

Источник: <https://cyberleninka.ru/article/v/model-mnogourovnevoy-radiokanalnoy-sistemy-peredachi-izvescheniy>



**А.В. Эсауленко,**  
ФГКУ УВО ГУ МВД России  
по Краснодарскому краю

## **МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОЙ РАДИОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИЗВЕЩЕНИЙ**

### **MODEL OF THE MULTILEVEL RADIO CHANNEL SYSTEM OF TRANSFER OF NOTICES**

*Разработана модель многоуровневой радиоканальной системы передачи извещений с функциями структурной и функциональной самоорганизации. Предложен критерий эффективности функционирования системы, рассматривается возможность применения теории графов для анализа работы системы.*

*The model of multilevel radio channel system of transfer of notices with functions of structural and functional self-organization is given. The criterion of efficiency of functioning of system is offered, possibility of application of the theory of counts for the analysis of work of system is considered.*

#### **Введение**

В настоящее время для обеспечения безопасности различных объектов используются радиоканальные системы. Целесообразность их применения объясняется рядом причин:

1. Простотой организации и эксплуатации.
2. Меньшими затратами на построение и эксплуатацию.
3. Отсутствием необходимости использования проводных линий связи.

Известны радиоканальные системы передачи извещений (РСПИ): «Радиосеть», «Иртыш-3Р», «Протон», «Аргон», «Струна-5» и др., отличающиеся разными функциональными возможностями, параметрами и работающие в ОВЧ и УВЧ диапазонах частот.

Однако в данных системах решены лишь отдельные вопросы обеспечения возможностей структурной и функциональной самоорганизации.

В большей степени задачи структурной и функциональной самоорганизации беспроводных сетей реализованы в многоканальных mesh-сетях, функционирующих на основе стандарта IEEE 802.11. Данные сети работают в диапазонах частот 2,4 ГГц; 5,2 ГГц и 5,7 ГГц.

Недостатком решения вопросов самоорганизации сетей является эвристический, а не теоретически обоснованный подход к распределению частотных каналов.

В связи с этим в статье предлагается модель многоуровневой РСПИ, работающей в выделенных полосах частот для сетей специального назначения, с возможностью оперативного изменения структуры и параметров системы, направленных на обеспечение качественного и надежного функционирования, помехозащищенности радиоканала.

### **Выбор критерия эффективности функционирования радиоканальной системы передачи извещений**

Радиоканальные системы передачи извещений предназначены для своевременного оповещения диспетчера о состоянии объекта контроля (ОК). Так как в РСПИ используется радиоканал, то вопросам обеспечения надежности функционирования и помехозащищенности системы необходимо уделять повышенное внимание.

В связи с этим в качестве критерия эффективности функционирования РСПИ целесообразно принять объем своевременно переданных сообщений при условии выполнения требований по надежности, защищенности и стоимости [1 — 3].

$$V_{\text{пер}} \geq V_{\text{пер}}^{\text{mp}} \begin{cases} P(t) \geq P(t)^{\text{mp}} \\ C \leq C^{\text{mp}} \\ ZC \geq ZC^{\text{mp}} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{пер}}$  и  $V_{\text{пер}}^{\text{mp}}$  — соответственно объем переданных сообщений и объем сообщений требуемый,  $P(t)$  и  $P(t)^{\text{mp}}$  — соответственно вероятность безотказной работы РСПИ и вероятность безотказной работы требуемая,  $C$  и  $C^{\text{mp}}$  — соответственно затраты на приобретение и техническое обслуживание РСПИ и затраты на приобретение и техническое обслуживание требуемые,  $ZC$  и  $ZC^{\text{mp}}$  — защищенность РСПИ и защищенность требуемая.

### **Модель многоуровневой радиоканальной системы передачи извещений**

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема многоуровневой РСПИ, применяемая в настоящее время для охраны большинства объектов.

На данном рисунке И — извещатель; РС — радиостанция; ОК — объект контроля; ПЦО — пульт централизованной охраны;  $i, j$  и  $m$  — соответственно количество РС на 1-м, 2-м и  $k$ -м уровнях объекта контроля.

Первый уровень контроля представляет собой совокупность извещателей и радиостанций РС<sub>11</sub>, РС<sub>12</sub> и РС<sub>1i</sub> и предназначен для сбора данных от конечных устройств.

