_1, ZO_2}^{exp.}(\varphi, c_x, \bar{T}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\Delta t_{ZO_1, ZO_2}^{exp.} = \left| t_{ZO_1}^{exp.}(\varphi, c_x^1, \bar{T}) - t_{ZO_1}^{exp.}(\varphi, c_x^2, \bar{T}) \right|, \quad (4)$$

где  $\varphi$  – угол между начальным направлением движения охранника и направлением  $O \rightarrow ZO_1$ ;

$c_x$  – базовая схема управления движением охранника для обоих объектов;

$c_x^1$  – базовая схема управления движением охранника для  $ZO_1$ ;

$c_x^2$  – базовая схема управления движением охранника для  $ZO_2$ ;

$\vec{T}$  – вектор, содержащий информацию о взаимном положении преступника, охранника и объектов  $x_1, x_2, y_1, y_2$  и  $c$  на момент начала движения.

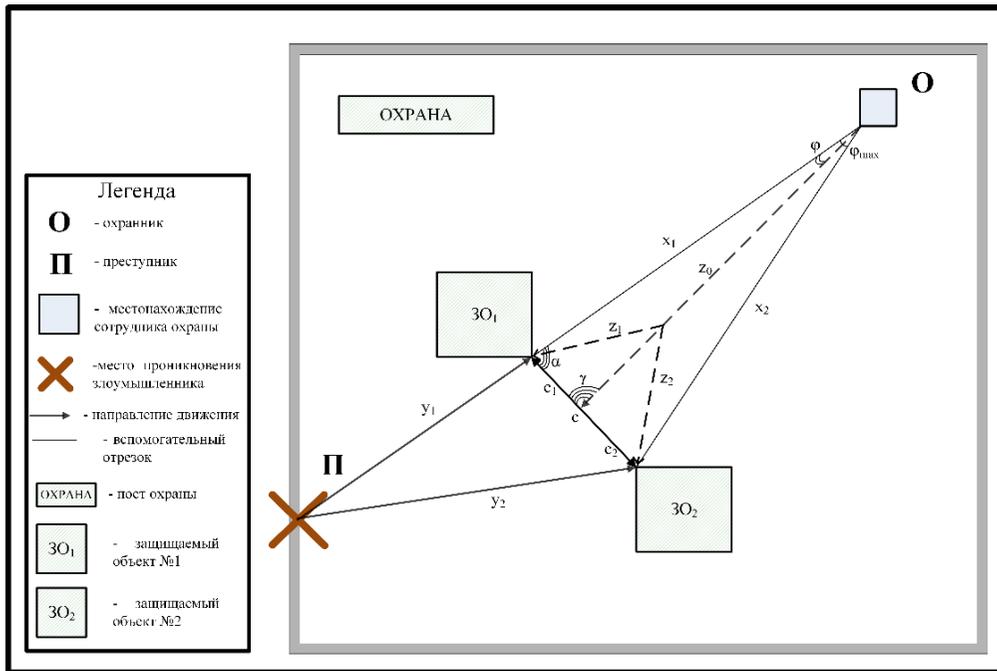


Рис. 3. Схема движения охранника при поиске преступника по информации, поступающей с извещателей охранной сигнализации

Как видно из предыдущих выражений (2–4), мы имеем три оптимизирующих функционала и три управляемых параметра  $\varphi$ ,  $c_x^1$  и  $c_x^2$ , причем базовые схемы управления движением охранника для  $ZO_1$  и  $ZO_2$  являются функциями времени движения охранника и времени прихода преступника на объект

$$c_x^1(t^{opr}, t_{ZO_1}^{прест.}), c_x^2(t^{opr}, t_{ZO_2}^{прест.}).$$

Из анализа вариантов движения охранника можем заключить, что выбранные базовые схемы в условиях неопределенности движения преступника к одной из двух целей для фиксированного значения угла  $\varphi$  позволяют обеспечить условие «а» (2).

Рассмотрим условие выполнения «b» (3, 4).

Учитывая, что выражение (3) определяется абсолютной величиной, а также может иметь один минимум по значению  $\varphi$  (рис. 3) при использовании базовых схем движения, примем

$$\Delta L_{3O_1,3O_2}^{exp.}(\varphi, c_x, \bar{T}) = 0.$$

Исходя из принятого допущения, что движение охранника и преступника является равномерным и равным друг другу по скорости, заменим в выражении (4) время движения на расстояния:

$$\Delta L_{3O_1,3O_2}^{exp.}, \Delta L_{3O_1}^{exp.}, \Delta L_{3O_2}^{exp.}$$

Таким образом, выражение (4) запишем в виде

$$\Delta L_{3O_1,3O_2}^{exp.} = \left| \Delta L_{3O_1}^{exp.}(\varphi, c_x^1, \bar{T}) - \Delta L_{3O_2}^{exp.}(\varphi, c_x^2, \bar{T}) \right|.$$

Из рис. 3 можно заметить

$$\Delta L_{3O_1}^{exp.}(\varphi, c_x^1, \bar{T}) = z_0 + z_1,$$

$$\Delta L_{3O_2}^{exp.}(\varphi, c_x^2, \bar{T}) = z_0 + z_2.$$

Отсюда

$$\Delta L_{3O_1,3O_2}^{exp.} = |z_1 - z_2|, \quad (5)$$

где

$$z_1 = \sqrt{x_1^2 + z_0^2 - 2x_1z_0\cos\varphi}, \quad (6)$$

$$z_2 = \sqrt{x_2^2 + z_0^2 - 2x_2z_0\cos\varphi_{\max} - \varphi}, \quad (7)$$

$$\varphi_{\max} = \arccos\left(\frac{x_1^2 + x_2^2 - c^2}{2x_1x_2}\right), \quad (8)$$

$\varphi_{\max}$  – угол между начальными направлениями движения охранника  $O \rightarrow 3O_1$  и  $O \rightarrow 3O_2$ .

