

Вопросы безопасности*Правильная ссылка на статью:*

Ильин В.В., Николаев Н.В., Некрасов М.И., Соколов А.М. — Подход к оценке эффективности систем противодействия робототехническим комплексам на важных объектах // Вопросы безопасности. — 2023. — № 4. — С. 15 - 26. DOI: 10.25136/2409-7543.2023.4.39479 EDN: WKOLMA URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=39479

Подход к оценке эффективности систем противодействия робототехническим комплексам на важных объектах

Ильин Владимир Викторович

кандидат технических наук

Сотрудник, Академия ФСО России

302015, Россия, Орловская область, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

✉ w.ilin82@yandex.ru

Николаев Николай Владимирович

кандидат экономических наук

Сотрудник, Академия ФСО России

302015, Россия, Орловская область, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

✉ nnv85nikolas@mail.ru

Некрасов Максим Игоревич

Сотрудник, Академия ФСО России

302015, Россия, Орловская область, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

✉ nekr-maks@yandex.ru

Соколов Артем Максимович

Академия ФСО России, сотрудник

302015, Россия, Орловская область, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

✉ sokol.sam@gmail.com

[Статья из рубрики "Технологии и методология в системах безопасности"](#)

DOI:

10.25136/2409-7543.2023.4.39479

EDN:

WKOLMA

Дата направления статьи в редакцию:

22-12-2022

Дата публикации:

16-10-2023

Аннотация: Предметом исследования является научно-методический аппарат оценки эффективности систем противодействия робототехническим комплексам. В качестве объекта исследования выступает научно-методический аппарат анализа систем противодействия робототехническим комплексам на важных объектах. Целью работы является развитие научно-методического аппарата оценки эффективности систем противодействия робототехническим комплексам на важных объектах в направлении учета их структуры, пространственной конфигурации, а также синергетического эффекта от совместного применения в составе системы разнородных технических средств. Для достижения цели исследования в работе комплексно применяются общий логико-вероятностный метод моделирования и инструментарий современных геоинформационных систем. В статье предложен новый подход к оценке эффективности пространственно распределенных многорубежных систем противодействия робототехническим комплексам. Полученные результаты могут быть использованы заинтересованными организациями для оценки эффективности вариантов таких систем и выявления их уязвимостей. Научная новизна состоит в разработке подхода к оценке эффективности пространственно распределенных многорубежных систем противодействия робототехническим комплексам, учитывающих их структуру, пространственную конфигурацию, а также синергетический эффект от совместного применения разнородных технических средств противодействия робототехническим комплексам за счет комплексного использования новых логико-вероятностных моделей и современных геоинформационных технологий. Полученные в статье результаты свидетельствуют о достижении цели работы.

Ключевые слова:

Робототехнические комплексы, противодействие робототехническим комплексам, защита важных объектов, системы безопасности, моделирование систем безопасности, системы физической защиты, показатель эффективности, моделирование систем защиты, модель системы противодействия, логико-вероятностный метод

Введение

Современные робототехнические комплексы (РТК) характеризуются универсальностью, автономностью и относительной простотой использования, а также имеют возможность как одиночного, так и группового применения [1-3]. В этой связи нарушители все чаще выбирают РТК в качестве средства для осуществления диверсионно-террористических актов на важных объектах.

Для обеспечения защиты объектов от такого вида угроз в составе систем физической защиты применяются многорубежные системы противодействия РТК, состоящие из разнородных технических средств, функционирующих на основе различных физических

принципов [4]. Данные изделия характеризуются уникальными особенностями, а также обладают определенными достоинствами и недостатками.

Оценка эффективности функционирования систем противодействия РТК является актуальной и сложной научно-технической задачей, которая требует комплексного учета влияния различных факторов и многокритериальной количественной оценки формируемых решений. С этой целью в настоящее время применяются детерминистические подходы, проводятся натурные испытания, используются расчетные и экспертные методы [5].

Проведенный анализ показал, что существующие методы не позволяют в полной мере учитывать влияние топографических особенностей защищаемого объекта и синергетического эффекта от комплексного применения разнородных технических средств противодействия РТК в составе пространственно распределенных многорубежных систем. Это обусловлено тем, что решение задачи с учетом указанных факторов требует значительных временных и материальных ресурсов, а также большого количества эмпирических данных, получение которых на практике не всегда представляется возможным [5, 6].

