

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.38.3.023](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.38.3.023)

Методика оценки текущего состояния инженерной телекоммуникационной инфраструктуры сегмента сети связи специального назначения

А.В. Попов, С.В. Канавин✉, И.В. Гилев, Н.С. Хохлов, В.П. Удалов

Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация
sergejj-kanavin@rambler.ru✉

Резюме. В статье предложена методика оценки текущего состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры сегмента сети связи специального назначения и проведена ее апробация на примере регионального сегмента интегрированной мультисервисной телекоммуникационной системы МВД России. Под региональным сегментом сети связи специального назначения понимается физическая или логическая зона, в которой предоставление доступа к ресурсам или отказ в данном доступе регулируются правилами доступа и механизмами контроля. Данная зона имеет четкую границу с другими сегментами. С учетом необходимости поддержания работоспособности состояния регионального сегмента сети связи специального назначения актуальной является задача оценки текущего состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры. В работе предложена последовательность действий, направленных на проведение аудита коммуникационных узлов всех уровней регионального сегмента, в том числе инженерной инфраструктуры, телекоммуникационного оборудования, каналов передачи данных. В качестве математического аппарата используются математические методы обработки экспертных оценок, сопряженных с определением значимости отдельных составляющих инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры. Применяется метод анализа иерархий с привлечением групп экспертов для определения коэффициентов значимости факторов, учитываемых при расчете интегральных оценочных функций регионального сегмента сети связи специального назначения.

Ключевые слова: аудит регионального сегмента сети связи, каналы передачи, мониторинг телекоммуникационного оборудования, методика оценки, экспертные оценки, телекоммуникационная и инженерная инфраструктура.

Для цитирования: Попов А.В., Канавин С.В., Гилев И.В., Хохлов Н.С., Удалов В.П. Методика оценки текущего состояния инженерной телекоммуникационной инфраструктуры сегмента сети связи специального назначения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1234> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.023

Methodology for assessing the current state of the engineering telecommunications infrastructure of a special-purpose communications network segment

A.V. Popov, S.V. Kanavin✉, I.V. Gilev, N.S. Khokhlov, V.P. Udalov

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation
sergejj-kanavin@rambler.ru✉

Abstract. The article proposes a methodology for assessing the current state of the engineering and telecommunications infrastructure of a special-purpose communication network segment and tested it by the example of the regional segment of the integrated multiservice telecommunications system of the Ministry of Internal Affairs of Russia. A regional segment of a special-purpose communication network

is defined as a physical or logical zone in which granting access to resources or the denial of this access are regulated by access rules and control mechanisms. Such zone has a clear boundary with other segments. Taking into consideration the need to maintain state operability of the regional segment of a special-purpose communication network, the task of assessing the current state of the engineering and telecommunications infrastructure is relevant. The paper proposes a sequence of actions aimed at conducting an audit of communication nodes at all levels of the regional segment including engineering infrastructure, telecommunications equipment, data transmission channels. As a mathematical apparatus, mathematical methods for processing expert assessments, associated with determining the significance of individual components of engineering and telecommunications infrastructure, are used. The method of hierarchy analysis with the involvement of expert groups is applied to define the significance coefficients of the factors accounted for when calculating the integral evaluation functions of the regional segment of a special-purpose communication network.

Keywords: audit of the regional segment of a communication network, transmission channels, monitoring of telecommunications equipment, assessment methodology, expert assessments, telecommunications and engineering infrastructure.

For citation: Popov A.V., Kanavin S.V., Gilev I.V., Khokhlov N.S., Udalov V.P. Methodology for assessing the current state of the engineering telecommunications infrastructure of a special-purpose communications network segment. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(3). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1234> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.023 (In Russ.).

Введение

В целях исследования состава, состояния и действующих нагрузок, оценки текущего состояния коммутационной инфраструктуры регионального сегмента интегрированной мультисервисной телекоммуникационной системы МВД России (ИМТС МВД России) может проводиться аудит. Задачами аудита является исследование коммуникационных узлов всех уровней регионального сегмента ИМТС МВД России, в том числе инженерной инфраструктуры, телекоммуникационного оборудования, каналов передачи данных, методов мониторинга телекоммуникационного оборудования и каналов передачи данных. ИМТС МВД России является частью единой информационно-телекоммуникационной системы органов внутренних дел. Структура ИМТС МВД России представляет собой совокупность коммутационных узлов и каналов (трактов), арендуемых у операторов связи. ИМТС МВД России предназначена для создания универсальной телекоммуникационной транспортной среды, позволяющей обеспечить предоставление комплекса услуг связи подразделениям системы МВД России [1]. Для комплексного исследования ИМТС МВД России является целесообразным ее сегментирование на отдельные составляющие и рассмотрение каждого сегмента в отдельности.

