

УДК: 621.396.962

**ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ СЕТИ ВИДЕОКАМЕР
С РАДИОКАНАЛОМ В БЫСТРОВОВОЗВОДИМЫХ СИСТЕМАХ
МОНИТОРИНГА И ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ**

**OPTIMAL PLACEMENT OF VIDEO CAMERAS
WITH RADIO CHANNEL NETWORK IN FAST DEVELOPMENT
FACILITIES MONITORING AND PHYSICAL PROTECTION SYSTEMS**

Канд. техн. наук И.В. Логинов, Д.Ю. Старцев, С.К. Саламатов

Ph.D. I.V. Loginov, D.Y. Starcev, S.K. Salamatov

Академия ФСО России

В статье рассмотрена проблема формирования оптимального размещения датчиков в быстровозводимых системах охраны временно охраняемых объектов. Широкое применение средств видеонаблюдения, включая видеоаналитику, для наблюдения за обстановкой, обнаружения потенциально опасных событий и объектов, а также ограниченные возможности радиосредств передачи данных показывают необходимость совершенствования механизмов оптимального размещения датчиков, в первую очередь, видеокамер на местности. Описан подход к решению проблемы на основе комбинации методов перестраиваемых сенсорных сетей и реконфигурируемых систем видеонаблюдения. Показан пример размещения, выполненный в разработанном программном средстве оптимизации, которое позволяет наносить на схему объекта варианты расположения видеокамер в соответствии с ограничениями.

Ключевые слова: система физической защиты, временно охраняемый объект, видеонаблюдение, оптимизация размещения, радио передача данных, эвристика, рубежи детектирования.

The article considers the problem of forming the optimal detectors placement in fast development protection systems for temporarily protected facilities. Wide application of video surveillance equipment, including video analytics, to monitor the situation, detect potentially dangerous events and objects, and the limited radio capability of data transmission show the need to improve for mechanisms for optimal placement of detectors, especially videocameras on the ground. An approach to solving the problem based on combination of methods of tunable detectors networks and reconfigurable video surveillance systems is described. Also in article shown an example of the placement performed in the developed optimization software tool which allows to put options for the placement of videocameras in accordance with the restrictions on the scheme of the facility.

Keywords: physical protection system, temporarily protected facility, video surveillance, location optimization, radio data transmitting, heuristic, detection border.

Введение

В настоящее время достаточно часто встает вопрос обеспечения безопасности людей или

охраны объектов при проведении временных эпизодических мероприятий на территории, не подготовленной в плане технических средств усиления охраны. Это могут быть массовые ме-

роприятия на предприятиях, учреждениях здравоохранения или образования, объектах культуры и др. Также временной охраной должны обеспечиваться места стоянки автоколонн с важным или опасным грузом, обязательной охране подлежат суда на атомной тяге во время их стоянки в портах или на ремонтных верфях.

Зачастую решение подобных задач общепринятыми техническими средствами стационарного размещения невозможно. В результате чего возникает необходимость в создании временных охраняемых зон с использованием быстровозводимых (мобильных) технических средств охраны, представляющих собой совокупность элементов системы охраны, объединенных общими ресурсами, связями, функциональной средой, целью охраны объектов и рубежей на определенной территории (пространстве), время доставки которых к месту применения, развёртывания и приведения в боевое (охранное) состояние снижено до минимума и обеспечивает быстрое создание систем и рубежей охраны важных объектов.

Исходя из требований назначения [1], быстровозводимая система охраны представляет собой открытую, динамическую, стохастическую, сложную техническую информационную систему, целью функционирования которой является временная охрана объектов и рубежей с помощью радиотехнических сигналов, которой свойственна высокая степень автоматизации, иерархичность, информативность, адаптация к внешней среде. В рабочем состоянии необходимо обеспечивать постоянное сканирование охранной зоны радиолокационными, визуальными и сейсмическими средствами.