Таким образом, существует объективное противоречие между потребностью в оценке эффективности пространственно распределенных многорубежных систем противодействия РТК на важных объектах и неспособностью существующих научно-методических подходов обеспечить комплексный учет основных влияющих факторов.

В целях разрешения указанного противоречия предлагается разработать новый подход к оценке эффективности исследуемых систем, который предусматривает:

- для учета топографических особенностей объекта – выполнение пространственного моделирования системы противодействия РТК путем отображения структуры ее рубежей и построения секторов действия средств в их составе с учетом параметров размещения на местности, наличия искусственных и естественных препятствий и топологии защищаемой территории;
- для оценки эффективности функционирования системы – осуществление вероятностного моделирования, обеспечивающего учет результатов пространственного моделирования и синергетического эффекта, вызванного применением в составе системы разнородных технических средств.

В настоящей статье рассмотрим подход к решению указанной задачи более подробно.

Оценка эффективности системы противодействия РТК с применением общего логико-вероятностного метода моделирования и современных геоинформационных технологий

Для учета топографических особенностей защищаемого объекта, наличия искусственных и естественных препятствий, параметров размещения на местности средств противодействия РТК в настоящей работе предлагается использовать инструментарий современных геоинформационных систем (ГИС), который позволит построить модель зоны покрытия системы противодействия РТК [7].

Основной целью функционирования системы противодействия РТК на важном объекте является пресечение диверсионно-террористического акта посредством выявления и нейтрализации потенциально опасных РТК. Как показано в монографии [8], при такой

постановке задачи в качестве показателя эффективности системы противодействия РТК целесообразно использовать вероятность пресечения противоправного применения РТК.

Для оценки значения вероятности пресечения противоправного применения РТК в работе выбран общий логико-вероятностный метод моделирования (ОЛВМ), который хорошо зарекомендовал себя при решении задач анализа и синтеза систем, предусматривающих возможность описания в виде последовательности бинарных событий. Он основан на применении аппарата булевой алгебры для формализации взаимосвязей между элементарными событиями и условиями их наступления при функционировании системы противодействия РТК. Также необходимо отметить, что в настоящее время имеются сертифицированные средства автоматизации ОЛВМ [9].

Основным недостатком ОЛВМ является существенная сложность учета временных параметров наступления элементарных событий. Однако временные факторы могут быть учтены при задании требований к размещению средств противодействия РТК на местности. А именно, конфигурация на местности их секторов действия должна быть такой, чтобы время нахождения РТК в их пределах при реализации угрозы объекту было достаточным для выполнения средствами своих функций.

Общая последовательность применения ОЛВМ имеет следующий вид [9]:

- 1) построение логико-вероятностной модели функционирования системы противодействия РТК в виде графа, который отражает инициирующие, промежуточные и конечное события, а также взаимосвязи между ними. Инициирующие события характеризуют воздействия нарушителей на систему. Промежуточные события получаются путем логической комбинации двух или более событий. Конечное событие описывает определенное опасное состояние системы или, наоборот, пресечение противоправных действий. Причем вероятность наступления событий, связанных с функционированием отдельных средств в составе системы противодействия РТК, может быть получена в ходе испытаний;
- 2) составление логической функции, описывающей функционирование системы противодействия РТК;
- 3) формирование вероятностной функции на основе логической;
- 4) оценка системы противодействия РТК на основе вероятностной функции.

Таким образом, совместное применение ОЛВМ и ГИС позволит построить комплексную модель системы противодействия РТК для оценки ее эффективности, учитывающую синергетический эффект от совместного применения разнородных технических средств противодействия РТК, а также параметры конфигурации многорубежной, распределенной в пространстве системы противодействия РТК.

Рассмотрим порядок оценки эффективности системы противодействия РТК в соответствии с предлагаемым подходом. Его общий вид представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Порядок оценки эффективности системы противодействия РТК

Исходными данными для оценки эффективности системы выступают:

- 1) географические сведения о защищаемом объекте в виде цифровой карты местности;
- 2) перечень рубежей системы противодействия РТК;
- 3) перечень средств противодействия РТК в составе рубежей системы;
- 4) характеристики средств противодействия РТК:
 - вероятность успешного функционирования в стандартных условиях;
 - пространственные характеристики сектора действия средства;
 - высота подъема сенсора/генератора воздействия над земной поверхностью.
- 5) параметры размещения средств противодействия РТК (географические координаты мест установки и углы ориентации диаграмм направленности);
- 6) перечень сценариев реализации угроз безопасности, который отражает возможные способы применения РТК нарушителей, а также характерные для них демаскирующие признаки и уязвимости.