Второй и  $k$ -й уровни объекта контроля образуют соответственно радиостанции РС<sub>21</sub>, РС<sub>22</sub> и РС<sub>2j</sub>, РС<sub>k1</sub>, РС<sub>k2</sub> и РС<sub>km</sub>, которые передают данные на ПЦО.

Выполнение (1) возможно в РСПИ с функциями структурной и функциональной самоорганизации [4].

Модель многоуровневой РСПИ с функциями структурной и функциональной самоорганизации предполагает построение на объекте контроля локальных сетей (ЛС) с локализацией сообщений и возможностью их перенаправления в случае возникновения отказов аппаратуры. При этом локальные сети будут представлять собой совокупность технических средств каждого уровня.

Локализация сообщений внутри ЛС позволит увеличить пропускную способность РСПИ, а возможность их перенаправления — надежность функционирования системы.

Модель многоуровневой РСПИ с функциями структурной и функциональной самоорганизации, предполагающая организацию локальных сетей, представлена на рис. 2, где  $i, j, m$ —количество ЛС на соответствующих уровнях.

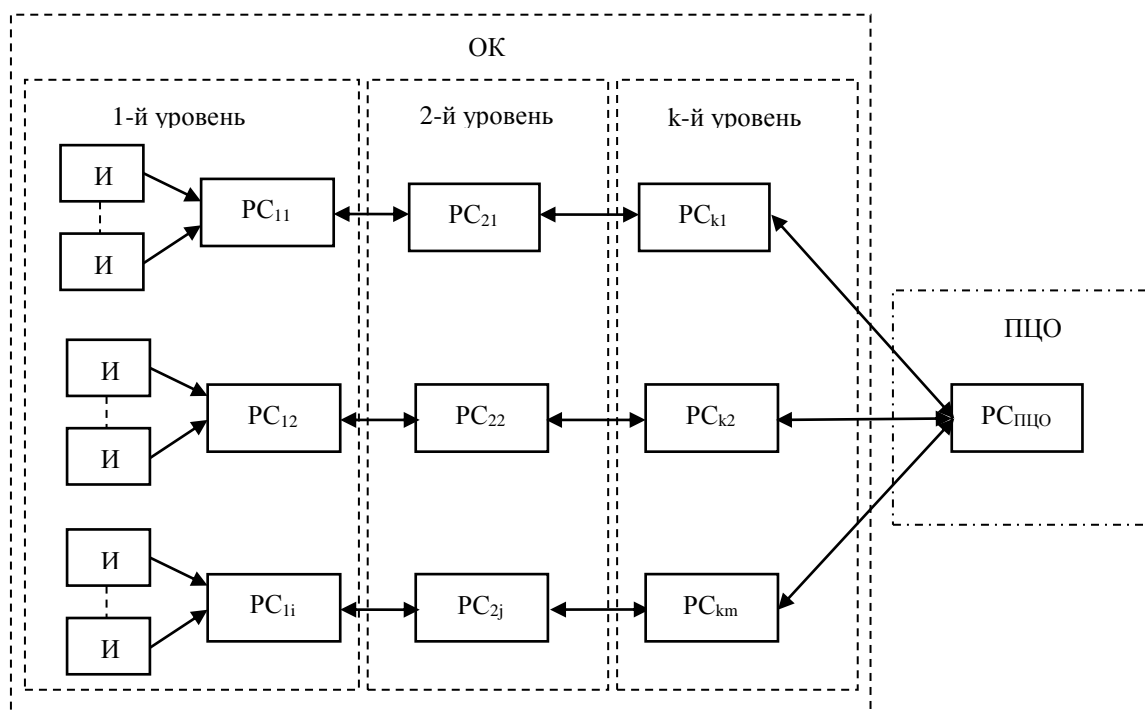