Из существующих образцов быстровозводимых систем широкое распространение получили: Forteza PDS, производства АО «FORTEZA», длина зоны обнаружения от 10 до 200 м; Кобра, производства ЗАО «ЮМИРС-монтаж», длина зоны обнаружения от 5 до 50 м; КС-200, производства АО «Тетис КС», длина зоны обнаружения от 10 до 150 м; Радий БРК, производства ЗАО «Фирма «ЮМИРС», длина зоны обнаружения до 2000 м [2–4].

Однако наличия даже в составе современных систем высокоэффективных камер видеонаблюдения и радиоканалов недостаточно для решения задач обеспечения безопасности и охраны временных объектов. Встает очевидный вопрос

оптимального их размещения на территории охраняемого объекта, при этом должно обеспечиваться требуемое покрытие объекта (зонами и рубежами охраны) без наличия мертвых зон путем использования минимального количества камер с учетом ограничений пропускной способности технической сети радиосвязи. В связи с чем, необходимо совершенствовать механизмы оптимального двухкритериального размещения камер видеонаблюдения на объекте.

Задача построения оптимальной сети охраны временного объекта с использованием быстроразвертываемых средств детектирования на основе радиоканалов

С учетом различных требований по пропускной способности камер видеонаблюдения, действующих на основе разных физических принципов, в работе рассматривается проблема оптимального их размещения. Требования к каналу радиосвязи к другим широко применяемым видам датчиков обнаружения на 2–3 порядка меньше, чем у средств видеонаблюдения.

Формальная постановка задачи обеспечения временной зоны наблюдения объекта, не оборудованного стационарными техническими средствами охраны имеет следующий вид:

1. Исходными данными выступает план временного охраняемого объекта (рис. 1). План объекта должен быть заранее построен (с точностью не менее 0,1 м). При отсутствии плана объекта он может быть построен в ходе развёртывания с использованием средств оперативной геодезии и картографии.

2. Задачи охраны определяют зоны детектирования опасных событий. Устанавливают перечень категорий потенциально опасных объектов, а именно: транспортные средства, люди, оставленные без присмотра предметы. Для каждой категории устанавливают зоны мониторинга (наблюдение за обстановкой в районе объекта) и рубежи [5]:

- обнаружения (факт наличия потенциально опасного объекта);
- опознавания (факт правомочности нахождения);
- идентификации (для людей и транспортных средств).

3. Зоны видеонаблюдения устанавливают исходя из требований по времени реакции



Рис. 1. Исходное задание для построения оптимальной сети временного видеонаблюдения (вариант)

сил охраны. Дополнительно вводят требования к зонам обнаружения потенциально опасных событий (распознаваемых средствами видеоаналитики или оператором): пожара, агрессивного поведения, драк, движения в запрещенных зонах.

4. Множество размещаемых камер видеонаблюдения: видеокamеры с секторальным углом обзора с заданными характеристиками обнаружения потенциально опасных объектов (по каждой категории).

Множество размещаемых ретрансляторов: широкополосные ретрансляторы сигналов (Wi-Fi-подобные помехозащищенные системы), базовая (базовые) станции.

5. Ограничения задачи:

- запретные зоны размещения камер видеонаблюдения (ретрансляторов);
- зоны возможного размещения базовой станции;
- характеристики освещенности объекта (схема освещенности) при худших условиях в планируемое время проведения мероприятия.

6. Требуется найти оптимальное размещение камер видеонаблюдения и ретрансляторов сигналов, минимизирующее количество точек технических средств охраны при заданном уровне контроля охраняемой территории.

Решение задачи обеспечения временной зоны наблюдения объекта, не оборудованного стационарными техническими средствами охраны.

В качестве варианта временного охраняемого объекта рассмотрим типовое здание, со-

стоящее из нескольких корпусов с прилегающей к нему территорией, и несколькими техническими постройками, расположенными на ней (рис. 1). На схеме отмечаются зоны и рубежи обнаружения потенциально опасных событий.

Формальная постановка задачи оптимального размещения датчиков системы видеонаблюдения.

Решение двухкритериальной задачи оптимального размещения камер видеонаблюдения в условиях ограничений требует формальной постановки.