Пространственное моделирование системы противодействия РТК осуществляется последовательно для каждого рубежа.

Первый шаг пространственного моделирования предполагает построение секторов действия $\overset{W_{ij}}{\text{手段}}$ средств противодействия РТК в составе j -го рубежа системы посредством:

- 1) оценки зон видимости $V_{\text{в}}(x_{ij}, y_{ij}, h_{ij})$ для точек размещения средств противодействия РТК (x_{ij}, y_{ij}) с учетом высот подъема антенно-мачтовых устройств h_{ij} ;

2) построения с расчетных секторов действия средств противодействия РТК в соответствии с выражением (1):

$$\begin{aligned} x &= x_0 + L \cdot \cos \phi, \\ y &= y_0 + L \cdot \sin \phi \\ \text{при } \phi &\in [\alpha - \frac{\beta}{2}; \alpha + \frac{\beta}{2}] \end{aligned} \quad (1)$$

где α – азимут в направлении главного максимума диаграммы направленности средства;

β – ширина действия средства в горизонтальной плоскости;

(x_0, y_0) – координаты точки размещения средства;

L – максимальная дальность действия средства.

3) определения границ реальных секторов действия средств противодействия РТК с помощью оверлейной операции пересечения зоны видимости и расчетного сектора действия соответствующего средства осуществляется согласно выражению (2):

$$W_{ij} = V_B(x_{ij}, y_{ij}, h_{ij}) \cap V_{ij}^c(x_{ij}, y_{ij}, \alpha_{ij}, \beta_{ij}), \quad (2)$$

где (x_{ij}, y_{ij}) – географические координаты размещения i -го средства противодействия РТК в составе j -го рубежа;

h_{ij} – высота установки (мачтового устройства при наличии) i -го средства противодействия РТК в составе j -го рубежа;

$V_B(x_{ij}, y_{ij}, h_{ij})$ – зона видимости из точки с географическими координатами (x_{ij}, y_{ij}) при высоте наблюдения, соответствующей подъему антенны h_{ij} ;

α_{ij} – азимут максимума диаграммы направленности i -го средства противодействия РТК в составе j -го рубежа;

β_{ij} – угол места максимума диаграммы направленности i -го средства противодействия РТК в составе j -го рубежа;

$V_{ij}^c(x_{ij}, y_{ij}, \alpha_{ij}, \beta_{ij})$ – расчетный сектор действия i -го средства противодействия РТК в составе j -го рубежа при его размещении в точке с географическими координатами (x_{ij}, y_{ij}) и ориентации максимума диаграммы направленности на углы α_{ij} и β_{ij} .

На втором шаге осуществляется формирование пространственной модели V^j j -го рубежа системы противодействия РТК. С этой целью выполняется оверлейная операция объединения реальных секторов действия всех средств противодействия РТК данного рубежа, выражение (3):

$$\tau\tau^j \quad || \quad \tau\tau\tau \quad (3)$$

$$V^* = \bigcup_{i \in I} W_{ij}$$

Необходимо отметить, что цифровая карта местности в ГИС представляется в виде множества элементарных объектов [7].

Вероятностный этап предполагает построение аналитических выражений, позволяющих оценить вероятность успешного функционирования отдельного рубежа или системы в целом для заданной точки пространства. При этом используются следующие допущения:

1. Вероятность обнаружения (противодействия) РТК в пределах сектора действия средства постоянна и определяется в его ТТХ.
2. За пределами сектора действия вероятность обнаружения (противодействия) РТК средством равна нулю.

Первый шаг рассматриваемого этапа моделирования – оценка пространственного распределения вероятности успешного функционирования j -го рубежа системы противодействия РТК. Под фактом успешного функционирования рубежа понимается успешное функционирование хотя бы одного средства противодействия РТК из его состава, сектор действия которого перекрывает рассматриваемую точку пространства. В этой связи функционирование рубежа может быть описано условной схемой с параллельным соединением элементов [10]. Тогда для оценки вероятности успешного функционирования рубежа в данной точке может быть использовано выражение (4):

$$P_j(x, y, h) = 1 - \prod_{m(x, y, h) \in W_{ij}} (1 - P_{ij}), \quad (4)$$

где $P_j(x, y, h)$ – вероятность успешного функционирования j -го функционального рубежа системы противодействия РТК в точке с географическими координатами (x, y) на высоте h от земной поверхности;

$m(x, y, h)$ – исследуемый элемент пространства;

P_{ij} – вероятность успешного функционирования i -го средства противодействия РТК в составе j -го функционального рубежа.

