

Методика расчёта рационального расстояния между робототехническими комплексами в изменяемых условиях обстановки для решения задач охраны критически важных объектов

Свиридов В.В. *

Филиал ВА РВСН им. Петра Великого
г. Серпухов, Российская Федерация
e-mail: vodiriv@list.ru

В статье рассматривается методика расчёта рационального расстояния между робототехническими комплексами на рубеже охраны. Предложенные в методике процедура, аналитическая модель и алгоритм решения научной задачи позволяют выделить моменты количественного изменения функциональных возможностей оптико-электронных средств разведки робототехнических комплексов при влиянии факторов внешней среды и нарушителя, которые в дальнейшем регламентируют переход к решению проблемы адаптивного группового управления робототехническими комплексами.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, рациональное расстояние, рубеж охраны, недетерминированная динамическая среда, нарушитель.

Для цитаты:

Свиридов В.В. Методика расчёта рационального расстояния между робототехническими комплексами в изменяемых условиях обстановки для решения задач охраны критически важных объектов // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 4. С. 33–48. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110403>

1. ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с типами критически важных объектов (КВО) [1] системы охраны подразделяются на: системы охраны стационарных КВО и системы охраны подвижных КВО.

Каждая из систем предназначена для защиты объекта от возможных диверсий, совершаемых как путём открытого нападения, так и скрытого проникновения на-

**Свиридов Виктор Викторович*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела. Филиал ВА РВСН им. Петра Великого, г. Серпухов, Российская Федерация, e-mail: vodiriv@list.ru



рушителей или преступных элементов в охраняемую зону на расстояния, с которых возможно поражение КВО, а также для предотвращения доступа посторонних лиц на территорию охраняемого объекта.

В настоящее время, в силу присущей подвижным объектам особенности, заключающейся в наличии на объектах личного состава, автоматизированная система охраны (АСО) выполнена в эргатическом варианте применения. При этом на человека как элемента системы охраны возложены функции распознавания нарушителей и выработки решения о применении средств поражения и управления ими. Технические средства, входящие в состав АСО, обеспечивают оператора информацией о состоянии обстановки на позиции.

Анализ задач, определяющих содержание охраны КВО, показывает, что эффективность их выполнения напрямую зависит от способности сил и средств охраны своевременно обнаружить нарушителя и обезвредить его на дальних подступах к охраняемым объектам. Качественно решить эту задачу возможно с внедрением в систему охраны технологий робототехники, которая в настоящее время является одним из приоритетных направлений, используемых при создании новых и модернизации существующих на вооружении образцов вооружения и военной техники [2, 3, 4, 5, 6].

Качественное решение задач охраны и обороны КВО в условиях недетерминированной динамической среды обеспечивается применением групп робототехнических комплексов (РТК). Крайне актуальным в современных условиях является решение проблемы адаптивного группового управления РТК в априори неопределённой среде, которая описывается количественными и качественными характеристиками [7].

Данная проблема предписывает комплексный подход решения ряда задач: расчёт рационального расстояния между комплексами и схемы их расстановки, исходя из функциональных возможностей комплексов, условий местности и характеристик нарушителя, для последующего качественного обнаружения и распознавания нарушителя (групп нарушителей).

Существующие методики и модели рационального построения вооружения, военной и специальной техники [8, 9, 10] не в полной мере учитывают условия внешней среды, её специфику, функциональных возможностей ОЭС разведки в этих условиях, а также влияние и учёт взаимного расположения (размещения) РТК на местности.

При исследовании сложных динамических систем широкое применение находят, методы физического, математического и имитационного моделирования [11, 12], а также эвристические методы и эволюционные алгоритмы.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Научной задачей исследования является разработать методику расчёта рационального расстояния между РТК ($S^*_{РТК}$) на рубеже охраны, позволяющую сформировать рациональные схемные решения расстановки группы РТК на полевой позиции для качественного решения оперативно-тактических задач.

$$S_{PTK}^* = \underset{S_{PTK} \in \Omega_{S_{PTK}}}{Arg \sup} \langle M, W, T, J \rangle, \quad (1)$$

при условии

$$t_H \geq t_{PTK} \quad (2)$$

где: $M \in \{\Omega_M\}$ – условия и рельеф местности, на которой применяются РТК;

$W \in \{\Omega_W\}$ – количественные и качественные характеристики нарушителя;

$T \in \{\Omega_T\}$ – количественные и качественные характеристики оптико-электронных средств разведки РТК;

$J \in \{\Omega_J\}$ – множество РТК, вооружённых оптико-электронными средствами разведки с различными техническими характеристиками;

$t_{i.}$ – время движения нарушителя в зоне воздействия группы РТК;

t_{PTK} – суммарное время противодействия нарушителю с применением РТК.

Решение поставленной задачи сопряжено с совместным учётом влияния факторов и требует специального подхода в интересах снижения размерности задачи и повышения достоверности результатов.

3. ПРОЦЕДУРА РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

По своей сути решение задачи (1) – (2) представляет собой задачу структурно-параметрического синтеза способов охраны КВО с применением группы РТК, при известных исходных данных $M \in \Omega_M$, $Q \in \Omega_Q$, $T \in \Omega_T$, $J \in \Omega_J$, характеризующих свои силы и средства охраны и противника. Где, с учётом условий, определяется рациональное расстояние между РТК.