Дан временный охраняемый объект, который представляется в виде двух сущностей:

- территория охраняемого объекта, задаваемая многосвязным ортогональным многоугольником: $P = \{p_1, \dots, p_i, \dots, p_I\}$, где $p_i = \langle x_i, y_i \rangle$ — координаты вершины многоугольника, I — количество вершин многоугольника;
- множество строений (сооружений), выступающих в роли препятствий для целей видеонаблюдения и передачи широкополосного сигнала, задаваемые в виде множества многоугольников с характеристиками ослабления сигнала (определяется типом сооружения): $Z = \{z_j\}$, $z_j = \langle \{p_1, \dots, p_{j1}, \dots, p_{I(z_j)}\}, \gamma \rangle$, где z_j — препятствие, γ — коэффициент ослабления радиосигнала;

- множество зон видеонаблюдения, задаваемые многоугольниками: $V^{\text{набл,з} \in \mathbb{Z}} = \{v_i^{\text{набл,з} \in \mathbb{Z}}\}$, а об-

щая зона детектирования является объединением всех зон наблюдения, где $z \in Z = \{\text{автомобиль, человек, предмет}\}$;

– множество типов объектов: автомобиль, человек, оставленный предмет;

$$V_{\text{набл}, z \in Z} = \bigcup_i V_i^{\text{набл}, z \in Z} \quad (1)$$

– множество рубежей детектирования (по типам рубежей), задаваемые ломаными, в том числе замкнутыми: $L = \{L_{\text{детект}, z \in Z}, L_{\text{опозн}, z \in Z}, L_{\text{идентиф}, z \in Z}\} = \{l_i^{z \in \text{Кл}, z \in Z}\}$, где $L_{\text{детект}, z \in Z}$ — множество рубежей детектирования, $L_{\text{опозн}, z \in Z}$ — множество рубежей опознавания, $L_{\text{идентиф}, z \in Z}$ — множество рубежей идентификации;

– множество типов камер видеонаблюдения, задаваемые секторами, представляющими собой часть круга, ограниченную двумя радиусами и дугой: $VD = \langle \alpha, R, Az, L_{\min}, L_{\max} \rangle$, где α — угол обзора камеры видеонаблюдения, R — разрешающая способность камеры видеонаблюдения, Az — направление (азимут) камеры видеонаблюдения, L_{\min} — ближняя зона видеонаблюдения, L_{\max} — дальняя зона видеонаблюдения. Схема детектирования представлена на рис. 2, а.

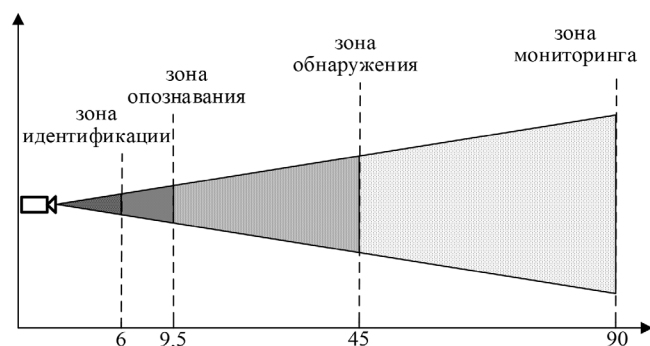
– множество камер видеонаблюдения $NDT = \{P_i, VD_i, rs_i\}$ по типам, где VD_i — тип камеры видеонаблюдения, rs_i — подключенный ретранслятор, $p_i = \langle x_i, y_i \rangle$ — координаты камеры видеонаблюдения;

– множество доступных ретрансляторов, $Rs = \{rs_i\} = \{\langle P, Az, Ps, D \rangle_i\}$; где P — мощность сигнала ретранслятора; Az — направление (азимут) ретранслятора; Ps — пропускная способность (зависимость от уровня сигнала), пример приведен на рис. 3, а; D — диаграмма направленности ретранслятора, вариант диаграммы направленности антенны представлен на рис. 2, б.