Рис. 1. Обобщенная структурная схема многоуровневой РСПИ

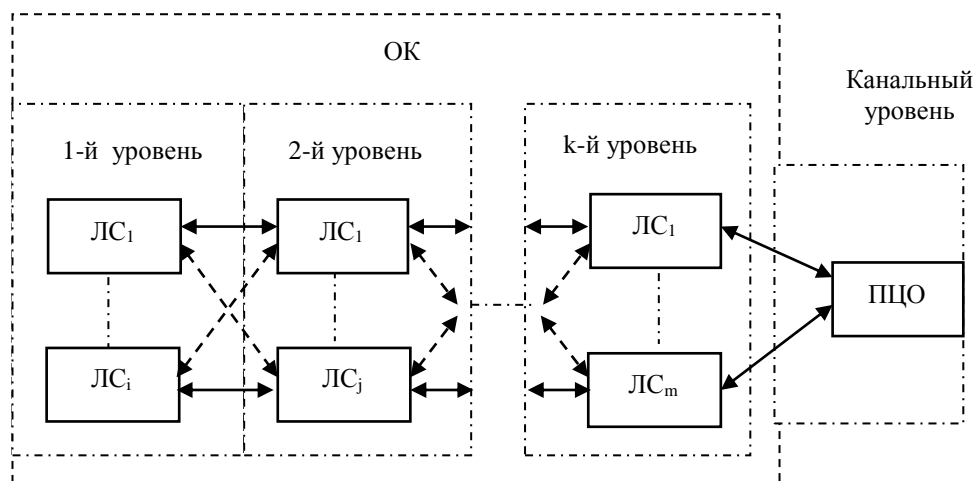


Рис. 2. Модель многоуровневой РСПИ

Для анализа работы многоуровневой РСПИ представим её структурную схему в виде ориентированного графа (рис. 3).

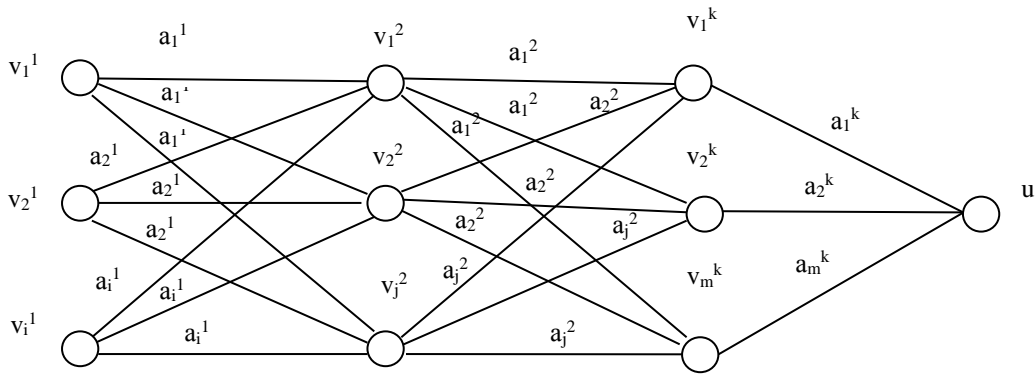


Рис. 3. Ориентированный взвешенный связный граф многоуровневой РСПИ

Представленный на рис. 2 граф можно изобразить в виде:

$$G = (V, E) \quad ,$$

$$V = \{v_1^1, \dots, v_i^1, v_1^2, \dots, v_j^2, \dots, v_1^k, \dots, v_m^k, u\}$$

$$E = \{e_{i-1}^{1-2}, \dots, e_{i-j}^{1-2}, e_{i-1}^{2-k}, \dots, e_{j-m}^{2-k}, \dots, e_1^k, \dots, e_m^k\} \quad .$$

Элементы множества  $V$  являются вершинами графа и представляют собой локальные сети, элементы множества  $E$  являются дугами,  $a_1^1, \dots, a_i^1, a_1^2, \dots, a_j^2, a_1^k, \dots, a_m^k$  — веса дуг, в качестве которых служит нагрузка.

Применение теории графов позволяет провести анализ функционирования многоуровневой РСПИ и, в частности, нахождение оптимального маршрута доставки сообщений от оконечного оборудования (извещателей) до ПЦО при выполнении (1).