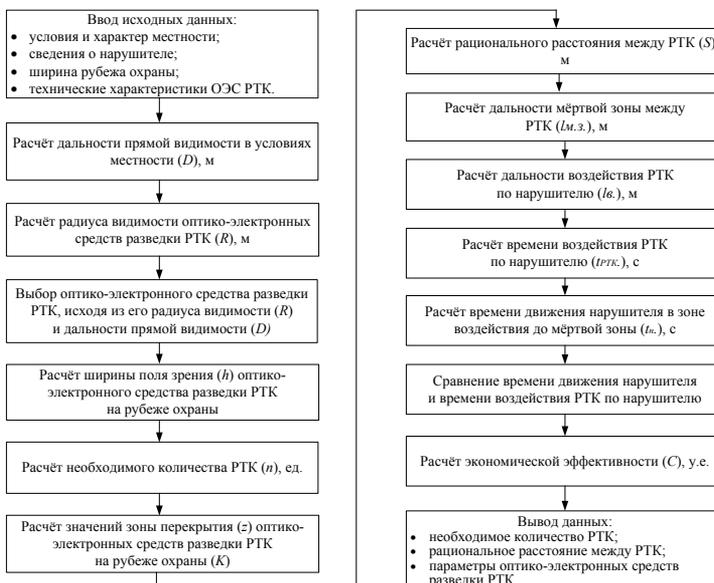


Рис. 1. Процедура расчёта рационального расстояния между РТК на рубеже охраны КВО



4. РАСЧЁТ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ ОБСТАНОВКИ

Основным в группе РТК при решении задач охраны, является адаптивное групповое взаимодействие комплексов, при котором решаются задачи по своевременному обнаружению, распознаванию нарушителей в условиях недетерминированной динамической среде [13].

Процесс обнаружения основан на регистрации изменений параметров окружающей среды при появлении объекта вторжения, т.е. сбора и обработки информации, источником или носителем которой является объект вторжения.

Таким образом, рациональная расстановка (построение) группы РТК на рубеже охраны КВО основывается на информации, которую каждый комплекс группы собирает, регистрирует и обрабатывает, используя определённые физические принципы и технические характеристики комплексов. Так, основным объектом вторжения является человек (нарушитель), основные его геометрические характеристики, в зависимости от способа его передвижения, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Геометрические размеры нарушителя

Способ передвижения нарушителя	Геометрические размеры нарушителя		
	Высота, м	Глубина, м	Ширина, м
В рост	1,6...2,0	0,3...0,5	0,4...0,6
Согнувшись	1,0...1,3	1,2...1,3	0,4...0,6
Ползком (перекатыванием)	0,3...0,5	1,6...2,0 (0,4...0,6)	0,4...0,6 (1,6...2,0)

Массу нарушителя без снаряжения примем равной 67 ± 18 кг, а площадь поверхности его тела как единичной цели равна $\approx 0,5$ м² (в рост) и $\approx 0,23$ м² (лёжа).

Данные по скорости движения нарушителя сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Предельные скорости движения человека

Величина	Способ передвижения противника			
	В рост	Согнувшись	На корточках	Ползком
Дистанция, м	30	20	6	6
V_m , м/с	6,39	5,87	2,07	1,52
σ_v , м/с	0,43	0,42	0,31	0,33
σ_v / V_m	0,07	0,07	0,15	0,22

Значения таблиц 1, 2 получены при проведении натуральных экспериментов.

На качественное решение задачи обнаружения и распознавание нарушителя с помощью оптико-электронных средств разведки, установленных на РТК, оказывает влияние условия местности [14]. Определение метеорологической дальности видимости осуществляется по резкости видимости линии горизонта и высоте расположения РТК над уровнем моря (она складывается из высоты места наблюдения и высоты установки ОЭС комплекса) [15].

Дальность прямой видимости в лесном массиве рассчитывается по выражению [16]:

$$D_{ПВ} = \frac{I_d^2}{\delta} k, \quad (3)$$

где I_d – среднее расстояние между деревьями; δ – средняя толщина деревьев; k – коэффициент, учитывающий случайный характер расположения деревьев. Для естественных лесных массивов $1 < k < 3$.

При проведении расчётов в соответствии с выражением (3) получены следующие зависимости (рисунок 2):

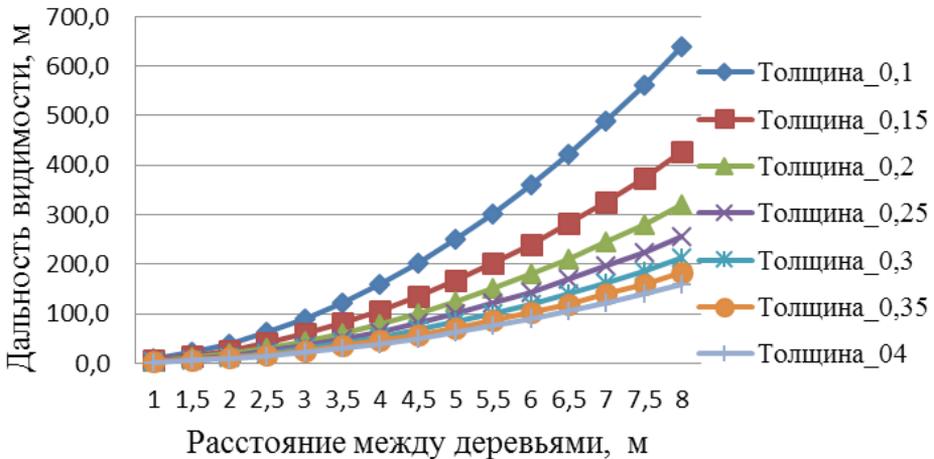


Рис. 2. Зависимость дальности видимости ($D_{ПВ}$) от расстояния между деревьями (I_d) при коэффициенте $c=1$