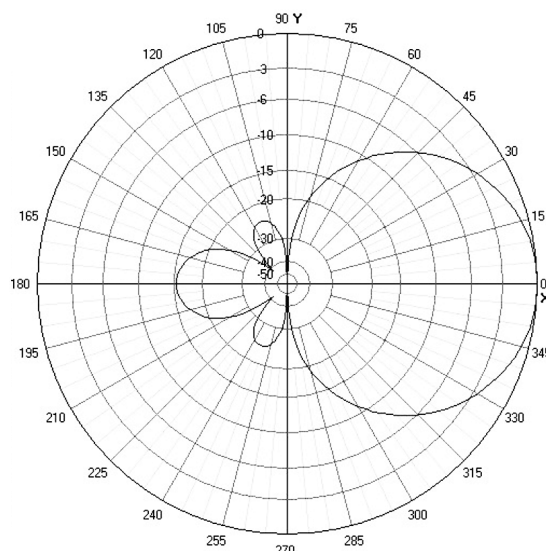
Вариант диаграммы направленности антенны ретранслятора описывается следующим выражением: $D = \langle f(x), F(\mu), \theta_3 \rangle$, где $f(x) = \cos^2(\pi \cdot x/2)$ — относительная форма распределения поля, $F(\mu) = \frac{\pi^2}{2 \cdot \mu} \left[\frac{\sin(\mu)}{\pi^2 - \mu^2} \right]$ — диаграмма направленности, θ_3 — ширина луча по уровню половинной мощности [6].

– множество запретных зон размещения камер видеонаблюдения (ретрансляторов), задаваемых многоугольниками $ZD = \{zd_j\}$, $zd_j = \langle \{p_1, \dots, p_{j_i}, \dots, p_{I(zd_j)}\} \rangle$, где zd_j — запретная зона, $p_{j_i} = \langle x_i, y_i \rangle$ — координаты вершины многоугольника, I — количество вершин многоугольника;

– зоны возможного размещения базовой станции, задаваемые многоугольниками $BS = \{bs_j\}$, $bs_j = \langle \{p_1, \dots, p_{j_i}, \dots, p_{I(bs_j)}\} \rangle$, где bs_j — препятствие, $p_{j_i} = \langle x_i, y_i \rangle$ — координата

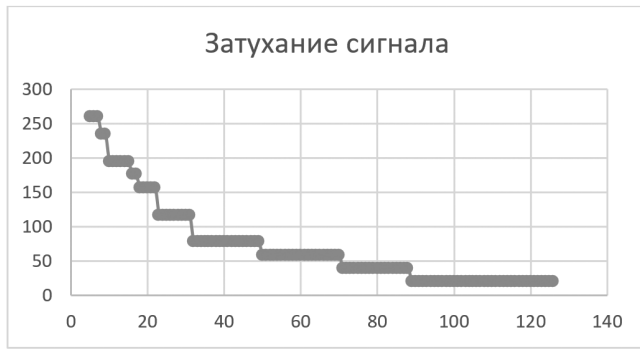


а



б

Рис. 2. Базовые характеристики типовых камер видеонаблюдения (разрешение $1920 \times 1080p$, угол обзора 72°): а — схема детектирования; б — диаграмма направленности антенны



а

Затухание сигнала Wi-Fi, dB		
Материал	2,4	5
	ГГц	ГГц
Гипсокартон	3	4
Межкомнатные стены	4	5
Деревянные двери	4	7
Кирпичная стена (до 14 см)	6	10
Бетонная стена (до 10 см)	9	13
Бетонная стена (от 25 см)	15	25
Железобетонная стена (от 25 см)	28	30
Железобетонное перекрытие	23	35
Одinoчное стекло	3	8
Двойное стекло (стеклопакет)	13	20

б

Рис. 3. Зависимость пропускной способности радиосети типа Wi-Fi от расстояния (вариант конфигурации 802.11n/HT): а — зависимость от уровня сигнала; б — зависимость от материала преграды

ты вершины многоугольника, I — количество вершин многоугольника;

– схема освещенности при худших условиях в планируемое время проведения мероприятия в виде тепловой карты освещенности.