Органы внутренних дел в пределах своих компетенций решают широкий спектр задач, связанных с охраной общественного порядка и обеспечением общественной безопасности [2]. Для организации управления подразделений, координации их действий с учетом сложившейся оперативной обстановки является необходимым использование средств и систем связи, функционирующих для обеспечения деятельности органов внутренних дел. В соответствии с Федеральным законом № 126 «О связи» такие сети носят название сетей связи специального назначения (СС СН) [3, 4, 5]. В статье региональный сегмент ИМТС МВД России примем за региональный сегмент СС СН. Под региональным сегментом сети связи специального назначения понимается физическая или логическая зона, в которой предоставление доступа к ресурсам или отказ в данном доступе регулируются правилами доступа и механизмами контроля. Данная зона имеет четкую границу с другими сегментами. В качестве границ сегмента

выступают такие классифицирующие признаки СС СН, как назначение, характер оборудования, вид коммутации абонентов и передаваемых сообщений, тип линий связи, охватываемая территория и др. В настоящей работе в качестве такой границы будет выступать территориальный признак и, наряду с этим, рассматриваться отдельный региональный сегмент СС СН.

Исследование регионального сегмента СС СН сопряжено с оценкой технического состояния его инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры (далее – техническое состояние) и определением основных элементов, входящих в его состав. Как правило, основным элементом является центральный узел связи, расположенный в головном здании ведомственной организации по региону. Далее по иерархии в каждом местном территориальном органе размещаются локальные узлы связи, взаимодействие между которыми осуществляется через главный узел. Таким образом, техническое состояние регионального сегмента СС СН будет зависеть от технического состояния каждого локального узла связи (далее – объекты), размещенного в данном регионе.

В соответствии с положениями СН 512-78 – «Технические требования к зданиям и помещениям для установки средств вычислительной техники», в качестве обязательных требований к специализированным помещениям относятся: требования по вентиляции и кондиционированию воздуха; специальные требования по пожарной безопасности; требования по электроснабжению, электротехническим устройствам и заземлению. Исследование инженерной инфраструктуры сводится к определению наличия или отсутствия выделенного серверного помещения, оценке состояния помещения, оценке наличия либо отсутствия системы кондиционирования воздуха, заземления и резервного источника питания. Элементы оценки наличия или отсутствия дополнительных систем аварийного электроснабжения, принудительной вентиляции, контроля доступа, охранно-пожарной сигнализации и другие могут быть введены дополнительно.

Инженерная инфраструктура характеризует соответствие серверных помещений требованиям, предъявляемым к ним. Телекоммуникационная инфраструктура характеризует состояние каналообразующего оборудования и каналов связи.

Надлежащее состояние инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры является одной из основных составляющих надежного функционирования сегмента СС СН. С учетом необходимости поддержания работоспособности состояния регионального сегмента СС СН актуальной является задача оценки текущего состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры.

Материалы и предложения по разработке методики оценки текущего состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры сегмента сети связи специального назначения

Наряду с актуальностью и высокой значимостью исследуемой темы возникает необходимость разработки методики, позволяющей оценить техническое состояние регионального сегмента СС СН в настоящий момент времени, выявить объекты и их количество, где техническое состояние не является удовлетворительным, провести оценку текущего состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры. Для подготовки статьи были проанализированы публикации авторов по вопросам оптимизации характеристик распределенных телекоммуникационных систем [7], совершенствования системы мониторинга телекоммуникационных сетей региона [8], идентификации технического состояния устройств информационно-телекоммуникационных сетей подсистемой сетевого мониторинга [9].

В работе разработана методика оценки состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры регионального сегмента СС СН (далее – методика) с привлечением групп экспертов.

Методика будет включать следующие пункты:

1. Сбор и обработку статистической информации о техническом состоянии серверных помещений, а также составе и технических характеристиках сетевого оборудования и каналов связи. Мониторинг информационно-телекоммуникационных сетей можно проводить с помощью программно-аппаратных решений на основе графо-аналитических подходов [10], применения нейронных сетей [11], применения алгоритма Косарайю [12] и т. д.

1.1. Формирование статистической информационной таблицы, включающей в себя:

- наименование объекта, входящего в сегмент, а также его адрес;
- информацию по серверному помещению (наличие выделенного серверного помещения (да/нет), состояние помещения (да/нет), наличие системы кондиционирования воздуха и вентиляции (да/нет), наличие линии заземления (да/нет), наличие резервного источника питания (да/нет), наличие системы контроля и управления доступом (да/нет), наличие охранно-пожарной сигнализации (да/нет), наличие системы аварийного энергоснабжения (да/нет));
- описание оборудования на объекте (тип оборудования (коммутатор, маршрутизатор, модем, АТС, ИБП, криптомаршрутизатор), марка, модель оборудования, год выпуска, количество, состояние (исправно/неисправно), требует замены (да/нет), наличие 30-процентного резерва оборудования (да/нет));
- количество абонентов сети передачи данных;
- канал передачи данных (тип канала передачи данных, принадлежность канала передачи данных, (арендованный / собственная линия связи), пропускная способность канала передачи данных (Мбит/с), наличие резерва каналов (да/нет), наличие резерва технологической IP-адресации (да/нет), наличие резерва пользовательской IP-адресации (да/нет), Наличие резерва портов сетевого оборудования (да/нет), отсутствие необходимости внедрения IP-адресации IPv6 (да/нет));
- загрузка канала передачи данных (пиковая загруженность канала передачи данных в период времени с 9.00 до 18.00 (Мбит/с), потребность в расширении канала передачи данных (да/нет)).