Вероятность прямой видимости нарушителя ($P_{пр.вид.}(x)$) зависит от рельефа местности и от дальности прямой видимости в лесном массиве. На основании обработки опытных данных для вычисления $P_{пр.вид.}(x)$ предложена функция отношения дальности обнаружения нарушителя (x) к его высоте (h), при условии $D_{ПВ} \geq x$:

$$P_{об.наруш.}(x) = \exp\left(-\frac{kx}{h}\right) \cdot \exp\left(-\frac{x\delta}{D^2 c}\right), \quad (4)$$

где k – коэффициент рельефности местности и изменяется в диапазоне от 0,001 до 0,003; x – расстояние, с которого обнаружен нарушитель высотой – h .



Вероятность обнаружения нарушителя ($P_{об.прот.}(x)$) в лесистой местности является вероятностью сложного события, определяемого вероятностью выхода нарушителя в сектор обзора j -го РТК: $P_{вых.j}$; прямой видимостью нарушителя с вероятностью $P_{пр.вид.}(x)$ и вероятностью правильного его обнаружения при условии, что прямая видимость обеспечена с вероятностью $P_{ПО.}(D_{ПВ})$:

$$P_{об.наруш.}(x) = P_{вых.j} \cdot P_{пр.вид.}(x) \cdot P_{ПО.}(D_{ПВ}) \quad (5)$$

Вероятность прямой видимости нарушителя по его геометрическим размерам (см. таблицу 2) рассчитывается в соответствии с выражением 4, результаты представлены на рисунке 3.

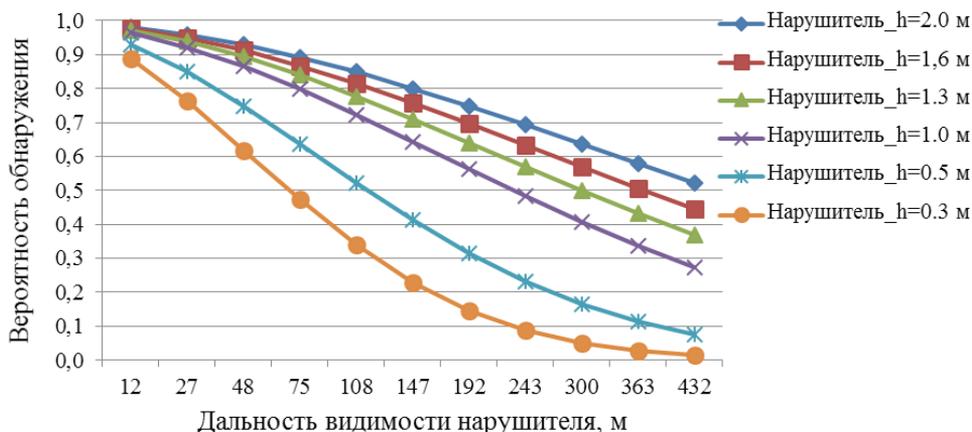


Рис. 3. Зависимость вероятности прямой видимости фигур нарушителя от расстояния

Рассчитаем предельную дальности видения оптико-электронным средством (ОЭС) разведки РТК, зависящую от угла поля зрения, по выражению:

$$R = \frac{G * Q}{\alpha(рад.)} \quad (6)$$

где G – предельный размер пикселя по горизонту (в расчётах принят 0,25 (м));
 Q – разрешение ОЭС (принят тепловизор с разрешением 640x480 пикселей); α – угол поля зрения ОЭС разведки РТК.

Результаты расчётов сведены в таблицу 3.

Таблица 3

**Зависимость дальность видения нарушителя
средством разведки (тепловизор) от угла его поля зрения**

Угол обзора ОЭС, град.	30	40	50	60	70	80	90	100	11	120	130	140	150	160	170
Дальность видения ОЭС, м	306	229	183	153	131	115	102	92	83	76	71	65	61	57	54



С помощью имитационного моделирования, используя значения дальности прямой видимости (рисунок 3) и параметры ОЭС (таблица 3), определены функциональные возможности ОЭС разведки РТК при различных дальностях прямой видимости. Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