Рассмотрим выражение (5) для базовых схем 1 и 2.

Для фиксированного значения  $\varphi$  определяется величина расстояния  $z_H$  вдоль начального направления движения из точки  $O$  до точки пересечения с отрезком расстояния между объектами «с».

Для треугольников  $x_1z_Hc_1$  и  $x_1x_2c$  по теореме синусов можно заменить

$$z_H = \frac{x_1}{\sin\gamma} \sin\alpha, \quad (9)$$

$$\sin\alpha = \frac{x_2}{c} \sin\varphi_{\max}, \quad (10)$$

$$\gamma = 180 - \varphi - \arcsin\left(\frac{x_2}{c} \sin\varphi_{\max}\right). \quad (11)$$

Заменяя в условиях ранее рассмотренных вариантов  $x_1$  на  $z_n$ , определяем для этого условия базовые схемы движения охранника. Условием выбора базовой схемы движения охранника является наличие  $z_n > y_1$  или  $y_1 > z_n$ .

Для базовой схемы 2 можно принять  $z_0 = y_1$  или  $z_0 = y_2$ . В дальнейшем при построении модели будем использовать  $z_0 = y_1$ .

При использовании  $z_0 = y_2$  зависимости будут аналогичными.

Таким образом, заменяя  $z_0 = y_1$  в выражениях (6) и (7), получим следующие выражения:

$$z_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 - 2x_1y_1\cos\varphi},$$

$$z_2 = \sqrt{x_2^2 + y_1^2 - 2x_2y_1\cos(\varphi_{\max} - \varphi)}.$$

С учетом этого условие (5) можно представить уравнением

$$\Delta L_{3O_1,3O_2}^{exp.} = \frac{x_1^2 - x_2^2}{2y_1} + x_2 \cos(\varphi_{\max} - \varphi) - x_1 \cos\varphi = 0. \quad (12)$$

Таким образом, для базовой схемы 2  $\varphi$  определяется с помощью уравнения (12),  $z_n$  – выражения (12), в качестве  $z_0$  принимаем  $y_1$  при  $y_1 < y_2$ , или  $y_2$  при  $y_2 < y_1$ ;  $z_1$  и  $z_2$  на основе выражений (6) и (7).

Уравнение решается численным путем.

На основании решения уравнения мы получаем время движения охранника для 2 базовой схемы до ЗО:

$$t_{exp.3O}^2 = \frac{z_0 + z_1}{v}. \quad (13)$$

Для базовой схемы 1 с учетом (5)

$$z_1 = z_2 = \frac{c}{2}. \quad (14)$$

$z_n$  с учетом (14) будет определяться как

$$z_n = \frac{c}{2\sin\varphi} \sin\alpha. \quad (15)$$

$$\sin\alpha = \frac{x_2}{c} \sin\varphi_{\max}.$$

Таким образом, для базовой схемы 1  $\varphi$  определяется с помощью уравнения (12),  $z_n$  – выражения (15), в качестве  $z_0$  принимаем  $z_n$ ,  $z_1$  и  $z_2$  на основе выражения (14).

Общее время движения охранника для базовой схемы 1 до ЗО:

$$t_{exp.3O}^1 = \frac{2z_n + c}{2v}. \quad (16)$$

Для координации действий охранника, а также интерпретации координат места срабатывания охранной сигнализации периметра, местонахождения охранника и ЗО введем систему координат (рис. 4).

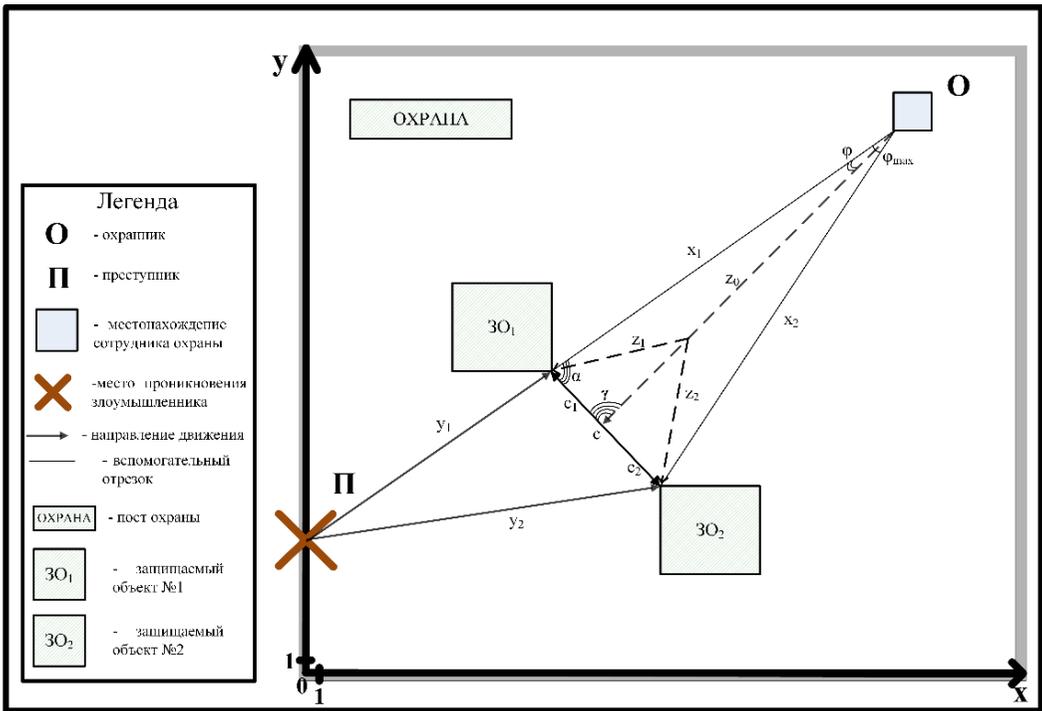


Рис. 4. Взаимное расположение преступника, охранника и ЗО в системе координат Oxy

На рис. 5 представлена функциональная схема системы управления движениями охранника, включающая пункт охраны (пункт управления), датчики обнаружения преступника, расположенные на периметре территории и объектах предприятия, охранника. На схеме отражены информационные потоки между элементами системы и алгоритм расчета параметров управления движениями охранника. Функциональная схема показывает временную связь между работами подсистем.