1.2. Аккумуляирование, обработку и визуализацию статистической информации о наличии и технической оснащённости серверных помещений в региональном сегменте СС СН.

1.3. Анализ статистических данных о загрузке каналов передачи данных, их типах, принадлежности, пропускной способности и наличии необходимых инфраструктурных резервов.

1.4. Аккумуляирование, обработку и визуализацию статистической информации о составе, технических характеристиках и исправности сетевого оборудования, используемого в региональном сегменте СС СН.

2. Разработку интегрального критерия, позволяющего оценить техническое состояние и учитывающего все особенности инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры регионального сегмента СС СН с привлечением групп экспертов.

2.1. Синтез функций, позволяющих проанализировать и осуществить оценку технического состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры объектов, входящих в состав регионального сегмента СС СН.

2.2. Синтез интегральной функции, позволяющей оценить техническое состояние регионального сегмента СС СН с учетом всех особенностей инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры.

2.3. Разработку критериев, характеризующих степень соответствия технического состояния регионального сегмента СС СН предъявляемым к нему требованиям.

3. Проведение экспертного опроса для определения весовых коэффициентов значимости оценочных факторов.

4. Расчет значений оценочных функций для каждого объекта, а также расчет интегральной функции.

5. Проверка соответствия полученных значений оценочных функций установленным критериям.

6. Формулирование выводов о техническом состоянии регионального сегмента СС СН.

Апробация методики

В соответствии с п. 1 методики, представленной в разделе 3, практическими сотрудниками подразделений информационных технологий, связи и защиты информации был произведен анализ состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры отдельных объектов, входящих в состав регионального сегмента СС СН. На основании этих данных была сформирована статистическая информационная таблица, которая является основной составляющей при реализации комплекса мероприятий по анализу и оценке технического состояния регионального сегмента СС СН.

Разработка интегрального критерия

В качестве функции, позволяющей оценить техническое состояние объекта, предложим аддитивную функцию $\Psi_i(K, \alpha)$, где i – идентификатор объекта; $K = \{k(\varphi_1), k(\varphi_2), \dots, k(\varphi_n)\}$ – множество коэффициентов значимости факторов φ_k , характеризующих техническое состояние i -го объекта; α – коэффициент наличия [6].

На основе статистической информационной таблицы, составленной согласно п. 1 методики, представим полный перечень факторов, подлежащих рассмотрению при комплексной оценке сегментов СС СН:

1) факторы $\varphi_1 - \varphi_8$ характеризуют техническое состояние серверного помещения: φ_1 – наличие выделенного серверного помещения; φ_2 – серверное помещение не требует ремонта; φ_3 – наличие системы кондиционирования воздуха и вентиляции; φ_4 – наличие линии заземления; φ_5 – наличие резервного источника питания; φ_6 – наличие системы контроля и управления доступом; φ_7 – наличие охранно-пожарной сигнализации; φ_8 – наличие системы аварийного электроснабжения.

2) факторы $\varphi_9 - \varphi_{21}$ характеризуют техническое состояние оборудования, используемого на i -м объекте: $\varphi_9 - \varphi_{14}$ – наработка более чем 70 % оборудования не превышает срок эксплуатации (отдельно по коммутаторам, маршрутизаторам, криптомаршрутизаторам, АТС, ИБП, модемам); $\varphi_{15} - \varphi_{20}$ – исправно более 95 % оборудования (отдельно по коммутаторам, маршрутизаторам, криптомаршрутизаторам, АТС, ИБП, модемам); φ_{21} – наличие 30-процентного резерва оборудования.

3) факторы φ_{22} - φ_{27} характеризуют особенности каналов связи: φ_{22} – отсутствие потребности в расширении канала связи; φ_{23} – наличие резервных каналов; φ_{24} – наличие резерва технологической IP-адресации; φ_{25} – наличие резерва пользовательской IP-адресации; φ_{26} – наличие резерва портов сетевого оборудования; φ_{27} – отсутствие необходимости внедрения IP-адресации IPv6.

После определения множества показателей необходимо определить коэффициенты $k(\varphi_i)$. Для определения коэффициентов предлагается использовать метод анализа иерархий, предложенный Томасом Саати [13, 14].

Реализация метода связана с построением матриц попарных сравнений $M_k = (m_{ij})_{n \times n}$ для каждой из трех групп факторов (n – количество факторов в группе), в которых сопоставлению пар факторов φ_i будет соответствовать одно из значений фундаментальной шкалы:

- 1 – равенство факторов;
- 3 (1/3) – один из факторов немного лучше (хуже);
- 5 (1/5) – один из факторов лучше (хуже) другого.
- 7 (1/7) – один из факторов значительно лучше (хуже) другого.
- 9 (1/9) – один из факторов принципиально лучше (хуже) другого.