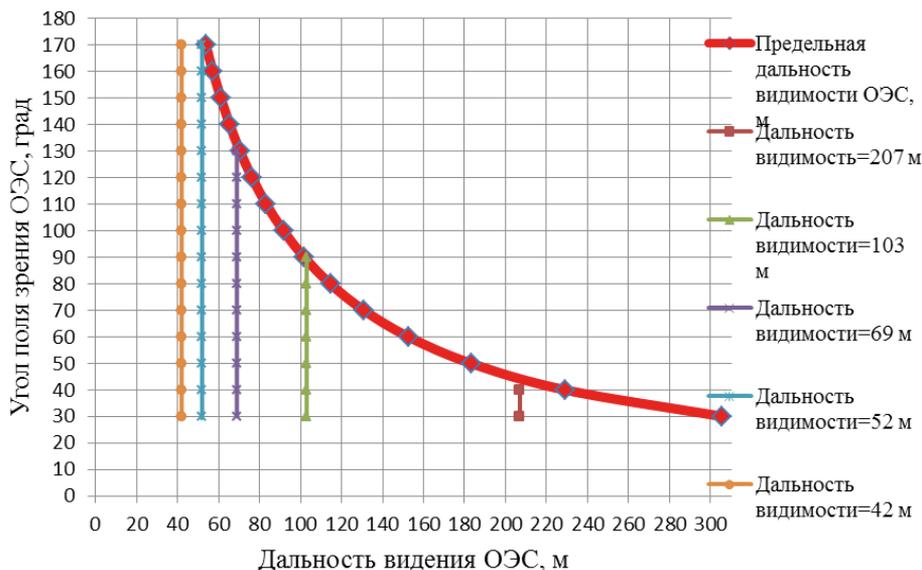


Рис. 4. Зависимость угла поля зрения ОЭС от дальности видения

По результатам моделирования (рисунок 4) определено видно, что для качественного обнаружения нарушителя с помощью средств разведки РТК на дальности прямой видимости в 207 метров, необходимо, чтобы комплекс был вооружён ОЭС с углом поля зрения не выше 40 градусов (в нашем случае: 30 и 40 градусов); при дальности прямой видимости в 103 метра необходимо выбрать ОЭС с углом поля зрения 30–80 градусов; при дальности видимости 69 метров – от 30 до 130 градусов; при дальности прямой видимости от 52 до 42 метра, необходимо выбрать ОЭС с углом поля зрения от 30 до 170 метров.

5. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СХЕМА РАССТАНОВКИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Одной из важнейших задач совершенствования количественных и качественных показателей группы РТК является обоснование рационального их состава и построение на рубеже охраны.

Расчёт рационального расстояния между РТК требует учёта факторов, влияющих на качественное решение оперативно-тактических задач, а именно: условия и характер местности (рисунок 1, 2), возможности нарушителя и его характеристики



(таблица 1, 2), функциональные возможности каждого комплекса группы (рисунок 3), а также специфику самого объекта охраны.

Функциональные возможности РТК позволяют размещать комплексы как одиночно, так и в сосредоточенном порядке, т.е. неравномерность их расположения на охраняемой территории.

Агломерация [8], т.е. сосредоточение РТК в группы, в зависимости от условий недетерминированной динамической среды, требует геометрического построения схемы расположения группы РТК на рубеже охраны.

Для вывода аналитической зависимости для расчёта рационального расстояния между РТК на рубеже охраны и дальнейшего моделирования, необходимо построить геометрическую схему рационального расстояния между РТК на рубеже охраны (рисунок 5), где: K – ширина рубежа охраны, (м); h – ширина обзора ОЭС разведки одним РТК, (м); α – угол поля зрения ОЭС разведки одного РТК (град); $l_{м.з.}$ – расстояние мёртвой зоны между РТК, (м); l_g – расстояние, на котором РТК может воздействовать на нарушителя, (м); z – ширина перекрытия полей обзора РТК, (м); S – рациональное расстояние между РТК, (м).

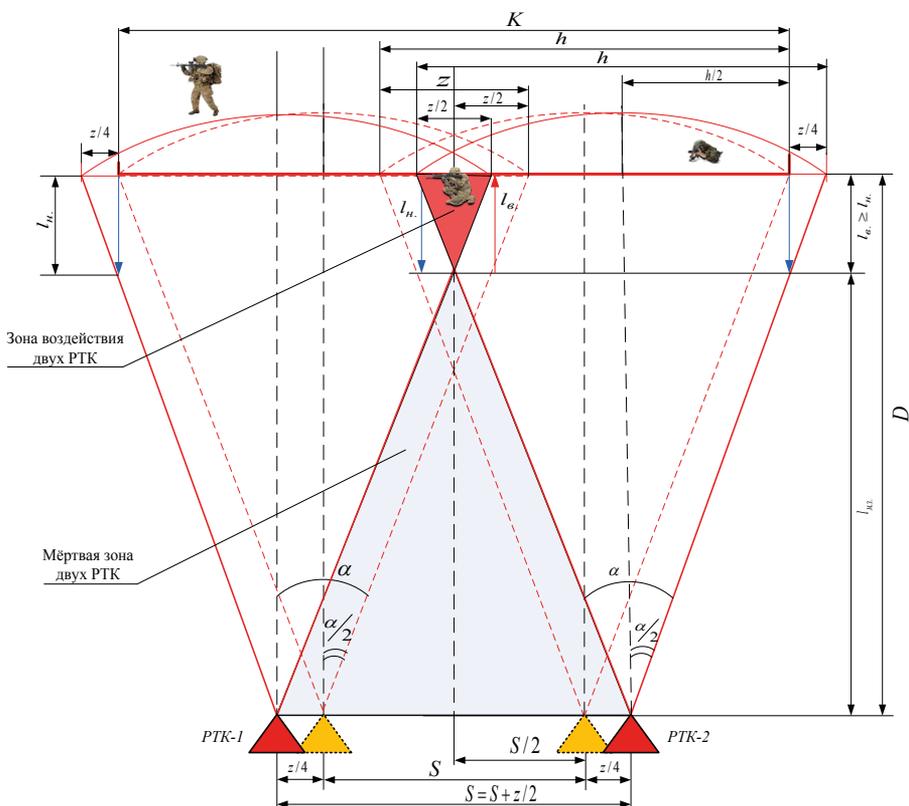


Рис. 5. Геометрическая схема расчёта рационального расстояния между РТК



Как пример, на рисунке 5 рассматриваются два РТК, имеющих на вооружении оптико-электронные средства разведки с одинаковым полем зрения (h), охраняющие рубеж шириной (K) на дальности прямой видимости (D). При этом, рациональное расстояние ($S^* = S + z/2$) между РТК позволяет своевременно обнаружить нарушителя в зоне воздействия, т.е. сохраняется условие $t_n \geq t_{РТК}$, где t_n – время движения нарушителя в зоне воздействия, (с); $t_{РТК}$ – суммарное время противодействия нарушителю с применением РТК, (с).