Описание алгоритма.

1.1–1.2 – обработка полученного сигнала на посту охраны о срабатывании периметрального извещателя и определение координат места проникновения на охраняемую территорию ( $x_{\text{прест.}}$ ,  $y_{\text{прест.}}$ ) и времени срабатывания охранной сигнализации  $t_{\text{срабат.}}$ .

2.1–2.2 – прием сигнала с передающего устройства сотрудника охраны о его местоположении и его обработка для определения координат охранника ( $x_{\text{опр.}}$ ,  $y_{\text{опр.}}$ ).

3 – обработка информации, полученной на посту охраны, с целью определения  $\varphi_{\text{max}}$  (8),  $\sin \alpha$  (10),  $y_1$  (17),  $y_2$  (18),  $x_1$  (19),  $x_2$  (20), а также минимального времени, через которое преступник должен прийти до ЗО<sub>1</sub> или ЗО<sub>2</sub> (22), в зависимости от значений  $y_1$  и  $y_2$ :

$$y_1 = \sqrt{(x_{\text{ЗО}_1} - x_{\text{прест.}})^2 + (y_{\text{ЗО}_1} - y_{\text{прест.}})^2}, \quad (17)$$

$$y_2 = \sqrt{(x_{\text{ЗО}_2} - x_{\text{прест.}})^2 + (y_{\text{ЗО}_2} - y_{\text{прест.}})^2}, \quad (18)$$

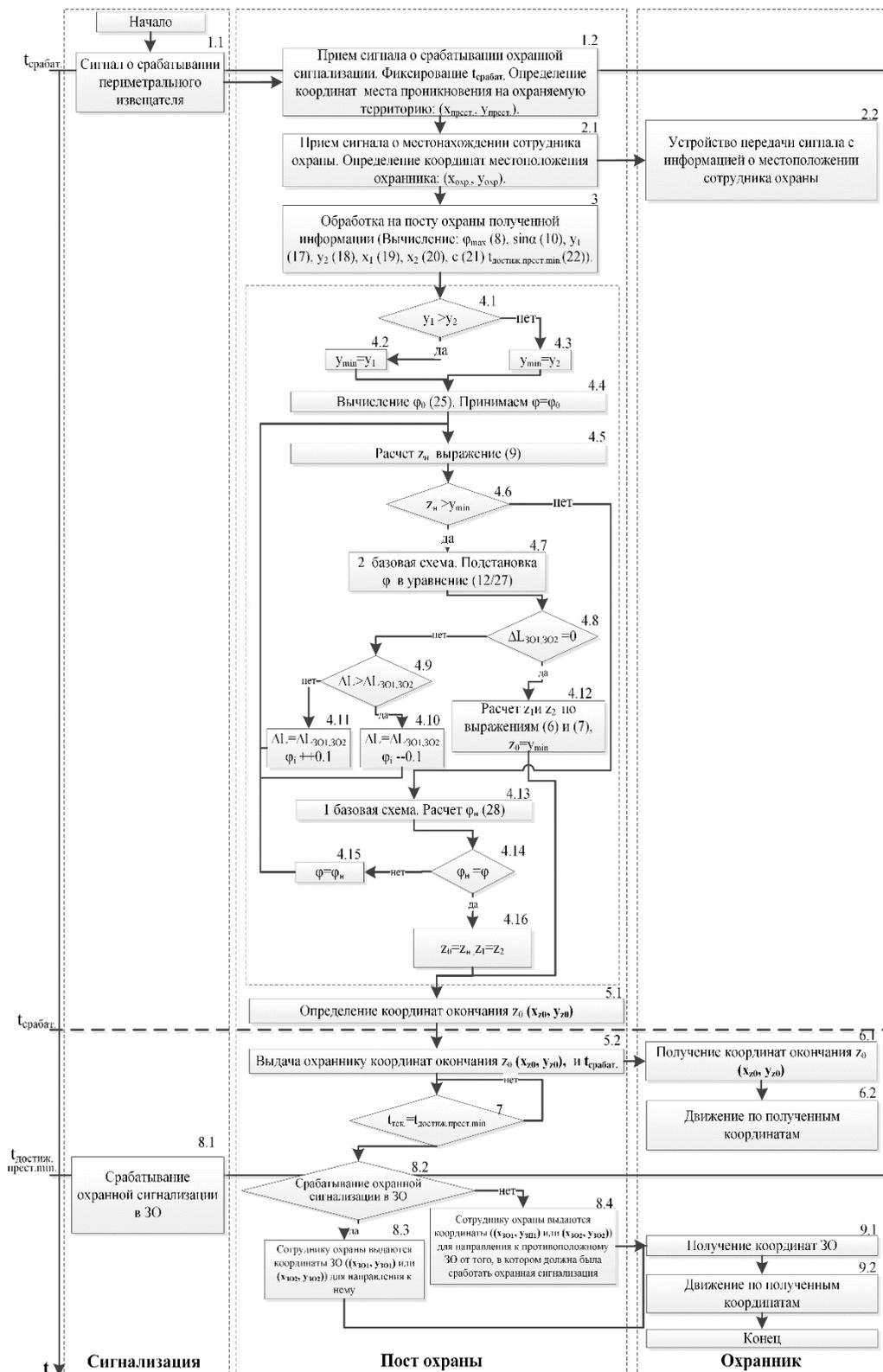


Рис. 5. Функциональная схема работы системы с алгоритмом расчета параметров движения охранника на посту охраны

$$x_1 = \sqrt{(x_{3O_1} - x_{оxp.})^2 + (y_{3O_1} - y_{оxp.})^2}, \quad (19)$$

$$x_2 = \sqrt{(x_{3O_2} - x_{оxp.})^2 + (y_{3O_2} - y_{оxp.})^2}, \quad (20)$$

$$c = \sqrt{(x_{3O_2} - x_{3O_1})^2 + (y_{3O_2} - y_{3O_1})^2}, \quad (21)$$

$$t_{\text{достиж. прест. } 3O_1} = t_{\text{срабат.}} + t_{\text{прест. } 3O_1},$$