Также при необходимости более строгой детализации при определении соотношений между значимостями факторов могут быть использованы значения $m_{ij} = v$ ($1/v$), $v = 2, 4, \dots, 10$.

Составление матрицы осуществляется по правилу: m_{ij} – отношение фактора i к фактору j ; $m_{ii} = 1$ (для заполнения матриц могут быть привлечены эксперты, обладающие компетентностью в области организации и эксплуатации защищенных систем связи).

После составления матриц необходимо определить их собственные значения λ_k с помощью пакета Mathcad по формуле:

$$\lambda_k = \text{eigenvals}(M_k). \quad (1)$$

Построить собственные векторы матриц и осуществить их нормировку с использованием функции $\text{eigenvec}(M_k, \lambda_k)$. Таким образом, коэффициенты значимости факторов будут рассчитаны по следующей формуле:

$$\begin{pmatrix} k(\varphi_m) \\ k(\varphi_{m+1}) \\ \dots \\ k(\varphi_n) \end{pmatrix} = \frac{\text{eigenvec}(M_k, \lambda_k)}{\sum_{i=1}^n \omega_{ik}}, \quad (2)$$

где ω_{ik} – значения собственного вектора k -й матрицы, являющиеся результатом выполнения функции $\text{eigenvec}(M_k, \lambda_k)$; n – объем группы факторов.

Таким образом, функции оценки технического состояния площадки по первой, второй и третьей группе факторов соответственно могут быть представлены в следующем виде:

$$\Psi_i(K_c, \alpha) = \sum_{m=1}^8 \alpha_m \cdot k(\varphi_m); \quad (3)$$

$$\Psi_i(K_o, \alpha) = \sum_{m=9}^{21} \alpha_m \cdot k(\varphi_m); \quad (4)$$

$$\Psi_i(K_k, \alpha) = \sum_{m=22}^{27} \alpha_m \cdot k(\varphi_m), \quad (5)$$

где α_m – коэффициент наличия, принимающий значения 0 (если m -й фактор отсутствует на площадке) или 1 (если m -й фактор присутствует на площадке).

Общая функция оценки технического состояния i -го объекта может быть представлена в следующем виде:

$$\Psi_i(K, \alpha) = k_c \cdot \sum_{m=1}^8 \alpha_m \cdot k(\varphi_m) + k_o \cdot \sum_{m=9}^{21} \alpha_m \cdot k(\varphi_m) + k_k \cdot \sum_{m=22}^{27} \alpha_m \cdot k(\varphi_m), \quad (6)$$

где k_c, k_o, k_k – коэффициенты значимости первой, второй и третьей группы факторов соответственно относительно друг друга. Определяются аналогичным образом с помощью матрицы попарных сравнений групп факторов между собой.

При необходимости определения степени соответствия технического состояния конкретного объекта предъявляемым требованиям значение функции может быть переведено в проценты.

Интегральная функция оценки технического состояния регионального сегмента СС СН является аддитивной функцией и включает в себя функции $\Psi_i(K, \alpha)$ всех объектов, находящихся в ведомстве главного территориального органа МВД России, на базе которого находится главный узел связи регионального сегмента СС СН. Таким образом, интегральная функция $\Psi(K, \alpha)$ задается в следующем виде:

$$\Psi(K, \alpha) = \frac{\sum_{i=1}^N \Psi_i(K, \alpha)}{N} \cdot 100 \% ; \quad (7)$$

где N – число объектов, входящих в состав регионального сегмента.

$$\Psi(K, \alpha) = \frac{\sum_{i=1}^N (k_c \cdot \sum_{m=1}^8 \alpha_{m_i} \cdot k_i(\varphi_m) + k_o \cdot \sum_{m=9}^{21} \alpha_{m_i} \cdot k_i(\varphi_m) + k_k \cdot \sum_{m=22}^{27} \alpha_{m_i} \cdot k_i(\varphi_m))}{N} \cdot 100 \% ,$$

Критерии оценки технического состояния регионального сегмента СС СН складываются из общей технической оснащенности объектов необходимым оборудованием, выполнения необходимых функций по предоставлению услуг связи с соблюдением требований по обеспечению надежности, надлежащего качества и скорости передаваемой информации.

В общем виде совокупность критериев для регионального сегмента определим системой:

$$\begin{cases} \Psi(K, \alpha) > 60 \% ; \\ \Psi_i(K, \alpha) \forall i > 65 \% ; \\ \Psi_1(K, \alpha) > 80 \% , \end{cases} \quad (8)$$

где $i = 1$ – идентификатор площадки, являющейся главным узлом связи регионального сегмента СС СН.