Построение вариантов геометрической схемы расчёта рационального расстояния между РТК с учётом дальности прямой видимости в условиях местности и качественных характеристик нарушителя, возможно для различных углов поля зрения ОЭС разведки РТК, а также при различной ширины рубежа охраны.

6. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА РАЦИОНАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

В соответствии с поставленной задачей (1) – (2), сформулированной процедурой решения задачи (рисунок 1), геометрической схемой (рисунок 5) выведем аналитическую зависимость расчёта рационального расстояния между РТК.

Исходные данные:

1. Скорость нарушителя V_i . В соответствии с таблицей 2 примем равной 6,39 м/с.
2. Время реакции РТК для воздействия на нарушителя:

$$t_{РТК} = t_p + t_{нав.} + t_{н.п.} + t_{нор.}, \quad (7)$$

где t_p – время реакции подсистемы обнаружения РТК при появлении нарушителя в зоне наблюдения, (с);

$t_{нав.}$ – время наведения оружия РТК на нарушителя, (с);

$t_{н.п.}$ – время принятие решения системой управления на поражение нарушителя, (с). Данное время складывается из: поиска в базе данных РТК наиболее подходящего образа нарушителя; выбора уязвимого места на видимой части нарушителя и расчёта количества боеприпасов для его поражения с вероятностью не ниже требуемой.

$t_{нор.}$ – время полёта пули, выпущенной из средства вооружения РТК до нарушителя. Данным временем в вычислениях пренебрегаем, т.к. оно мало.

По результатам имитационного моделирования установлено, что время воздействия РТК по нарушителю $t_{РТК} \approx 3,5$ с.

В соответствии с расчётами, максимальное расстояние (l_i), которое может пройти нарушитель (см. рисунок 5) от рубежа охраны до РТК $l_n = V_n \cdot t_{РТК} = 22,4$ м.

3. Ширина рубежа охраны КВО с применением группы РТК – (K).

Последовательность вывода аналитической зависимости представлена ниже.

1. Определим ширину поля зрения оптико-электронного средства разведки РТК (h) на дальности рубежа охраны (K):

$$h/2 = d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2), \quad (8)$$



соответственно:

$$h = 2d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2). \quad (9)$$

2. Определим зону перекрытия между полями зрения ОЭС РТК (z) по выражению:

$$z = 2h - K = 2 \cdot 2d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) = 4d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2). \quad (10)$$

3. Определим расстояние между РТК:

$$S = K - h = K - 2d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2). \quad (11)$$

4. Определим расстояние мёртвой зоны:

$$l_{\text{м.з.}} = \frac{S}{2} \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha/2) = \frac{K - 2d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)}{2} \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha/2). \quad (12)$$

5. Определим в зоне перекрытия ОЭС (z) кратчайшее расстояние, которое может пройти нарушитель в зоне видения группы РТК, чтобы выйти из неё и попасть в мёртвую зону, при этом должно сохраняться условие $l_i \leq l_a$:

$$l_{\text{в.}} = d - l_{\text{м.з.}} = d - \frac{K - 2d \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)}{2} \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha/2). \quad (13)$$

6. По результатам имитационного моделирования установлено, что при стохастических маршрутах движения нарушителя, на краях рубежа охраны РТК за время $t_{\text{РТК}}$ (выражение 7) не успевает воздействовать по нарушителю.

Результаты имитационного моделирования показали, что при увеличении расстояния между РТК (S) на $\frac{z}{2}$

$$S^* = S + z/2 \quad (14)$$

т.е. каждый комплекс необходимо переместить друг от друга на $\frac{z}{4}$, при сохранении условия задачи $t_n \geq t_{\text{РТК}}$.

Таким образом, отсутствует необходимость замены ОЭС разведки РТК на больший угол поля зрения.

7. АЛГОРИТМ РАСЧЁТА РАЦИОНАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

На рисунке 6 представлен алгоритм расчёта рационального расстояния между РТК на рубеже охраны КВО, которые могут вооружаться оптико-электронными средствами разведки.

Основой разработки представленного алгоритма является системный подход, при котором процесс решения научной задачи (1) и (2) представляется как функционирование во времени некоторой динамической системы, состоящей из группы робототехнических комплексов, в условиях недетерминированной динамической среды.