Второй шаг вероятностного моделирования предполагает оценку вероятности успешного функционирования рубежей системы противодействия РТК в соответствии с выражением (5):

$$P_j = \frac{\sum_{m(x, y, h) \in V^j} P_j(x, y, h)}{|V^j|}, \quad (5)$$

где P_j – вероятность успешного функционирования j -го рубежа системы противодействия РТК;

V^j – пространственная модель j -го рубежа системы противодействия РТК;

$m(x, y, h)$ – исследуемый элемент пространства.

Допустимость применения аддитивной свертки определяется тем, что:

- все величины однородны;
- попадание РТК в точку пространства есть величина случайная;
- вероятность успешного функционирования рубежа в каждой точке находится в допустимых пределах;
- уменьшение вероятности успешного функционирования рубежа в одной точке может быть компенсировано увеличением вероятности успешного функционирования в другой точке [\[11\]](#).

На третьем шаге оценивается вероятность успешного функционирование системы противодействия РТК в целом методом ОЛВМ путем выполнения следующих операций [\[9\]](#):

1. Определение множества событий, характеризующих функционирование системы противодействия РТК на объекте (6):

$$G, R \rightarrow D = \{D_g, D_r\}, g \in G, r \in R, \quad (6)$$

где G – перечень сценариев реализации угроз с применением РТК;

R – перечень функциональных рубежей системы противодействия РТК на важном объекте;

D – множество событий, характеризующих функционирование системы противодействия РТК на важном объекте;

D_g – множество событий, соответствующих возможным сценариям реализации угрозы;

D_r – множество событий, соответствующих функционированию рубежей системы противодействия РТК.

Необходимо отметить, что данные события имеют бинарную природу, а именно:

- рубеж системы противодействия РТК может или выполнить свою функцию, или не выполнить;
- сценарий реализации угрозы или используется нарушителем, или нет.

При этом вероятность наступления событий из множества D_r соответствует вероятности успешного функционирования рассматриваемого рубежа системы (7):

$$P_{d_j} = P_j(x, y), j = \overline{1, J}, \quad (7)$$

где P_j – вероятность успешного функционирования средств противодействия РТК j -го функционального рубежа системы на важном объекте;

$m(x, y)$ – исследуемая точка пространства.

Так как события из множества D_g , характеризующие сценарии реализации угрозы, считаются несовместными, то вероятность их наступления определяется согласно выражению (8):

$$\begin{aligned} P_{g_x} &\in \{0;1\}; \\ \text{при условии } \sum_{g_x \in G} P_{g_x} &= 1. \end{aligned} \quad (8)$$

2. Построение аналитических выражений, характеризующих зависимость вероятности пресечения противоправного применения РТК от вероятностей наступления бинарных событий.

Для этого формируются схемы функциональной целостности (СФЦ), описывающие процесс функционирования многорубежной системы противодействия РТК при различных сценариях реализации угрозы [9].

Общий вид таких СФЦ представлен на рисунке 2. Взаимосвязи между событиями определяются с учетом демаскирующих признаков и уязвимостей различных способов применения РТК, соответствующих возможным сценариям реализации угроз.

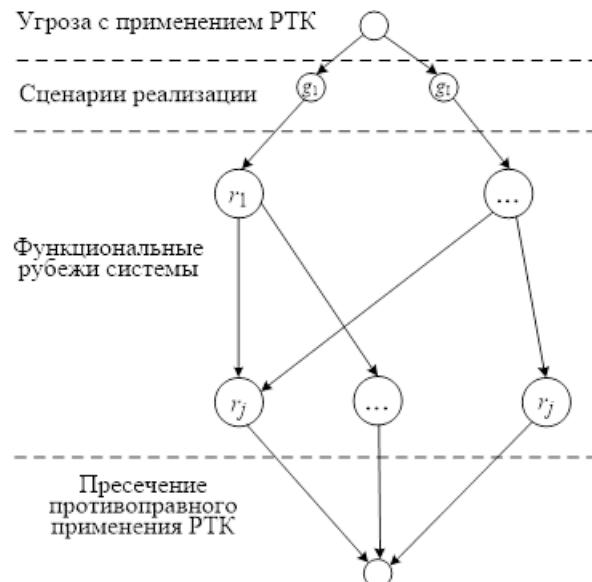


Рисунок 2 – СФЦ функционирования системы противодействия РТК на важных объектах

На основе СФЦ при помощи автоматизированных средств моделирования (например «Арбитр») строятся функции, позволяющие оценить вероятность пресечения противоправного применения РТК при возможных сценариях реализации угроз [9]. Они имеют полиномиальный вид и могут быть записаны следующим образом (9):