Требуется найти подмножество детекторов и места их размещения $\langle ND^*, P_{ND^*} \rangle$:

$$V_{\text{набл,з}\in\mathbb{Z}} = \bigcup_i V_i^{\text{набл,з}\in\mathbb{Z}} \subseteq V_{\text{набл,з}\in\mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} V_j^{\text{набл,з}\in\mathbb{Z}}(d_j), \text{ (зона наблюдения);}$$

$$L_{\text{детек,з}\in\mathbb{Z}} = \bigcup_i L_i^{\text{детек,з}\in\mathbb{Z}} \subseteq L_{\text{детек,з}\in\mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{детек,з}\in\mathbb{Z}}(d_j), \text{ (рубеж детектирования);}$$

$$L_{\text{опозн,з}\in\mathbb{Z}} = \bigcup_i L_i^{\text{опозн,з}\in\mathbb{Z}} \subseteq L_{\text{опозн,з}\in\mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{опозн,з}\in\mathbb{Z}}(d_j), \text{ (рубеж опознавания);}$$

$$L_{\text{идентиф,з}\in\mathbb{Z}} = \bigcup_i L_i^{\text{идентиф,з}\in\mathbb{Z}} \subseteq L_{\text{идентиф,з}\in\mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{идентиф,з}\in\mathbb{Z}}(d_j), \text{ (рубеж идентификации);}$$

$$\forall k, k = 1 \dots N_R, \sum_{j=1}^{N_D} C_j(ND^*, rs = k) \leq C(rs_k), \text{ (пропускная способность сети).}$$

Подход к решению проблемы оптимального размещения камер видеонаблюдения для временно охраняемых объектов на основе комбинации методов перестраиваемых сенсорных сетей и реконфигурируемых систем видеонаблюдения

Для решения такого рода задач применяются методы покрытия двумерного пространства нерегулярными объектами с ограничениями. Примеры применения данных методов упоминаются в целом перечне работ. У Кузнецова В.Ю. в [7] решается

задача покрытия многосвязных ортогональных многоугольников с запретными зонами для оптимального размещения сенсоров в области мониторинга. В работе [8] рассмотрена проблема влияния оптимального размещения сети видеокамер на производительность системы видеонаблюдения в целом, и предлагается решать ее путем динамической реконфигурации с перенастройкой камер для оптимизации потребления ресурсов канала связи. Лукоянов С.В. рассматривает в статье [9] проблему выбора мест установки видеокамер, существующий опыт, выраженный в государственных стан-

Базовые характеристики видеокамер (при угле обзора 72°)

Наименование характеристик	240p	360p	480p	720p	1080p	2160p
Разрешение	426 × 240	640 × 360	854 × 480	1280 × 720	1920 × 1080	3840 × 2160
Битрейт	700 кбит/с	100 кбит/с	2000 кбит/с	4000 кбит/с	6000 кбит/с	45000 кбит/с
Дальняя граница зоны	20 м	30 м	40 м	60 м	90 м	180 м

Примечание: представленные в таблице значения дальней границы зоны наблюдения определены для идеальных условий эксплуатации камер (освещенность, погодные условия, режим наблюдения оператором и т.д.). При других условиях эксплуатации (в частности параметров алгоритмов видеоаналитики) — значения будут отличаться.

дартах РФ и рекомендациях МВД РФ. Описывает алгоритм автоматизированного проектирования системы видеонаблюдения. Определяет ключевые шаги алгоритма, входные и выходные параметры основных процедур и функций. В работе Печенкина В.В. [10] рассматривается применение средств наблюдения различных типов и их конфигурации в разработанном программном комплексе, предназначенном для минимизации «слепых зон» в сложной трёхмерной сцене. Описывается архитектура программного комплекса, принцип работы средств наблюдения, алгоритм определения слепых зон. Задача минимизации «слепых зон» сводится к решению оптимизационной задачи для специально определённого графа наблюдаемости.

Решение задачи оптимального размещения камер видеонаблюдения для временно охраняемых объектов осуществляется путем эвристического подхода на основе замощения покрытия секторами. Далее решение уточняется путем стохастической оптимизации методом условного спуска. При решении задачи используются зависимости зон наблюдения камер от их характеристик (таблица) и пропускной способности от дальности ретрансляции сигнала (рис. 3).