где

$$t_{\text{прест. } 3O_1} = \frac{y_1}{v}.$$

$$t_{\text{достиж. прест. } 3O_2} = t_{\text{срабат.}} + t_{\text{прест. } 3O_1},$$

где

$$t_{\text{прест. } 3O_2} = \frac{y_2}{v}.$$

$$t_{\text{достиж. прест. min}} = \begin{cases} t_{\text{достиж. прест. } 3O_1}, & \text{если } t_{\text{достиж. прест. } 3O_1} < t_{\text{достиж. прест. } 3O_2}, \\ t_{\text{достиж. прест. } 3O_2}, & \text{если } t_{\text{достиж. прест. } 3O_2} < t_{\text{достиж. прест. } 3O_1}. \end{cases} \quad (22)$$

4.1–4.12 – определение оптимального угла движения сотрудника охраны на первом прямолинейном участке, а также вычисление  $z_n$  и выбор базовой схемы движения охранника.

4.1–4.3 – определение  $y_{\min}$  для последующего сравнения с  $z_n$  для выбора базовой схемы.

4.4 – расчет начального угла выдвигения ( $\varphi = \varphi_0$ ).

В связи с тем, что одним из основных параметров при движении преступника к защищаемым объектам является удаленность от места проникновения до ЗО, возможно использование пропорциональности длин  $c_1$ ,  $c_2$  и  $y_1$ ,  $y_2$  для определения значения начального угла выдвигения сотрудника охраны. Рассмотрим более подробно применение пропорциональности.

Допустим, что

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{y_1}{y_2}. \quad (23)$$

Поскольку  $c_1 + c_2 = c$ , выразим  $c_1$  из выражения

$$c_1 = \frac{y_1 c}{y_2 + y_1}. \quad (24)$$

Выразим  $z_n$  из треугольника  $x_1 c_1 z_0$ :

$$z_n = \sqrt{x_1^2 + c_1^2 - 2x_1 c_1 \cos \alpha}, \quad (25)$$

$$\cos \alpha = \frac{x_1^2 + c^2 - x_2^2}{2x_1c}.$$

Модель движения охранника следующая:

1. В случаях, когда  $z_n < y_1$  и  $z_n < y_2$ :  $z_1 = c_1, z_2 = c_2, z_0 = z_n$ .

Время движения охранника до ЗО

$$t_{\text{exp. ЗО}_1} = \frac{z_n + c_1 + (z_n - y_1)}{v},$$

$$t_{\text{exp. ЗО}_2} = \frac{z_n + c_2 + (z_n - y_2)}{v}.$$

2. В случаях, когда  $z_n > y_1$  или  $z_n > y_2$ ,  $z_n$  находится по выражению (25), время достижения охранником ЗО и, соответственно, длина второго прямолинейного участка определяются следующим образом:

$$t_{\text{exp. ЗО}_1} = \frac{z_0 + z_1}{v},$$

$$z_1 = \sqrt{x_1^2 + (z_n - y_1)^2 - 2x_1(z_n - y_1)\cos\varphi},$$

$$t_{\text{exp. ЗО}_2} = \frac{z_0 + z_2}{v},$$

$$z_2 = \sqrt{x_2^2 + (z_n - y_2)^2 - 2x_2(z_n - y_2)\cos(\varphi_{\max} - \varphi)}.$$

При этом информация о срабатывании сигнализации в ЗО будет получена, когда сотрудник охраны будет двигаться по  $z_0$ , т. е.  $z_0 = y_1 - z_n$  либо  $z_0 = y_2 - z_n$ , в зависимости от  $y_1 > y_2$  или  $y_2 > y_1$ .

Условие (23) в рассмотренных выше случаях позволяет сократить время движения охранника до обоих ЗО, вторые прямолинейные отрезки его движения пропорциональны расстояниям, которые необходимо будет пройти преступнику от места проникновения на охраняемую территорию до ЗО.

Таким образом, в качестве начального значения угла  $\varphi_0$  (26) принимается угол между  $z_0$  и  $x_1$ , так что окончание  $z_n$  лежит на «с» между  $c_1, c_2$ , длины которых определяются согласно (23):

$$\varphi_0 = \arcsin\left(\frac{c_1 \sin \alpha}{z_n}\right), \quad (26)$$

где  $c_1$  определяется по выражению (24),  $\sin \alpha$  по (8), а  $z_n$  по (25).

4.5 – расчет  $z_n$  по выражению (9).

4.6 – сравнение  $z_n$  с  $y_{\min}$  для выбора либо первой базовой схемы (п. 4.8), если  $z_n > y_{\min}$ , либо второй (п. 4.7), когда  $z_n < y_{\min}$ .