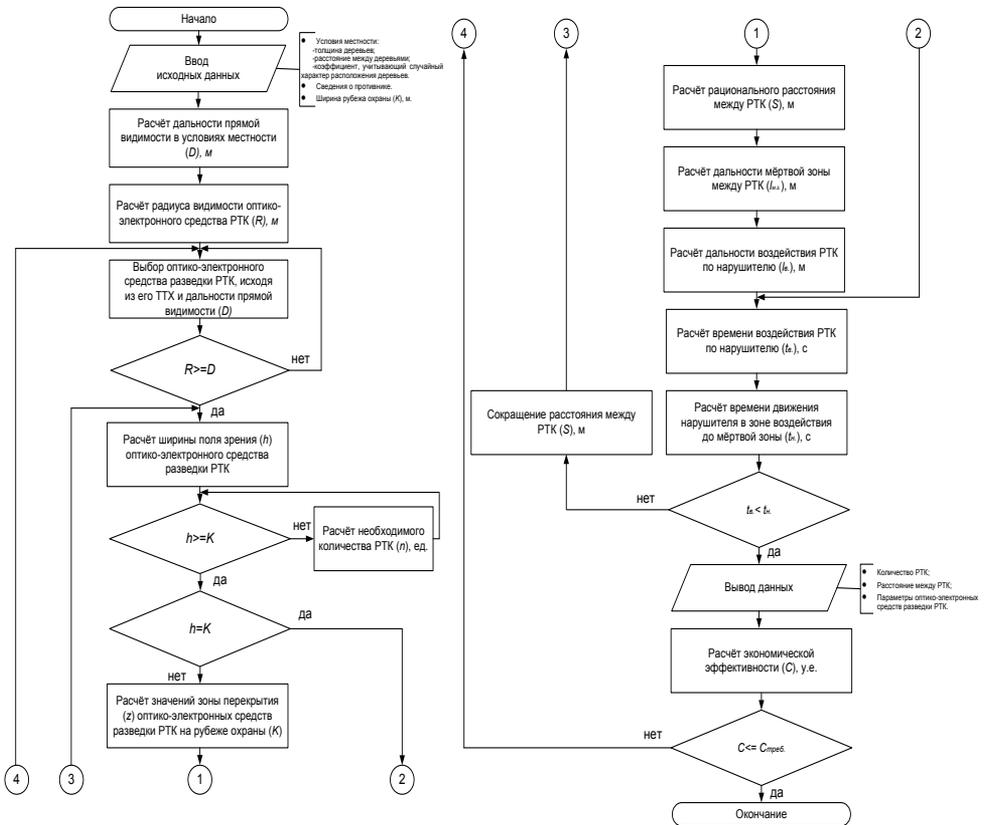


Рис. 6. Алгоритм расчёта рационального расстояния между РТК на рубеже охраны КВО

8. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

По результатам моделирования получены следующие зависимости:

1. Влияние условий и характера местности на выбор рационального расстояния между РТК, при углах поля зрения ОЭС разведки в 30 и 40 градусов соответственно (рисунки 7, 8).

Необходимо отметить, что моделирование проводилось для сложных условий местности (густой лес) при различных коэффициентах (k), учитывающих случайный характер расположения деревьев. Анализ результатов моделирования показал, что при одних и тех же функциональных возможностях ОЭС (рисунок 7), при коэффициенте $k=1$ максимальное расстояние между комплексами равно 44,8 (м); при $k=2$ максимальное расстояние 31,5 (м); при $k=3$ максимальное расстояние равно 27,5 (м). Если сравнивать результаты моделирования при разных функциональных возможностях ОЭС разведки РТК (30 и 40 градусов) (рисунки 7 и 8), соответственно, то, при одних и тех же условиях местности при $k=2$ и дальности видения ОЭС



69 (м), максимальное значение расстояния между комплексами равно 31,5 (м) и 49,8 (м), соответственно.

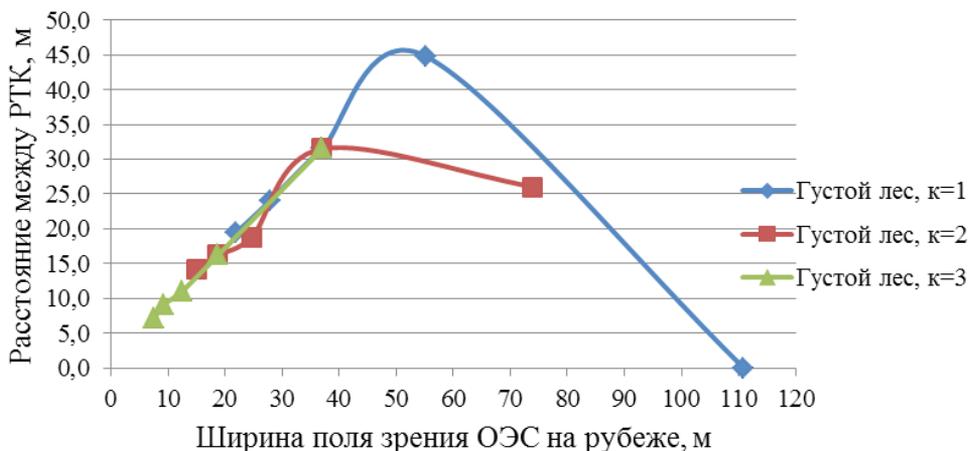


Рис. 7. Влияние условий местности на выбор рационального расстояния между РТК, при угле поля зрения ОЭС в 30 градусов

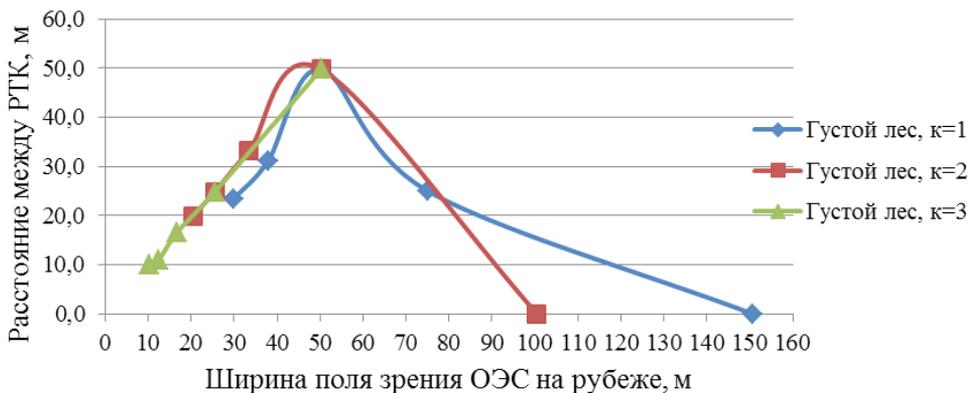


Рис. 8. Влияние условий местности на выбор рационального расстояния между РТК, при угле поля зрения ОЭС в 40 градусов