Характеристики величины пропускной способности в радиосети (рис. 3) зависят от наличия препятствий и диаграмм направленности приемной и передающей антенн (для примера рассмотрен стандарт Wi-Fi 802.11n/HT).

Разработанное программное средство, в соответствии с предложенным алгоритмом, позволяет наносить на схему объекта варианты расположения камер видеонаблюдения с учетом ограничений (рис. 4, а). При этом на каждом шаге

осуществляется построение схемы размещения ретрансляторов и формирование карты распределения пропускной способности. Путем последовательных эвристических итераций реализуется минимизация количества необходимых камер с одновременным нахождением возможных точек месторасположения.

Предлагаемый алгоритм нацелен на формирование запаса пропускной способности, зон и рубежей видеонаблюдения в размере 10–15 % для снижения неточностей нанесения обстановки и задач видео охраны временно охраняемого объекта.

Итоговый результат предполагает формирование списка камер видеонаблюдения и ретрансляторов, и их отображения на карте (схеме объекта) с указанием для каждого устройства места расположения, настроек основных технических характеристик. Вариант схемы размещения с указанием зоны показан на рис. 4, б.

Следует отметить, что применение подхода к построению схемы мониторинга территории временно охраняемого объекта на основе оптимального алгоритмического совместного размещения камер видеонаблюдения и ретрансляторов требует наличия технических данных по устройствам и условиям передачи сигналов, а также проведения работ по пополнению базы данных при изменении номенклатуры технических средств охраны.

Выводы

В настоящей статье обоснована необходимость применения в составе быстро возводимых систем физической защиты временно охраня-

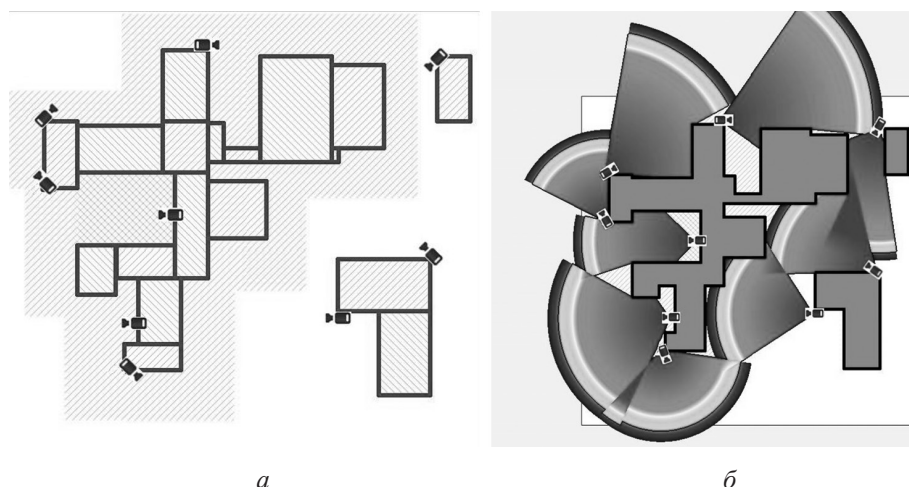


Рис. 4. Вариант размещения видеокамер на временно охраняемом объекте:
а — промежуточный, б — зоны видеонаблюдения

емых объектов средств планирования и оптимизации размещения камер видеонаблюдения. Рассмотрена постановка задачи оптимального размещения технических средств охраны для выполнения требований задач охраны на примере камер видеонаблюдения с учетом ограничений пропускной способности радиосети. Показано, что для минимизации количества применяемых быстровозводимых технических средств охраны необходимо использовать механизмы оптимального покрытия плоскости с учетом технических характеристик устройств наблюдения, сигнализации и передачи данных.

Полученные результаты могут быть использованы в задачах по обоснованию облика быстровозводимых технических средств охраны, а также организации их применения при совершенствовании системы физической защиты (СФЗ) объектов.