$$\begin{aligned} M d_k &= \sum \left(\prod_{\substack{n \in N \subset D \\ h \in H \subset D}} P_n Q_h \right), \\ Q_h &= 1 - P_h. \end{aligned} \quad (9)$$

3. Оценивание пространственного распределения вероятности успешного функционирования системы противодействия РТК. Для этого в выражение (9) подставляются значения, полученные для каждого из рубежей системы с помощью выражения (4) (рисунок 3).

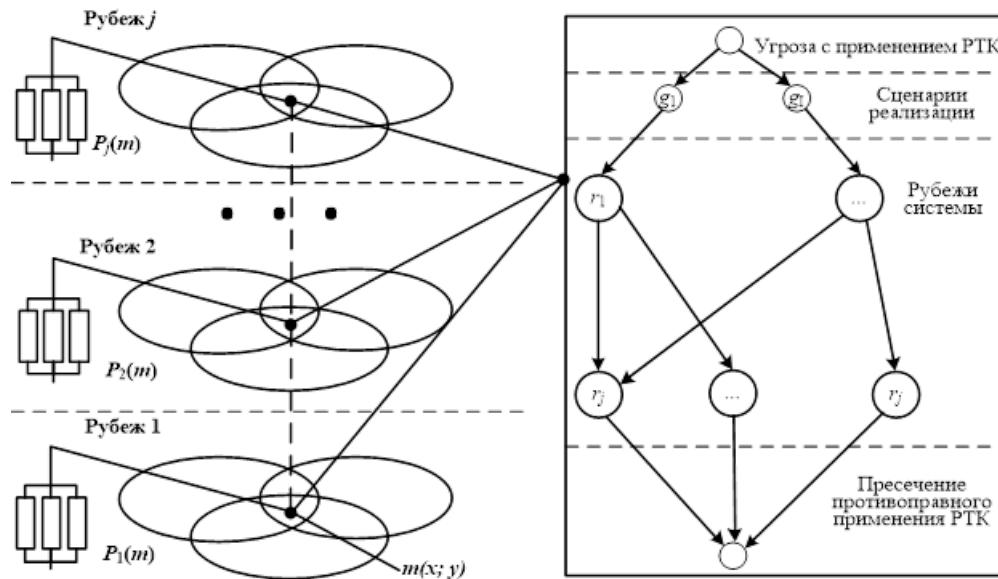


Рисунок 3 – Оценивание пространственного распределения вероятности успешного функционирования системы противодействия РТК

Таким образом, представленный в работе подход позволяет оценить эффективность пространственно распределенной многорубежной системы противодействия РТК с учетом ее структуры, пространственной конфигурации, а также синергетического эффекта от совместного применения в составе рубежей системы разнородных технических средств противодействия РТК.

Полученные в статье результаты имеют существенное значение для организаций, обеспечивающих защиту важных объектов, и позволяют:

- оценить соответствие отдельных рубежей или системы противодействия РТК на заданном объекте предъявляемым требованиям по показателю вероятности успешного функционирования;
- выявить уязвимости системы противодействия РТК к возможным способам применения РТК и наиболее угрожающие направления;
- обосновать технические решения по построению и развитию систем противодействия РТК на важных объектах.

Библиография

1. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: монография, ч. 1 / В.А. Аладинский, С.В. Богдановский, В.М. Клименко, В.А. Ромашов. – Череповец: РИО ВВИУРЭ, 2019. – 613 с.
2. Коллективы интеллектуальных роботов. Сфера применения / под ред. В.И. Сырямкина. – Томск: СТТ, 2018. – 140 с.
3. Бабич Л.А., Исламов В.К. Групповое применение разведывательных и ударных беспилотных летательных аппаратов // Молодой ученый. Международный научный журнал. – 2019. – № 45 (283). – С. 3–6.
4. Егурнов В.О., Ильин В.В., Некрасов М.И., Сосунов В.Г. Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов // Вопросы оборонной техники. Научно-технический журнал. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. – 2018. – № 115–116. – С. 51–58.