2. Расчёт необходимого количества РТК на рубеже охраны в 100 метров и рационального расстояния между ними для качественного решения задачи, в наихудших условиях местности, результаты моделирования представлены на рисунке 9.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что при неизменной ширине рубежа охраны (100 м) и неизменном угле поля зрения ОЭС разведки РТК (30 градусов) при густом лесу с $k=1$ и дальности прямой видимости в 207 (м) потребуется 1 единица РТК, при том же $k=1$, но дальности прямой видимости в 41 (м) потребуется 5 единиц РТК. Изменив коэффициент $k=3$, при дальности прямой види-



мости в 69 (м) потребуется 3 единицы РТК, при том же $k=3$, но дальности прямой видимости в 14 (м) потребуется 14 единиц РТК.

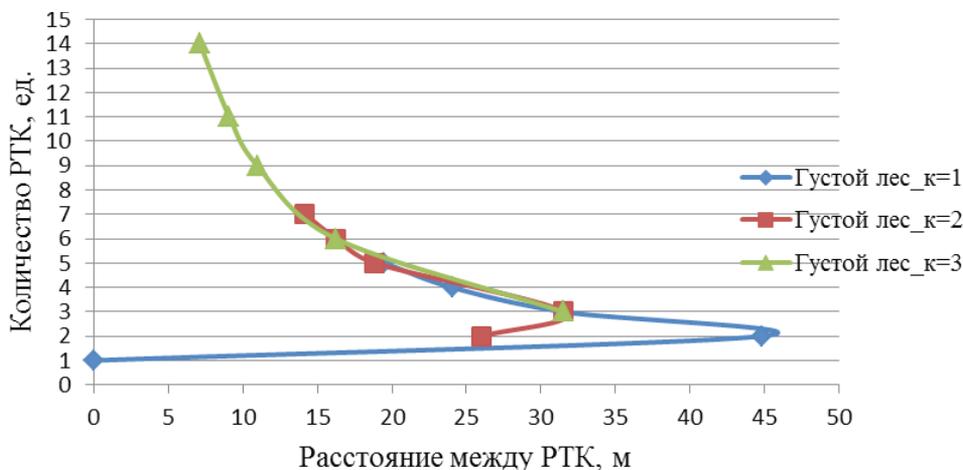


Рис. 9. Необходимое количество РТК на рубеже охраны в 100 метров в наихудших условиях местности

9. ВЫВОДЫ

Таким образом, рассматриваемая методика расчёта рационального расстояния между РТК в изменяемых условиях обстановки для решения задач охраны КВО представляет собой упорядоченную совокупность научных результатов, в виде аналитической модели, процедуры, алгоритма и геометрической схемы расстановки РТК, позволяющих рассчитать необходимое количество РТК и рациональное расстояние между ними на рубеже охраны для качественного решения поставленной задачи.

Предложенная методика расчёта рационального расстояния между РТК позволит оценить оперативность и достоверность обнаружения и распознавания нарушителя до проведения натурных испытаний и ускорить разработку адаптивной системы группового управления РТК при решении задач охраны критически важных объектов.

Литература

1. В.В. Кузьмичев, Д.А. Скрипачев. ФЦНВТ и безопасность критически важных объектов. Сборник научных трудов. М.: ФГУП «СНПО «Элерон», 2011. 235 с.
2. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
3. Указ Президента Российской Федерации от 16.12.2015 № 623 «О Национальном центре развития технологий и базовых элементов робототехники».
4. Каляев И.А., Рубцов И.В. Боевым роботам нужна программа // Национальная оборона. 2012. № 8(77). С. 34–48.



5. Сердюк П., Слюсар В. Средства связи с наземными роботизированными системами. Современное состояние и перспективы // Электроника. Наука, технология, бизнес. 2014. № 7(00139). С. 66–74.
6. Хрипунов С.П., Благодарящев И.В., Чиров Д.С. Военная робототехника: современные тренды и векторы развития // Тренды и управление. 2015. № 4. С. 410–422.
7. Свиридов В.В. Применение робототехнических комплексов охраны и обороны критически важных объектов Ракетных войск стратегического назначения. М.: Военная мысль, 2021. С. 57–64.
8. Шмелёв О.Б. Метод обоснования рационального состава и построения группировки зенитных ракетных войск на стратегическом направлении // Военная мысль. 2020. Выпуск № 11. 25–32 с.
9. Валеев М.Г., Ахмеров Е.Н., Ахмеров Д.Е. Основные подходы к обоснованию группировок войск противовоздушной обороны на стратегических направлениях // Военная Мысль. 2015. Выпуск № 9. С. 53–58.
10. Ворошилов С.В., Кулешов А.В., Перекосов Ю.П. О выборе рационального варианта размещения на местности группировки пво св на основе комплексной модели с использованием цифровой карты // Системи обробки інформації, Выпуск 10 (38), 2004. ISSN 1681–7710.
11. Деменко М.П., Кулешов О.В., Перекосов Ю.П. Методичний підхід до оцінки стійкості управління підрозділами ППО СВ // 36. наук. праць. – Х.:ХВУ. – 2002. – Вип. 3 (41). – С. 14–16.
12. Кулешов А.В., Онищенко В.Н., Перекосов Ю.П., Евтушенко И.М. Методика оценки эффективности системы ПВО оперативно – тактического уровня на основе комплексной модели реального времени // 36. наук. праць. – Х.:ХВУ. – 2001. – Вип. 4 (39). – С. 111–114.
13. Свиридов В.В., Лазарев В.М. Математическая модель оценки функциональных возможностей робототехнических комплексов по противодействию противнику на основе уравнений динамики высокоорганизованного боя / Информатика и системы управления. ISSN 1814–2400, Благовещенск, 2021. С. 23–33.
14. Пушкарёв Ю.А., Свиридов В.В. Модель оценки качества характеристик робототехнического комплекса для обнаружения нарушителя в лесистой местности // Математическое моделирование и численные методы. МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2021.
15. Шаранов В.В. Наблюдение и видимость / http://vrazvedka.ru/main/learning/vopros-ob/sharopov_03.html/, 2009.
16. Симонян Р.Г., Гришин С.В. Разведка в особых условиях. – М.: Воениздат, 1975. 356 с.