Для анализа функционирования необходимо построить весовую матрицу смежности графа  $G$ . Весовой матрицей смежности графа  $G$  называется матрица  $P = (p_{ij}^j)$  размерности  $n \times n$  ( $n$  — число вершин), которая определяется по правилу:

$$p_{ij}^j = \begin{cases} a_i^j & \text{— веса дуг между вершинами } v_i \text{ и } v_j, \\ 0, & \text{если вершины } v_i \text{ и } v_j \text{ несмежны} \end{cases} \quad .$$

Весовая матрица смежности графа  $G$  модели многоуровневой РСПИ, представленной на рис. 2, будет выглядеть следующим образом:

$$P = \begin{matrix} & v_1^1 & v_2^1 & v_i^1 & v_1^2 & v_2^2 & v_j^2 & v_1^k & v_2^k & v_m^k & u \\ \begin{matrix} v_1^1 \\ v_2^1 \\ v_i^1 \\ v_1^2 \\ v_2^2 \\ v_j^2 \\ v_1^k \\ v_2^k \\ v_m^k \\ u \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & a_1^1 a_1^1 a_1^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_2^1 a_2^1 a_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_i^1 a_i^1 a_i^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_1^1 a_1^1 a_1^1 & 0 & 0 & 0 & a_1^2 a_1^2 a_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_2^1 a_2^1 a_2^1 & 0 & 0 & 0 & a_2^2 a_2^2 a_2^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_i^1 a_i^1 a_i^1 & 0 & 0 & 0 & a_j^2 a_j^2 a_j^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_1^2 a_1^2 a_1^2 & 0 & 0 & 0 & a_1^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_2^2 a_2^2 a_2^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_2^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_j^2 a_j^2 a_j^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_m^k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_1^k a_2^k a_m^k & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Оптимальный маршрут передачи сообщений между вершинами (локальными сетями) будет определяться алгоритмом

$$v_p^l \rightarrow v_m^k \rightarrow u \left\{ \begin{array}{l} l = 1, 2, \dots, > k \\ p = 1, 2, \dots, i(j) \\ a_p^l, \dots, a_m^k \neq 0 \\ a_p^l, \dots, a_m^k = \min(a_p^l, \dots, a_m^k) \end{array} \right. ,$$

где  $p, \dots, m$  — номер локальной сети (радиостанции) соответствующего уровня модели РСПИ,  $1, \dots, k$  — соответствующий уровень модели системы.

**Решение практической задачи**

В качестве примера проведем анализ функционирования трехуровневой РСПИ с функциями структурной и функциональной самоорганизации, обобщенная структурная схема которой представлена на рис. 4.