Результаты

В соответствии с п. 3 методики для определения весовых коэффициентов значимости оценочных факторов были привлечены эксперты, являющиеся специалистами в области информационных технологий, связи и защиты информации. Экспертам предлагалось попарно сравнить между собой факторы и определить соотношения их значимостей согласно фундаментальной шкале.

Полученные экспертами матрицы попарных сравнений были оценены на предмет согласованности друг с другом с использованием методов корреляционного анализа, вследствие чего были определены ядра с наибольшей согласованностью мнений [15]. После этого лицом, ответственным за принятие решений, были определены итоговые значения, полученные в ходе экспертного опроса.

Таким образом, в первую очередь была составлена отдельная матрица попарных сравнений для определения коэффициентов значимости групп относительно друг друга (k_c, k_o, k_k) (Таблица 1), после чего составлялись матрицы попарных сравнений факторов для каждой из трех групп (Таблица 2-4).

Таблица 1 – Результаты попарного сравнения групп факторов
Table 1 – Results of pairwise comparison of factor groups

	Техническое состояние серверного помещения	Техническое состояние оборудования	Особенности каналов связи
Техническое состояние серверного помещения	1	1/2	1/2
Техническое состояние оборудования	2	1	1
Особенности каналов связи	2	1	1

В соответствии с предложенной методикой были рассчитаны коэффициенты: $k_c = 0,2$; $k_o = 0,4$; $k_k = 0,4$.

Таблица 2 – Результаты попарного сравнения факторов первой группы
Table 2 – Results of pairwise comparison of the factors of the first group

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8
φ_1	1	5	5	7	1	7	5	3
φ_2	1/5	1	1/9	1/3	1/9	1	1/5	1/5
φ_3	1/5	9	1	3	1/3	3	1	3
φ_4	3	3	1/3	1	1/7	1	1/5	1/3
φ_5	1	9	3	7	1	7	3	7

Таблица 2 (продолжение)
Table 2 (extended)

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8
φ_6	1/7	1	3	1	1/7	1	1/5	1/3
φ_7	1/5	5	1	5	5	5	1	5
φ_8	1/3	5	1/3	3	1/7	3	1/5	1

Таблица 3 – Результаты попарного сравнения факторов второй группы
Table 3 – Results of pairwise comparison of the factors of the second group

	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	φ_{13}	φ_{14}	φ_{15}	φ_{16}	φ_{17}	φ_{18}	φ_{19}	φ_{20}	φ_{21}
φ_9	1	1/7	1/5	1/7	1/3	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5
φ_{10}	7	1	3	1	5	5	1/3	1/9	1/7	1/9	1/7	1/3	1/3
φ_{11}	5	1/3	1	1/5	1/3	1	1/3	1/7	1/5	1/7	1/5	1/7	1/5
φ_{12}	7	1	5	1	1/3	1	1/3	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3
φ_{13}	3	1/5	3	3	1	3	1/5	1/7	1/5	1/7	1/7	1/5	1/5
φ_{14}	7	1/5	1	1	1/3	1	1/3	1/7	1/5	1/7	1/5	1/7	1/5
φ_{15}	7	3	3	3	5	3	1	1/5	1/3	1/5	1/5	1/3	1
φ_{16}	9	9	7	7	7	7	5	1	3	1	5	3	5
φ_{17}	9	7	5	5	5	5	3	1/5	1	1/5	1/5	1	1
φ_{18}	9	9	7	7	7	7	5	1	5	1	7	3	5
φ_{19}	9	7	5	5	7	5	5	1/5	5	1/7	1	1/3	1
φ_{20}	9	3	7	5	5	7	3	1/3	1	1/3	3	1	3
φ_{21}	5	3	5	3	5	5	1	1/5	1	1/5	1	1/3	1

Таблица 4 – Результаты попарного сравнения факторов третьей группы
Table 4 – Results of pairwise comparison of the factors of the third group

	φ_{22}	φ_{23}	φ_{24}	φ_{25}	φ_{26}	φ_{27}
φ_{22}	1	5	5	3	5	3
φ_{23}	1/5	1	1	1	3	3
φ_{24}	1/5	1	1	1	5	5
φ_{25}	1	1	1	1	5	3
φ_{26}	1/5	1/3	1/5	1/5	1	1/3
φ_{27}	1/3	1/3	1/5	1/3	3	1

В результате выполнения расчета, согласно разделу 4.1, были получены коэффициенты значимости факторов $k(\varphi_i) \forall i$ (см. Таблица 5).