4.7–4.11 – перебор значений  $\varphi$  с шагом 0.1 и проверка выполнения уравнения (12) в случае, когда  $y_1 < y_2$ , и (27), когда  $y_1 > y_2$ , с расчетом для каждого  $\varphi_i$   $z_n$ , для проверки п. 4.6, и при необходимости уход на другую базовую схему.

$$\Delta L_{\text{ЗО}_1, \text{ЗО}_2}^{\text{exp.}} = \frac{x_1^2 - x_2^2}{2y_2} + x_2 \cos(\varphi_{\max} - \varphi) - x_1 \cos \varphi = 0. \quad (27)$$

4.12 – в том случае, когда выполняются уравнения (12/27), п. 4.8. алгоритма, цикл завершается и по второй базовой схеме определяется  $z_0, z_1, z_2$ : в качестве  $z_0$  принимаем  $y_1$  ( $y_1 < y_2$ ) или  $y_2$  ( $y_1 > y_2$ ),  $z_1$  и  $z_2$  рассчитаем на основе выражений (6) и (7), заменяя  $z_0 = y_1$  ( $y_1 < y_2$ ) или  $z_0 = y_2$  ( $y_1 > y_2$ ).

4.13–4.15 – проверка вычисленного  $\varphi$  путем расчета  $\varphi_n$  (28) и его сравнение с  $\varphi$ . В случае неравенства происходит повторный расчет  $z_n$  с  $\varphi = \varphi_n$ . Цикл повторяется до тех пор, пока не будет выполняться условие 4.14 алгоритма.

$$\varphi_n = \arcsin\left(\frac{c \sin \alpha}{2z_n}\right). \quad (28)$$

4.16 – при выполнении условия 4.14 алгоритма цикл завершается и по первой базовой схеме определяется  $z_0, z_1, z_2$ : в качестве  $z_0$  принимаем  $z_n$ ,  $z_1$  и  $z_2$  определяем на основе выражения (14).

5.1 – определение координат окончания  $z_0$  ( $x_{z_0}, y_{z_0}$ ) происходит на основе  $\varphi$  и  $z_0$  при помощи системы координат, представленной на рис. 4.

5.2 – передача координат окончания  $z_0$  ( $x_{z_0}, y_{z_0}$ ) и  $t_{\text{срабат. охранника}}$  охраннику.

6.1–6.2 – движение сотрудника охраны на основе полученных координат.

7 – проверка наступления  $t_{\text{достиг. прест. min}}$ .

После наступления  $t_{\text{достиг. прест. min}}$  возможны два варианта действия поста охраны:

1. 8.1–8.3 – получение сигнала о срабатывании охранной сигнализации на посту охраны в ЗО и дальнейшая передача охраннику команды на движение к защищаемому объекту ( $(x_{z_{01}}, y_{z_{01}})$  или  $(x_{z_{02}}, y_{z_{02}})$ ), в котором произошло срабатывание охранной сигнализации.

2. 8.1–8.2, 8.4 – отсутствие сигнала о срабатывании охранной сигнализации на посту охраны в ЗО и дальнейшая передача охраннику команды на движение к противоположному защищаемому объекту ( $(x_{z_{01}}, y_{z_{01}})$  или  $(x_{z_{02}}, y_{z_{02}})$ ) от того, в котором должно было произойти срабатывание охранной сигнализации.

9.1–9.2 – движение сотрудника охраны на основе полученных координат.

Проведем оценку работоспособности и эффективности алгоритма, обеспечивающего работу системы управления движениями сотрудника охраны.

Оценку проведем для следующих исходных данных:

– территория организации, изображенная на рис. 6, представляет собой квадрат площадью  $1 \text{ км}^2$ ;

– положение объектов на территории примем в координатах  $x$  и  $y$ , соответственно  $ЗО_1$  (280, 520),  $ЗО_2$  (720, 240);

– положение сотрудника охраны «О» (640, 800);

– скорость охранника и преступника составляет  $1,7 \text{ м/с}$ .

Вариантами в оценке являются координаты точек нарушения периметра преступником: I «П<sub>1</sub>» (0, 300), II «П<sub>2</sub>» (440, 0), III «П<sub>3</sub>» (80, 1000). Каждый вариант имеет подварианты: а – П → ЗО<sub>1</sub>, б – П → ЗО<sub>2</sub>.

В таблице представлены результаты работы системы управления для вышеперечисленных вариантов.

В первом столбце таблицы рассчитываются  $\varphi_{\text{max}}$ ,  $\sin \alpha$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  (3-й блок алгоритма). В скобках указаны формулы расчета величин, приведенные выше в работе.

Во втором столбце таблицы определяется базовая схема, рассчитываются параметры:  $\varphi$ ,  $z_0$ ,  $z_1$  и  $z_2$  (4.1–4.16 блоки алгоритма).