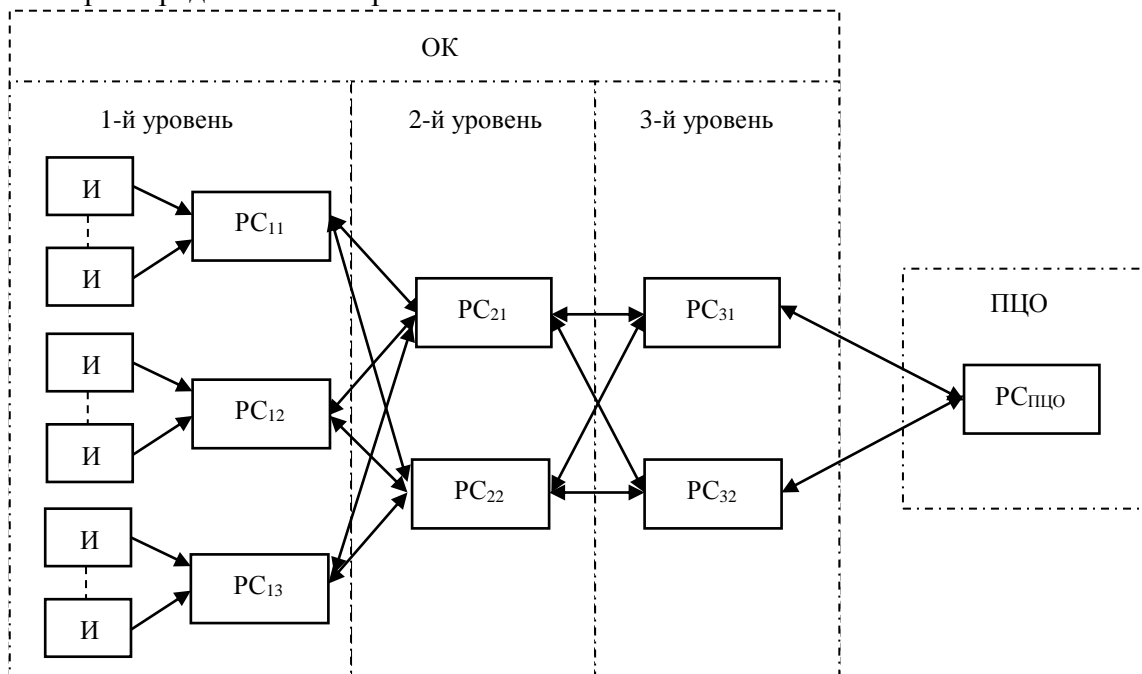


Рис. 4. Обобщенная структурная схема трехуровневой РСПИ

Ориентированный взвешенный связный граф трехуровневой РСПИ представлен на рис. 5.

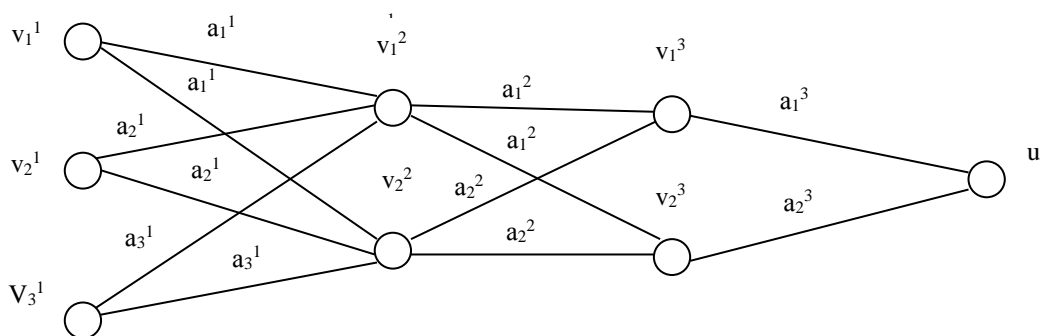


Рис.5. Ориентированный взвешенный связный граф трехуровневой РСПИ

Весовая матрица смежности графа трехуровневой РСПИ будет иметь вид

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & a_1^1 & a_1^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_2^1 & a_2^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_3^1 & a_3^1 & 0 & 0 & 0 \\ a_1^1 & a_2^1 & a_3^1 & 0 & 0 & a_1^2 & a_1^2 & 0 \\ a_1^1 & a_2^2 & a_3^1 & 0 & 0 & a_2^2 & a_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_1^2 & a_2^2 & 0 & 0 & a_1^3 \\ 0 & 0 & 0 & a_2^2 & a_2^2 & 0 & 0 & a_2^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_1^3 & a_2^3 & 0 \end{pmatrix}.$$

Пусть веса дуг графа, в качестве которых служит нагрузка, имеют следующие значения:

$$a_1^1=2, a_2^1=3, a_3^1=1, a_1^2=5, a_2^2=3, a_1^3=4, a_2^3=2.$$

Тогда матрица смежности графа трехуровневой РСПИ примет вид

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 & 5 & 5 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 3 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Анализируя данную матрицу, можно определить значение наименьшей нагрузки между двумя вершинами  $i$ , соответственно, на основании этого разработать алгоритм функционирования трехуровневой РСПИ с функциями самоорганизации. Например, для передачи данных от вершины  $v_1^1$  (радиостанции РС<sub>11</sub> локальной сети ЛС<sub>1</sub>) до вершины  $u$  (радиостанции РС<sub>ПЦО</sub>) оптимальным маршрутом с нагрузкой, равной 9, будет следующий:

$$v_1^1 \rightarrow v_1^2 \rightarrow v_2^3 \rightarrow u.$$

### Выводы

Построение многоуровневых РСПИ с функциями структурной и функциональной самоорганизации является важной научно-практической задачей.

Модель многоуровневой РСПИ с функциями структурной и функциональной самоорганизации, отличающейся повышенной надежностью функционирования, пред-

полагает построение на объекте контроля локальных сетей с локализацией сообщений и возможностью их перенаправления в случае возникновения отказов аппаратуры.

Применение теории графов для анализа функционирования РСПИ позволит:

1. Определить оптимальный маршрут доставки сообщений от оконечного оборудования (извещателей) до ПЦО, анализируя кратчайший или критический путь на графе.

2. Провести оптимальное присвоение частот работы радиостанциям локальных сетей РСПИ всех уровней при частотно-территориальном планировании, используя знаковый граф.