Таблица 5 – Значения весовых коэффициентов факторов
Table 5 – Values of factor weighting coefficients

Техническое состояние серверного помещения	Техническое состояние оборудования	Особенности каналов связи
$k(\varphi_1) = 0,256$	$k(\varphi_9) = 0,009$	$k(\varphi_{22}) = 0,416$
$k(\varphi_2) = 0,019$	$k(\varphi_{10}) = 0,036$	$k(\varphi_{23}) = 0,129$
$k(\varphi_3) = 0,094$	$k(\varphi_{11}) = 0,017$	$k(\varphi_{24}) = 0,16$
$k(\varphi_4) = 0,087$	$k(\varphi_{12}) = 0,026$	$k(\varphi_{25}) = 0,189$
$k(\varphi_5) = 0,233$	$k(\varphi_{13}) = 0,025$	$k(\varphi_{26}) = 0,038$
$k(\varphi_6) = 0,045$	$k(\varphi_{14}) = 0,019$	$k(\varphi_{27}) = 0,067$
$k(\varphi_7) = 0,206$	$k(\varphi_{15}) = 0,05$	
$k(\varphi_8) = 0,06$	$k(\varphi_{16}) = 0,208$	
	$k(\varphi_{17}) = 0,085$	
	$k(\varphi_{18}) = 0,234$	
	$k(\varphi_{19}) = 0,116$	
	$k(\varphi_{20}) = 0,112$	
	$k(\varphi_{21}) = 0,063$	

Коэффициенты могут принимать и другие значения в зависимости от выбранных групп экспертов, масштабов исследования, а также методов, используемых при определении итоговых значений.

Исследование регионального сегмента СС СН

Определив весь необходимый набор коэффициентов, с использованием статистической информационной таблицы для каждого из факторов на всех объектах регионального сегмента СС СН определялись коэффициенты наличия α_m .

Если на i -й площадке условия удовлетворяют m -му фактору, то $\alpha_m = 1$, в противном случае $\alpha_m = 0$ и, соответственно, коэффициент значимости фактора не будет учтен оценочной функцией.

Для наглядности в качестве примера был выполнен расчет значения оценочной функции для главного узла связи $\Psi_1(K, \alpha)$, расположенном в главном территориальном органе региона. Используя формулу (6) и подставляя найденные значения коэффициентов k_c, k_o, k_k было получено выражение:

$$\Psi_1(K, \alpha) = 0,2 \cdot \Psi_1(K_c, \alpha) + 0,4 \cdot \Psi_1(K_o, \alpha) + 0,4 \cdot \Psi_1(K_k, \alpha) \cdot 100 \% .$$

Функция $\Psi_1(K_c, \alpha)$ в главном узле имела максимальное значение, поскольку в главном узле связи присутствовали все необходимые факторы, характеризующие техническое состояние серверного помещения. Из этого следовало, что при $\forall \alpha_m = 1, m = 1, 2, \dots, 8$ формула (3) была задана в виде:

$$\Psi_1(K_c, \alpha) = \sum_{m=1}^8 \alpha_m \cdot k(\varphi_m) = \sum_{m=1}^8 k(\varphi_m).$$

И поскольку полная сумма коэффициентов для каждой группы нормирована и равна 1, то $\Psi_1(K_c, \alpha) = 1$.

При расчете значения функции, характеризующей техническое состояние каналов передачи данных ($\Psi_1(K_k, \alpha)$), необходимо отметить, что согласно информационной таблице в исследуемом регионе, на данном объекте отсутствовали такие факторы, как резерв каналов (фактор φ_{23}) и резерв технологической IP-адресации (фактор φ_{24}). Поскольку, исходя из этого, коэффициенты $\alpha_{23} = 0, \alpha_{24} = 0$, а остальные $\alpha_m = 1$ при $m = 22, 25, 26, 27$, итоговая формула для расчета (5) приняла вид:

$$\Psi_1(K_k, \alpha) = \sum_{m=22}^{27} \alpha_m \cdot k(\varphi_m) = k(\varphi_{22}) + \sum_{m=25}^{27} k(\varphi_m).$$

Подставляя в формулу значения коэффициентов $k(\varphi_m)$, получили, что:

$$\Psi_1(K_k, \alpha) = 0,416 + 0,189 + 0,038 + 0,067 = 0,71.$$

Выполняя расчет функции по второй группе факторов $\Psi_1(K_o, \alpha)$, следует отметить, что поскольку состояние всех сетевых устройств на исследуемом объекте являлось исправным, то условия факторов $\varphi_{15} - \varphi_{20}$ выполнены, из чего следует, что $\alpha_m = 1$ при $m = 15, 16, \dots, 20$. Потребность в расширении канала передачи данных также отсутствовала, из чего следовало, что $\alpha_{21} = 1$. При всем этом из всего перечня сетевого оборудования лишь 25 % коммутаторов и 25 % маршрутизаторов еще не выработали свой срок эксплуатации. Отсюда $\alpha_m = 0$ при $m = 9, 10, \dots, 14$. Таким образом, формула расчета (4) $\Psi_1(K_o, \alpha)$ имела вид:

$$\Psi_1(K_o, \alpha) = \sum_{m=9}^{21} \alpha_m \cdot k(\varphi_m) = \sum_{m=15}^{21} k(\varphi_m).$$

При подстановке значений $k(\varphi_m)$ было получено:

$$\Psi_1(K_o, \alpha) = 0,05 + 0,208 + 0,085 + 0,234 + 0,116 + 0,112 + 0,063 = 0,868.$$

Соответственно, подставив все значения в формулу (6), было получено:

$$\Psi_1(K, \alpha) = (0,2 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,868 + 0,4 \cdot 0,71) \cdot 100\% = 83,16 \%$$

Значение $\Psi_1(K, \alpha)$ удовлетворяет критерию (8), предъявляемому к главному узлу связи регионального сегмента СС СН в соответствии с разработанной методикой.