Methodology for Calculating the Rational Distance between Robotic Systems in Changing Conditions for Solving the Problems of Protecting Critical Facilities

Viktor V. Sviridov*

Branch of the VA Strategic Missile Forces named after Peter the Great
Serpukhov, Russia
e-mail: vodiriv@list.ru

The article discusses the method of calculating the rational distance between robotic complexes at the border of protection. The procedure, analytical model and algorithm for solving the scientific problem proposed in the methodology allow us to distinguish the moments of quantitative change in the functional capabilities of optical-electronic means of reconnaissance of robotic complexes under the influence of environmental factors and the violator, who further regulate the transition to solving the problem of adaptive group control of robotic complexes.

Keywords: robotic complex, rational distance, frontier of protection, non-deterministic dynamic environment, intruder.

For citation:

Sviridov V.V. Methodology for Calculating the Rational Distance between Robotic Systems in Changing Conditions for Solving the Problems of Protecting Critical Facilities. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 4, pp. 33–48. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110403> (In Russ., abstr. in Engl.).

References

1. V.V. Kuzmichev, D.A. Skripachev. FTVET and safety of critical facilities. Collection of scientific works. M.: FSUE “SNPO” Eleron, “2011. 235 p.
2. Decree of the President of the Russian Federation dated 10.10.2019 No. 490 “On the Development of Artificial Intelligence in the Russian Federation.”
3. Decree of the President of the Russian Federation dated 16.12.2015 No. 623 “On the National Center for the Development of Technologies and Basic Elements of Robotics.”
4. Kalyaev I.A., Rubtsov I.V. Combat robots need a program // National Defense. 2012. № 8(77). P. 34–48.
5. Serdyuk P., Slusar V. Means of communication with ground-based robotic systems. Current State and Prospects // Electronics. Science, technology, business. 2014. № 7(00139). P. 66–74.
6. Khripunov S.P., Thanksgiving I.V., Chirov D.S. Military robotics: modern trends and vectors of development // Trends and management. 2015. № 4. P. 410–422.
7. Sviridov V.V. The use of robotic systems for the protection and defense of critical objects of the Strategic Missile Forces. M.: Military thought, 2021. P. 57–64.

* **Viktor V. Sviridov**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Research Department. Branch of VA Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Serpukhov, Russia, e-mail: vodiriv@list.ru



8. Shmelev O.B. Method of substantiating the rational composition and construction of a group of anti-aircraft missile forces in a strategic direction // Military thought. 2020. Issue № 11. 25–32 p.
9. Valeev M.G., Akhmerov E.N., Akhmerov D.E. The main approaches to the justification of air defense groups in strategic directions // Military Thought. 2015. Issue № 9. P. 53–58.
10. Voroshilov S.V., Kuleshov A.V., Perekosov Yu.P. On the choice of a rational option for placing an air defense group on the ground based on an integrated model using a digital map//System wraps, informatsii Issue 10 (38), 2004. ISSN 1681–7710.
11. М.Р. Demenko, О. Kuleshov. In. Distortions Yu.P. Metodichny підхід to an ots_nka стійкості управління p_drozd_lam of PPO SV/ZB. sciences. daddy. – X.: XVU. – 2002. “Veep. 3 (41). P. 14–16.
12. Kuleshov A.V., Onishchenko V.N., Perekosov Yu.P., Yevtushenko I.M. Methodology for assessing the effectiveness of the air defense system of an operational – tactical level based on an integrated real-time model // Zb. sciences. daddy. – X.: XVU. – 2001. “Veep. 4 (39). P. 111–114.
13. Sviridov V.V., Lazarev V.M. Mathematical model for assessing the functional capabilities of robotic complexes to counter the enemy based on the equations of dynamics of highly organized combat/Informatics and control systems. ISSN 1814–2400, Blagoveshchensk, 2021. P. 23–33.
14. Pushkarev Yu.A., Sviridov V.V. Model for assessing the quality of the characteristics of a robotic complex for detecting an intruder in a wooded area//Mathematical modeling and numerical methods. MSTU named after N.E.Baumana. 2021.
15. Sharanov V.V. Observation and Visibility / http://vrazvedka.ru/main/learning/vopros-ob/sharanov_03.html/, 2009.
16. Simonyan R.G., Grishin S.V. Exploration in special conditions. – M.: Military building, 1975. 356 p.