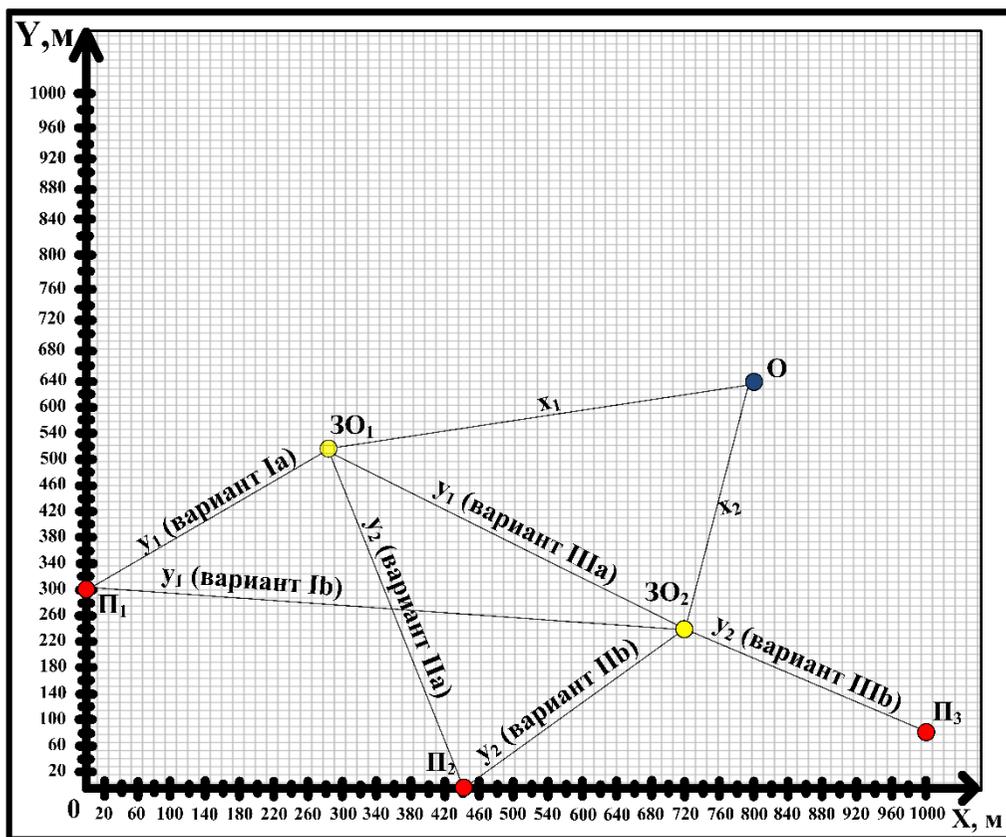


Рис. 6. Возможные варианты движения преступника к цели

В третьем столбце таблицы представлена информация расчета координат окончания  $z_0$ , которые выдаются охраннику (5.1–5.2, 6.1–6.2 блоки алгоритма).

В четвертом столбце таблицы представлена информация по расчету координат завершения движения сотрудника охраны после принятия решения на посту охраны, которые далее выдаются охраннику (7, 8.1–8.4, 9.1–9.2 блоки алгоритма).

### Результаты работы системы управления

Вариант	Расчетные параметры алгоритма по блокам			
	1	2	3	4
I (a)	$\varphi_{\max} = 60.24^\circ$ (8), $\sin \alpha = 0.94$ (10), $y_1 = 488$ м (17), $y_2 = 729$ м (18) $x_1 = 456$ м (19), $x_2 = 565$ м (20), $c = 521$ м (21)	1-я базовая схема, $\varphi = \varphi_n = 33.69^\circ$ (27) $z_0 = z_n = 442.12$ м (9), $z_1 = z_2 = 260.5$ м (14)	(500,380)	Коорд. $3O_1$ (280,520)
I (b)				Коорд. $3O_2$ (720,240)
II (a)	$\varphi_{\max} = 60.24^\circ$ (8), $\sin \alpha = 0.94$ (10),	2-я базовая схема, $\varphi = 36.53^\circ$ , $\Delta L = 0.07$ (27)	(537,446)	Коорд. $3O_1$ (280,520)

Вариант	Расчетные параметры алгоритма по блокам			
	1	2	3	4
II (b)	$y_1=544$ м (17), $y_2=369$ м (18) $x_1=456$ м (19), $x_2=565$ м (20), $c=521$ м (21)	$z_0=y_{\min}=369$ м, $z_1=z_2=271.4$ м (6,7)		Коорд. ЗО <sub>2</sub> (720,240)
III (a)	$\varphi_{\max}=60.24^\circ$ (8), $\sin\alpha=0.94$ (10), $y_1=773$ м (17), $y_2=322$ м (18)	2-я базовая схема, $\varphi=39,07^\circ$ , $\Delta L=0.01$ (27), $z_0=y_{\min}=322$ м, $z_1=z_2=289.1$ м (6,7)	(563,488)	Коорд. ЗО <sub>1</sub> (280,520)
III (b)	$x_1=456$ м (19), $x_2=565$ м (20), $c=521$ м (21)			Коорд. ЗО <sub>2</sub> (720,240)

Ниже приведем оценку эффективности, включающую в себя:

- расчет разницы времени между приходами сотрудника охраны и преступника к ЗО по предложенному алгоритму системы управления;
- расчет разницы времени между приходами сотрудника охраны и преступника, когда первоначально сотрудник охраны и преступник направляются к разным ЗО (О→ЗО<sub>2</sub> и П→ЗО<sub>1</sub> или О→ЗО<sub>1</sub> и П→ЗО<sub>2</sub>), а далее охранник меняет траекторию движения на основе дополнительной информации (о срабатывании (отсутствии срабатывания) охранного извещателя в ЗО) (варианты алгоритмов управления движением охранника рассмотрены выше);
- сравнение результатов.

Для 1-го варианта:

а) на основе результатов работы системы управления:

$$\Delta t_{3O_1}^1 = \left| \frac{488 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{442.12 \text{ м} + 260.5 \text{ м} + (488 \text{ м} - 442.12 \text{ м})}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 153.2 \text{ с},$$

$$\Delta t_{3O_2}^1 = \left| \frac{729 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{442.12 \text{ м} + 260.5 \text{ м} + (488 \text{ м} - 442.12 \text{ м})}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 11.9 \text{ с};$$

б) в случае, если первоначально О→ЗО<sub>2</sub> и П→ЗО<sub>1</sub>:

$$\Delta t_{3O_1}^{1'} = \left| \frac{488 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{488 \text{ м} + 474 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 278.8 \text{ с};$$

в случае, если первоначально О→ЗО<sub>1</sub> и П→ЗО<sub>2</sub>:

$$\Delta t_{3O_2}^{1'} = \left| \frac{729 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{456 \text{ м} + 521 \text{ м} + (488 \text{ м} - 456 \text{ м})}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 164.7 \text{ с};$$

в) эффективность использования (разница во времени между приходами сотрудника охраны и преступника к ЗО) разработанной системы для первого варианта:

$$\Delta t_{3O_1}^{1'-1} = 125.6 \text{ с},$$

$$\Delta t_{3O_2}^{1'-1} = 152.8.$$

Для 2-го варианта:

а) на основе результатов работы системы управления:

$$\Delta t_{3O_1}^2 = \left| \frac{544 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{369 \text{ м} + 271,4 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 56.7 \text{ с},$$

$$\Delta t_{3O_2}^2 = \left| \frac{369 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{369 \text{ м} + 271,4 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 159.6 \text{ с};$$

б) в случае, если первоначально  $O \rightarrow 3O_2$  и  $\Pi \rightarrow 3O_1$ :

$$\Delta t_{3O_1}^{2'} = \left| \frac{544 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{544 \text{ м} + 507 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 298.2 \text{ с};$$

в случае  $O \rightarrow 3O_1$  и  $\Pi \rightarrow 3O_2$ :

$$\Delta t_{3O_2}^{2'} = \left| \frac{369 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{369 \text{ м} + 498 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 292.9 \text{ с};$$

в) эффективность использования (разница во времени между приходами сотрудника охраны и преступника к 3O) разработанной системы для второго варианта:

$$\Delta t_{3O_1}^{2'-2} = 241.5 \text{ с},$$

$$\Delta t_{3O_2}^{2'-2} = 133.3 \text{ с}.$$

Для 3-го варианта:

а) на основе результатов работы системы управления:

$$\Delta t_{3O_1}^3 = \frac{773 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{322 \text{ м} + 289,1 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) = 95.3 \text{ с},$$

где сотрудник охраны придет раньше преступника к 3O<sub>1</sub>;

$$\Delta t_{3O_2}^3 = \left| \frac{322 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{322 \text{ м} + 289,1 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 170.1 \text{ с};$$

б) в случае, если первоначально  $O \rightarrow 3O_2$  и  $\Pi \rightarrow 3O_1$ :

$$\Delta t_{3O_1}^{3'} = \left| \frac{773 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{332 \text{ м} + 407 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 20 \text{ с},$$

где сотрудник охраны придет раньше преступника к 3O<sub>1</sub>;

в случае, если первоначально  $O \rightarrow 3O_1$  и  $\Pi \rightarrow 3O_2$ :

$$\Delta t_{3O_2}^{2'} = \left| \frac{322 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} - \left( \frac{322 \text{ м} + 492 \text{ м}}{1.7 \text{ м/с}} \right) \right| = 289.4 \text{ с};$$

в) эффективность использования (разница во времени между приходами сотрудника охраны и преступника к ЗО) разработанной системы для третьего варианта:

$$\Delta t_{3O_1}^{3-3'} = 75.3 \text{ с},$$

$$\Delta t_{3O_2}^{3'-3} = 119.3 \text{ с}.$$

Таким образом, можно сделать вывод: разработанный алгоритм значительно уменьшает разницу времени между приходами сотрудника охраны и преступника к ЗО по сравнению с другими схемами движения охранника в условиях неопределенности знания цели нарушителя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кравченко А.С., Сумин В.И.* Алгоритм информационного процесса расчета кратчайшего пути проникновения через систему охраны объекта // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – № 7(8). – С. 177–179.
2. *Тельный А.В., Черников Р.С.* Алгоритм обработки тревожных извещений объектовых средств охранной сигнализации для снижения уровня ложных срабатываний // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 4. – С. 140–162.
3. *Жуков А.В.* Разработка алгоритма разбиения территории охраняемого объекта и площади зданий в зависимости от расположения элементов системы физической защиты // Наука и образование сегодня. – 2016. – № 9(10). – С. 13–25.
4. *Боровский А.С., Тарасов А.Д.* Приближенная оценка защищенности потенциально опасных объектов. Структурные параметры защищенности объектов // Программный продукт и системы. – 2013. – № 3. – С. 235–243.
5. *Вергейчик А.В., Кушир В.П.* Моделирование систем физической защиты // Доклады ТУ-СУР. – 2008. – Т. 1, № 2(18). – С. 7–8.
6. *Меньших В.В., Калков Д.Ю.* Оценка своевременности прибытия группы задержания на охраняемый объект по сигналу тревоги // Вестник Воронежского института МВД России. – 2014. – №3. – С. 66–72.
7. *Зенов А.Ю., Мясникова Н.В.* Применение нейросетевых алгоритмов в системах охраны периметра // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 3 (23). – С. 15–24.
8. *Цимбал В.А., Андреев А.С., Ефремов А.С.* Модель многоканальной системы охранной сигнализации на основе несетевых технологий // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2018 (2). – С. 73–79.
9. *Царькова Е.Г.* Применение методов искусственного интеллекта для повышения эффективности охранных систем УИС // Актуальные вопросы информатизации Федеральной службы исполнения наказаний на современном этапе развития уголовно-исполнительной системы: сборник круглого стола. – Тверь: ФКУ НИИИТ ФСИН России, 2020. – С. 120–130.
10. *Воеводин С.В., Духан А.Е., Духан Е.И., Звежинский С.С.* Применение нейронных сетей при обработке информации в сигнализационных средствах обнаружения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9, № 9. – С. 11–15.
11. *Цвырко С.О.* Технология распознавания маршрутов злоумышленников при помощи искусственного интеллекта на базе нейросетей // Перспективы, организационные формы и эффективность развития сотрудничества российских и зарубежных вузов: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 527–534.
12. *Звежинский С.С., Духан А.Е., Духан Е.И., Парфенцев И.В.* Интеллектуализация принятия решений в системах физической защиты объектов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 40–43.
13. *Меньших В.В., Калков Д.Ю.* Автоматная модель действий злоумышленника на охраняемом объекте // Вестник Воронежского института МВД России. – 2014. – № 2. – С. 196–200.