Аналогичным способом рассчитывались коэффициенты для остальных объектов, входящих в исследуемый региональный сегмент СС СН.

В результате расчетов было получено, что значение интегральной функции составляет: $\Psi(K, \alpha) = 64,5 \%$, что удовлетворяет критерию (8), представленному в разделе 4.

Если производить оценку в отдельности по группам факторов, то техническое состояние серверных помещений по региону составляло $\Psi(K_c, \alpha) = 69,2 \%$;

оборудования – $\Psi(K_o, \alpha) = 74,89\%$; каналов связи – $\Psi(K_k, \alpha) = 51,71\%$. Полученные значения подтверждаются статистическими данными, полученными в результате анализа статистической информационной таблицы и данными, полученными в ходе реализации п. 1 методики.

Заключение

Таким образом, предложенная методика позволит осуществить оценку состояния инженерной и телекоммуникационной инфраструктуры сегмента сети связи специального назначения с привлечением групп экспертов, а также с помощью математических методов анализа иерархий и обработки экспертных оценок. Основываясь на определенных экспертами коэффициентов значимости факторов, были разработаны оценочные функции для каждого объекта, входящего в состав сегмента СС СН, а также интегральная функция, позволяющая оценить весь сегмент. При исследовании отдельного сегмента СС СН была произведена его оценка на предмет соответствия установленным критериям, в результате чего были сформулированы выводы о соответствии состояния его серверных помещений, оборудования и каналов связи предъявляемым требованиям.

С учетом полученных данных о состоянии регионального сегмента опыт применения методики можно масштабировать на остальные региональные сегменты в рамках всей страны путем перехода на более высокий уровень топологии сети. Методика может быть дополнена множеством факторов, зависящих от состава и свойств топологии региональных сегментов сети связи специального назначения, а также от разнообразия телекоммуникационного, каналобразующего оборудования и состояния инженерной инфраструктуры. Материалы статьи представляют практическую ценность, а применение методики позволит осуществить комплексный анализ состояния регионального сегмента сети связи специального назначения, выявить проблемные участки сетевой инфраструктуры, оценить перспективные направления дальнейшей модернизации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хохлов Н.С., Канавин С.В., Журавлев М.Ю. Моделирование защищенного канала спутниковой связи органов внутренних дел с использованием аппаратуры оптимизации трафика. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2021;3:25–35.
2. Бокова О.И., Канавин С.В., Хохлов Н.С. Формирование требований к защищенной информационно-телекоммуникационной инфраструктуре сети связи специального назначения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1157>. DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.029.
3. Канавин С.В. К вопросу выбора стратегии защиты системы связи специального назначения при угрозах информационной безопасности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1033>. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.020.
4. Бокова О.И., Жайворонок Д.А., Канавин С.В., Хохлов Н.С. Модель комплекса средств противодействия угрозам информационной безопасности в сетях связи специального назначения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/BokovaSoavtors_2_20_1.pdf. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.040.

5. Бокова О.И., Канавин С.В., Хохлов Н.С. Оценка возможного ущерба и времени реакции комплекса средств противодействия на реализацию угроз информационной безопасности сети связи специального назначения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=887> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.037.
6. Пьянков О.В., Попов А.В. Метод синергетической модификации эргатических систем предметного назначения. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2019;4:64–72.
7. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н. Оптимизация характеристик распределенных телекоммуникационных систем. *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2022;27(1):47–54.
8. Ахмадиев И.Р., Вершенник А.В., Вершенник Е.В., Закалкин П.В. Предложения по совершенствованию системы мониторинга информационно-телекоммуникационных сетей региона. *Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право*. 2019.2(34).145–148.
9. Аллакин В.В. Модель идентификации технического состояния устройств информационно-телекоммуникационных сетей подсистемой сетевого мониторинга. *Системы управления, связи и безопасности*. 2021;5:40–64.
10. Будко Н.П., Васильев Н.В. Обзор графо-аналитических подходов к мониторингу информационно-телекоммуникационных сетей и их применение для выявления аномальных состояний. *Системы управления, связи и безопасности*. 2021;6:53–75.
11. Рындин А.А., Саргсян Э.Р. Прогнозирование поведения сети передачи данных в системе мониторинга телекоммуникационных сетей на основе модифицированного алгоритма. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2020;16(3):20–26.
12. Высочина О.С., Шматков С.И., Салман А.М. Модель системы мониторинга телекоммуникационной сети на базе модифицированной вероятностной нейронной сети. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2010;4 (47):67–70.
13. Пьянков О.В., Попов А.В. Информационная модель принятия решений в ситуационных центрах органов внутренних дел. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2020;2:59–67.
14. Саати Т. *Принятие решений: метод анализа иерархий*. Москва: Радио и связь; 1993. 278 с.
15. Попов А.В. Сравнение методов оценки процессов эрготехнических систем органов внутренних дел. *Автоматизация процессов управления*. 2022;3(69):67–76.