5. Костин В.Н. Методики, модели и методы обоснования и разработки систем физической защиты критически важных объектов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.01 : защищена 16.09.2021 / Костин Владимир Николаевич. – Оренбург, 2021. – 249 с. – Библиогр.: с. 222–237.
6. Панин О. Проблемы оценки эффективности функционирования систем физической защиты объектов // Безопасность. Достоверность. Информация. – 2007. – № 3 (72). – С. 23–25.
7. Ковин Р.В. Геоинформационные системы: учебное пособие / Р.В. Ковин, Н.Г. Марков. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.
8. Бояринцев А.В., Зуев А.Г., Ничиков А.В. Проблемы антитерроризма: угрозы и модели нарушителей. – Санкт-Петербург: ЗАО «НПП «ИСТА-Системс», 2008. – 220 с.
9. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства : монография / В.И. Поленин, И.А. Рябинин, С.К. Свирин, И.А. Гладкова. Под ред. А.С. Можаева // Проект в рамках Концепции социально-политического проекта РАН «Актуальные проблемы безопасности социума» / Российская академия естественных наук. – Санкт-Петербург : СПб-региональное отделение РАН, 2011. – 416 с.
10. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е.С. Вентцель. – Москва: Высшая школа, 1998. – 576 с.
11. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. – Москва: Финансы и статистика, 2009. – 368 с.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Рецензируемое исследование посвящено оценке многорубежных систем противодействия робототехническим комплексам.

Методология исследования базируется на рассмотрении возможности применения детерминистических подходов, проведения натурных испытаний, использования расчетных и экспертных методов и их сравнении с новым авторским подходом к оценке эффективности исследуемых систем.

Актуальность работы автор связывает с тем, что оценка эффективности функционирования систем противодействия робототехническим комплексам является сложной научно-технической задачей, которая требует комплексного учета влияния различных факторов и многокритериальной количественной оценки формируемых решений.

Научная новизна рецензируемого исследования, по мнению рецензента, состоит в разработке авторской методики оценки соответствие отдельных рубежей и систем противодействия робототехническим комплексам, предъявляемым требованиям по показателю вероятности успешного функционирования, выявления их уязвимости и обоснованию технических решений по построению и развитию систем противодействия РТК на важных объектах.

В статье структурно выделены следующие разделы: Введение, Оценка эффективности системы противодействия РТК с применением общего логико-вероятностного метода моделирования и современных геоинформационных технологий, Библиография.

Автор формулирует цели функционирования системы противодействия

робототехническим комплексам, излагает недостатки применения общего логико-вероятностного метода моделирования для решения обозначенной в статье проблемы. Далее последовательно описывается предлагаемый порядок оценки эффективности системы противодействия робототехническим комплексам, сопровождаемый формализованным сопровождением в виде формул, приводит схемы функциональной целостности функционирования системы и оценивания пространственного распределения вероятности успешного функционирования системы противодействия робототехническим комплексам на важных объектах. Для учета топографических особенностей объекта предлагается выполнять пространственное моделирование системы противодействия робототехническим комплексам путем отображения структуры ее рубежей и построения секторов действия средств в их составе с учетом параметров размещения на местности, наличия искусственных и естественных препятствий и топологии защищаемой территории. А для оценки эффективности функционирования системы – вероятностное моделирование, обеспечивающее учет результатов пространственного моделирования и синергетического эффекта, вызванного применением в составе системы разнородных технических средств.

Библиографический список включает 11 источников – научные и учебные публикации отечественных авторов по теме статьи, на которые в тексте имеются адресные ссылки, подтверждающие наличие апелляции к оппонентам.

В качестве замечаний следует отметить следующие моменты. Во-первых, выводы по статье не оформлены в самостоятельный раздел, без чего исследование внешне выглядит незавершенным, несмотря на наличие содержательной итоговой части работы. Также представляется уместным выделить и озаглавить несколько логических частей в работе. Во-вторых, после формулы (9) не приведена расшифровка использованных в ней символов.

Статья соответствует направлению журнала «Вопросы безопасности», отражает результаты проведенного авторами исследования, содержит элементы научной новизны и практической значимости, может вызвать интерес у читателей, рекомендуется к опубликованию после некоторой доработки в соответствии с высказанными замечаниями.