3. Проводить контроль достоверности передачи сообщений по радиоканалу на всех уровнях РСПИ в режиме реального времени, анализируя максимальный поток в сети.

4. Определить резервные маршруты следования сообщений в случае выхода из строя аппаратуры.

5. Обеспечить помехозащищенность РСПИ при возникновении помех: смену частот работы радиостанций, определение альтернативных маршрутов следования, организацию ведомственного радиотехнического контроля выделенного диапазона частот работы РСПИ.

Таким образом, перспективным направлением развития РСПИ является построение систем с функциями структурной и функциональной самоорганизации, отличающихся надежностью функционирования, помехозащищенностью и являющихся частью общей системы радиосвязи специального назначения, в которой предусмотрены механизмы радиотехнического контроля [5—7].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53704-2009. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования.

2. Единые технические требования к системам централизованного наблюдения, предназначенным для применения в подразделениях вневедомственной охраны: распоряжение ГУВО МВД России. — М., 2012.

3. Эсауленко А.В. Обеспечение заданной надежности радиоканала в системах безопасности // Вестник Воронежского института МВД России. — 2013. — №4. — С.259—262.

4. Бабкин А.Н., Эсауленко А.В. Эффективность функционирования радиоканала в системах безопасности // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — №4. — С.90—92.

5. Бабкин А.Н., Эсауленко А.В. Способ контроля радиоканала // Вестник Воронежского института МВД России. — 2013. — №1. — С.8—13.

6. Об организации взаимодействия заинтересованных органов исполнительной власти в ходе осуществления радио-, радиотехнического контроля и мониторинга радиочастотного спектра на территории Российской Федерации: приказ МВД России от 30 июня 2010 г. № 472. — М., 2010.

7. Об утверждении структуры интегрированной мультисервисной телекоммуникационной системы органов внутренних дел: приказ МВД России от 26 сентября 2006 г. № 763. — М., 2006.

## REFERENCES

1. GOST R 53704-2009. Sistemy bezopasnosti kompleksnyie i integrirovannyye. Obshchie tehnikheskie trebovaniya.
2. Edinyie tehnikheskie trebovaniya k sistemam tsentralizovannogo nablyudeniya, prednaznachennyim dlya primeneniya v podrazdeleniyah vnevedomstvennoy ohrany: rasporyazhenie GUVU MVD Rossii. — M., 2012.
3. Esaulenko A.V. Obespechenie zadannoy nadezhnosti radiokanala v sistemah bezopasnosti // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2013. — #4. — S.259—262.
4. Babkin A.N., Esaulenko A.V. Effektivnost funktsionirovaniya radiokanala v sistemah bezopasnosti // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2012. — #4. — S.90—92.
5. Babkin A.N, Esaulenko A.V.. Sposob kontrolya radiokanala // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2013. — #1. — S.8— 13.
6. Ob organizatsii vzaimodeystviya zainteresovannyih organov ispolnitelnoy vlasti v hode osuschestvleniya radio-, radiotekhnicheskogo kontrolya i monitoringa radiochastotnogo spektra na territorii Rossiyskoy Federatsii: prikaz MVD Rossii ot 30 iyunya 2010 g. # 472 — M., 2010.
7. Ob utverzhdenii strukturyi integrirovannoy multiservisnoy telekommunikatsionnoy sistemyi organov vnutrennih del: prikaz MVD Rossii ot 26 sentyabrya 2006 g. # 763. — M., 2006.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Эсауленко Александр Владимирович. Начальник ФГКУ УВО ГУ МВД России по Краснодарскому краю.  
Россия, 350002, г. Краснодар, ул. Новокузнецкая, 125. Тел. (861) 255-75-93.

Esaulenko Alexander Vladimirovich. The head of FGKU UVO GU of the Ministry of the Interior of Russia on to Krasnodar territory.  
Work address: Russia, 350002, Krasnodar, Novokuznechnaya St., 125. Tel. (861) 255-75-93.

**Ключевые слова:** радиоканальная система передачи извещений; радиоканал; локальная сеть; радиостанция; граф; матрица.

**Key words:** radio channel system of transfer of notices; radio channel; local network; radio station; graph; matrix.

УДК 621.396.62