REFERENCES

1. Khokhlov N.S., Kanavin S.V., Zhuravlev M.Yu. Modeling of a secure satellite communication channel of internal affairs bodies using traffic optimization equipment. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii = Vestnik of Voronezh institute of the Ministry of interior of Russia*. 2021;3:25–35. (In Russ.).
2. Bokova O.I., Kanavin S.V., Khokhlov N.S. Formation of requirements for a secure information and telecommunication infrastructure of a special-purpose communication network. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2022;10(1). Available by: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=1157>. DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.029 (accessed on: 21.09.2022). (In Russ.).
3. Kanavin S.V. On the issue of choosing a strategy for protecting a special-purpose communication system in case of threats to information security. *Modelirovaniye,*

- optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2021;9(3). Available by: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1033>. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.020 (accessed on: 21.09.2022). (In Russ.).
4. Bokova O.I., Zhaivoronok D.A., Kanavin S.V., Khokhlov N.S. Model of a complex of means for countering information security threats in special-purpose communication networks. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/BokovaSoavtors_2_20_1.pdf. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.040. (In Russ.).
 5. Bokova O.I., Kanavin S.V., Khokhlov N.S. Estimation of possible damage and response time of a complex of countermeasures to the implementation of threats to the information security of a special-purpose communication network. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available by: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=887>. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.037 (accessed on: 21.09.2022). (In Russ.).
 6. Pyankov O.V., Popov A.V. Method of synergistic modification of ergatic systems for subject purposes. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii = Vestnik of Voronezh institute of the Ministry of interior of Russia*. 2019;4:64–72. (In Russ.).
 7. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky A.P., Preobrazhensky Yu.P., Choporov O.N. Optimization of characteristics of distributed telecommunication systems. *Elektromagnitnyye volny i elektronnyye sistemy = Electromagnetic waves and electronic systems*. 2022;27(1):47–54. (In Russ.).
 8. Akhmadiev I.R., Vershennik A.V., Vershennik E.V., Zakalkin P.V. Proposals for improving the monitoring system of information and telecommunication networks in the region. *Informatsionnyye tekhnologii i sistemy: upravleniye, ekonomika, transport, pravo = Information technologies and systems: management, economics, transport, law*. 2019.2(34).145–148. (In Russ.).
 9. Allakin V.V. Model for identifying the technical condition of devices of information and telecommunication networks by the subsystem of network monitoring. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti = Control, communication and security systems*. 2021;5:40–64. (In Russ.).
 10. Budko N.P., Vasiliev N.V. Review of graph-analytical approaches to monitoring information and telecommunications networks and their application to detect anomalous conditions. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti = Control, communication and security systems*. 2021;6:53–75. (In Russ.).
 11. Ryndin A.A., Sargsyan E.R. Predicting the behavior of a data transmission network in a monitoring system for telecommunication networks based on a modified algorithm. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2020;16(3):20–26. (In Russ.).
 12. Vysochina O.S., Shmatkov S.I., Salman A.M. Model of a telecommunications network monitoring system based on a modified probabilistic neural network. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy = East European Journal of Advanced Technologies*. 2010;4(47):67–70. (In Russ.).
 13. Pyankov O.V., Popov A.V. Information model of decision-making in the situational centers of internal affairs bodies. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii = Vestnik of Voronezh institute of the Ministry of interior of Russia*. 2020;2:59–67. (In Russ.).
 14. Saaty T. *Decision making: a method for analyzing hierarchies*. Moscow: Radio and communication; 1993. 278 p. (In Russ.).

15. Popov A.V. Comparison of methods for assessing the processes of ergotechnical systems of internal affairs bodies. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya = Automation of management processes*. 2022;3(69):67–76. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Попов Алексей Вячеславович, адъюнкт, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: Alex_std_ex@mail.ru

Aleksey Vyacheslavovich Popov, Postgraduate Student, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

Канавин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: sergejj-kanavin@rambler.ru
ORCID: [0000-0003-0575-2773](https://orcid.org/0000-0003-0575-2773)

Sergey Vladimirovich Kanavin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

Гилев Игорь Владимирович, преподаватель кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: gileviv@bk.ru

Igor Vladimirovich Giley, Lecturer at the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

Хохлов Николай Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: nikolayhohlov@rambler.ru

Nikolay Stepanovich Khokhlov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Information and Communication Systems and Technologies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

Удалов Валерий Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и радиоэлектроники, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: uvalery@yandex.ru

Valery Petrovich Udalov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Physics and Radioelectronics, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 15.09.2022; одобрена после рецензирования 22.09.2022; принята к публикации 26.09.2022.

The article was submitted 15.09.2022; approved after reviewing 22.09.2022; accepted for publication 26.09.2022.