14. *Ворожейкин В.Н.* Задача обеспечения безопасности объектов на основе комплексного применения технических средств и подразделений физической охраны // Актуальные проблемы информационной безопасности. Теория и практика использования программно-аппаратных средств. Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2019. – С. 89–94.
15. *Звездинский С.С., Парфенцев И.В., Бережная М.Н.* Эффективность автоматизированного поиска наземных целей с помощью мобильного комплекса обнаружения // Радиотехника. – 2018. – № 2. – С. 46–48.
16. *Ракитов А.И., Бондяев Д.А., Романов И.Б., Егерев С.В., Щербачков А.Ю.* Системный анализ и аналитические исследования: руководство для профессиональных аналитиков. – М., 2009. – 448 с.

*Статья поступила в редакцию 6 марта 2021 г.*

## **A STRATEGY CHOOSING METHOD FOR SOLVING THE PROBLEM OF A GUARD MOVEMENT WHILE SEARCHING FOR A CRIMINAL UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY**

**V. Vorozheykin, A. Baranov**

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

**Abstract.** *The work is devoted to the issue of the complex use of technical means and physical security forces while ensuring the safety of several objects located in the controlled area. The method proposed is for solving the problem of choosing a strategy for searching for a criminal by a security officer while minimizing the time of knowing the direction of movement of the first one to one of the two objects. The proposed method is based on a criminal search strategy implemented by the security guard's movement control system, which includes two straight sections of their path, which are formed based on information from the security alarm sensors. A mathematical model has been developed for calculating the parameters of controlling the movements of a guard and an algorithm for the control system operation, which makes it possible to implement an optimal search strategy depending on the location of objects, a guard, a criminal, and information from technical means of protection.*

**Keywords:** *object, territory, criminal, security guard, strategy, technical means of protection, mathematical model, algorithm.*

### REFERENCES

1. *Kravchenko A.S., Sumin V.I.* Algorithm of informational process of calculation of the shortest way of penetration through projected system of protection // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. No. 7 (8). Pp. 177–179 (In Russian).
2. *Telny A.V., Chernikov R.S.* Processing alarm notifications algorithm of security system object equipment for reducing the false alarms level // *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2019. No. 4. Pp. 140–162 (In Russian).
3. *Zhukov A.V.* Development of an algorithm for dividing the territory of the protected object and the area of buildings depending on the location of the elements of the physical protection system // *Nauka i obrazovanie segodnya*. 2016. No. 9 (10). Pp. 13–25 (In Russian).

---

*Vladimir Vorozheykin, (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Alexander Baranov, Student.*

4. *Borovskiy A.S., Tarasov A.D.* Approximate valuation of potentially dangerous objects security. Object security structural parameters // *Programmnyj produkt i sistemy*. 2013. No. 3. Pp. 235–243 (In Russian).
5. *Vergeichik A.V., Kushnir V.P.* Modeling of system protection // *Doklady TUSUR*. 2008. Vol. 1. No. 2 (18). Pp. 7–8 (In Russian).
6. *Menshikh V.V., Kalkov D.Yu.* Evaluation timely arrival of the group of detention to a protected object alarm // *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*. 2014. No. 3. Pp. 66–72 (In Russian).
7. *Zenov A.Yu., Myasnikova N.V.* Application of neural network algorithms in the perimeter security system // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki*. 2012. No. 3(23). Pp. 15–24 (In Russian).
8. *Tsimbal V.A., Andreev A.S., Efremov A.S.* Model of a multichannel security alarm system based on information technologies // *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2018. No. 2. Pp. 73–79 (In Russian).
9. *Tsarkova E.G.* Application of artificial intelligence methods to improve the efficiency of security systems in the penal system // *Aktual'nye voprosy informatizacii Federal'noj sluzhby ispolneniya nakazanij na sovremennom etape razvitiya ugolovno-ispolnitel'noj sistemy: sbornik kruglogo stola*. Tver, 2020. Pp. 120–130 (In Russian).
10. *Voevodin S.V., Dukhan A.E., Dukhan E.I., Zvezhinsky S.S.* Application of neural networks in information processing in signaling detection tools // *T-Comm: Telekommunikacii i transport*. 2015. Vol. 9. No. 9. Pp. 11–15 (In Russian).
11. *Tsvyrko S.O.* Technology for recognizing the routes of attackers using artificial intelligence based on neural networks // *Perspektivy, organizacionnye formy i effektivnost' razvitiya sotrudnichestva rossijskih i zarubezhnyh vuzov. Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. 2018. Pp. 527–534 (In Russian).
12. *Zvezhinsky S.S., Dukhan A.E., Dukhan E.I., Parfentsev I.V.* Decision intellectualization in object physical protection systems // *T-Comm: Telekommunikacii i transport*. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 40–43 (In Russian).
13. *Menshikh V.V., Kalkov D.Yu.* Automaton model of the actions of intruders in the protected objects // *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*. 2014. No. 2. Pp. 196–200 (In Russian).
14. *Voroszhaykin V.N.* The task of ensuring the security of facilities based on the integrated use of technical means and physical security units // Actual problems of information security // *Teoriya i praktika ispol'zovaniya programmno-apparatnyh sredstv. Materialy XII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara, Samara State Technical University, 2019. Pp. 89–94 (In Russian).
15. *Zvezhinsky S.S., Parfentsev I.V., Berezhnaya M.N.* Efficiency of ground targets automated search by mobile detection complex // *Radiotekhnika*. 2018. No. 2. Pp. 46–48 (In Russian).
16. *Rakitov A.I., Bondyaev D.A., Romanov I.B., Egerev S.V., Shcherbakov A.Yu.* Sistemnyj analiz i analiticheskie issledovaniya: rukovodstvo dlya professional'nyh analitikov [Systems Analysis and Analytical Research: A Guide for Professional Analysts]. – M., 2009. – 448 pp. (In Russian).