Литература

1. Онуфриев Н.В., Скридловский А.В. Методика проверки адекватности математической модели сигналообразования в средствах обнаружения территориально распределённых систем охраны // Радиотехника. 2013. № 2. С. 91–94.
2. Фортеза «Охранная техника» [Электронный ресурс] // URL: <https://forteza.ru> (дата обращения: 19.01.2021).
3. Urmiz Проектирование и монтаж систем охраны периметра [Электронный ресурс] — URL: <https://www.umirs-m.ru> (дата обращения: 19.01.2021).
4. Тетис Комплексные Системы [Электронный ресурс] // URL: <http://tetis-ks.ru> (дата обращения: 19.01.2021).
5. Рыжова В.А. Проектирование и исследование комплексных систем безопасности: учеб. пособие / В.А. Рыжова. — Санкт-Петербург: издательство НИУ ИТМО. 2012. 92 с.
6. М.1851-1. Математические модели диаграмм направленности антенн радиолокационных систем радиоопределения для использования при анализе помех. Введ. 2018.01 — Женева: МСЭ-R Сектор радиосвязи. 2018. 26 с. (Рекомендация Международного союза электросвязи).
7. Кузнецов В.Ю., Филиппова А.С. Задача размещения газоанализаторов при условиях покрытия зонами их действия территорий с запрещенными участками // Проблемы оптимизации и экономические приложения: 3-я Всероссийская конференция. Материалы конференции — Омск. 11–15 июля 2006. 182 с.
8. Claudio Piciarelli, Lukas Esterle, Asif Khan, Bernhard Rinner, Gian Luca Foresti. Dynamic Reconfiguration in Camera Networks // Transactions on circuits and systems for video technology, January 2015.
9. Лукоянов С.В., Белов С.В. Процедура рационального расположения камер видеонаблюдения в составе системы контроля и управления доступом // Вестник АГТУ сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012.

№ 2. Компьютерное обеспечение и вычислительная техника (Астрахань, 13 мая 2012). С. 82–87.

10. Печенкин В.В., Королёв М.С. Оптимизация размещения средств наблюдения в трёхмерной сцене с целью минимизации «слепых зон» / В.В. Печенкин, М.С. Королёв // Компьютерная оптика. 2017. Т. 41. № 2. С. 245–253.

References

1. Onufriev N., Skrzydlewski A. The method of checking the adequacy of the mathematical model of signal formation in the means of detecting geographically distributed security systems. *Radio engineering*. 2013. № 2. P. 91–94.

2. Forteza «Security equipment» [Electronic resource] // Integrated security. URL: <https://forteza.ru> (date of access: January 19, 2021).

3. Urmiz «Perimeter security system projection and installation» [Electronic resource] // Integrated security. URL: <https://www.umirs-m.ru> (date of access: January 19, 2021).

4. Tetis «Integrated systems» [Electronic resource] // Integrated security. URL: <http://tetis-ks.ru> (date of access: January 19, 2021).

5. Ryzhova V.A. Integrated security systems projection and analysis. — Saint-Petersburg. Publishing house of ITMO University. 2012. 92 p.

6. M.1851-1. Mathematical models of directional pattern for radar system antennas using in the analysis of interference. — Geneva: ITU-R Radiocommunication Sector. 2018. 26 p.

7. Kuznetsov M., Filippova A. Gas analyzers placing task under conditions of covering areas with prohibited areas with their zones of operation. *Optimization Problems and Economic Applications: 3rd All-Russian Conference. Conference materials*. 2006. 182 p.

8. Claudio Piciarelli, Lukas Esterle, Asif Khan, Bernhard Rinner, Gian Luca Foresti. Dynamic Reconfiguration in Camera Networks // *Transactions on circuits and systems for video technology*, January 2015.

9. Lukoyanov S., Belov S. Security cameras rational location procedure as a part of the access control and management system. The procedure for the rational arrangement of video surveillance cameras as part of the access control and management system. *Management, computer engineering and computer science (Astrakhan, 13 May 2012)*. P. 82–87.

10. Pechenkin V., Korolev M. Optimization of the placement of surveillance equipment in a three-dimensional scene in order to minimize «blind spots». *Computer optics*. 2017. № 2. P. 245–253.