

УДК 621.396.41

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.47.4.028](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.028)

Организации радиосвязи с удаленными подвижными наземными объектами

С.В. Дорохин, В.А. Иванников, Д.А. Жайворонок✉

*Воронежский государственный лесотехнический университет, Воронеж,
Российская Федерация*

Резюме. В статье рассмотрены вопросы повышения качества передачи информации на подвижных объектах путем использования современной аппаратуры технологии цифровой радиосистемы DMR (Digital Mobile Radio), соответствующей современным требованиям к помехоустойчивости, дальности связи, безопасности передачи и приему данных. Аппаратура обладает всеми преимуществами цифровых технологий по сравнению с аналоговыми, использует один канал с полосой частот 12,5 кГц, разделенный по времени на два логических канала. Это позволяет работать через ретранслятор с поддержкой технологии двухчастотного симплекса с дуплексным разносом, в этом режиме возможны два одновременных независимых голосовых соединения. Описаны структурные схемы радио-интерфейса предлагаемого стандарта, его основные достоинства, характеристики, преимущества по сравнению с используемыми в настоящее время цифровыми и аналоговыми радиосистемами. Разработаны структурные схемы организации связи нескольких абонентов, предоставляющие возможность одновременной работы двух групп пользователей через один или несколько репитеров на одном канале. С целью эффективного использования имеющегося ресурса обмена данными предложены современные методы мультиплексирования каналов и их комбинации. Статистическое и временное мультиплексирование с использованием дискретной многотональной модуляции позволяет минимизировать последствия затухания сигнала с ростом частоты. Предлагаемые технические решения обеспечивают возможность постепенной замены морально устаревшего оборудования вследствие одновременного использования аналоговой и цифровой аппаратуры, а также эффективное использование частотного диапазона в условиях его ограниченного распределения.

Ключевые слова: передача информации, система, аппаратура, стандарты, каналы связи, радиосигнал, помехи.

Для цитирования: Дорохин С.В., Иванников В.А., Жайворонок Д.А. Организации радиосвязи с удаленными подвижными наземными объектами. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2024;12(24). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1743> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.028

Organization of radio communication with remote mobile ground objects

S.V. Dorokhin, V.A. Ivannikov, D.A. Zhayvoronok✉

Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, the Russian Federation

Abstract. The article considers the issues of improving the quality of information transmission on mobile objects by using modern equipment of the digital radio system DMR (Digital Mobile Radio) technology, corresponding to modern requirements for noise immunity, communication range, security of data transmission and reception. The equipment has all the advantages of digital technologies compared to analog ones, uses one channel with a frequency band of 12.5 kHz, divided in time into two logical channels. This allows you to work through a repeater with support for dual-frequency simplex technology with duplex diversity, in this mode two simultaneous independent voice connections are

possible. The structural diagrams of the radio interface of the proposed standard, its main advantages, characteristics, and advantages over currently used digital and analog radio systems are described. Structural schemes for the organization of communication between several subscribers have been developed, providing the possibility of simultaneous operation of two groups of users through one or more repeaters on the same channel. In order to effectively use the available data exchange resource, modern methods of channel multiplexing and their combinations are proposed. Statistical and time multiplexing using discrete multi-tone modulation allows minimizing the effects of signal attenuation with increasing frequency. The proposed technical solutions provide the possibility of gradual replacement of obsolete equipment due to the simultaneous use of analog and digital equipment, as well as effective use of the frequency range in conditions of its limited distribution.

Keywords: information transmission, system, equipment, standards, communication channels, radio signal, interference.

For citation: Dorokhin S.V., Ivannikov V.A., Zhayvoronok D.A. Organization of radio communication with remote mobile ground objects. *Modeling, optimization and information technology*. 2024;12(24). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1743> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.028

Введение

В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 3 ноября 2023 г. № 3097-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 г.» предполагается максимальная цифровизация транспортной отрасли Российской Федерации, которая является одной из ключевых задач как минимум на период до 2030 года. При этом внедрение цифровых технологий должно распространяться на все виды транспорта в целях установления возможности переориентирования потоков грузов с одного вида транспорта на другой. Таким образом, замена морально устаревшей аналоговой аппаратуры радиосвязи подвижных объектов, в том числе автотранспортной инфраструктуры является актуальной задачей [1].

Выбор вида организации радиосвязи подвижных объектов автопаркового хозяйства и, как следствие, соответствующего оборудования зависит от ряда обстоятельств, например, таких как потенциальный ландшафт местности передвижения автомобилей, работа в городе, лесном массиве или открытом пространстве, площадь возможной обслуживаемой территории, наличие природных и техногенных помех и т. д. Кроме того, могут предъявляться требования к обеспечению безопасности передачи информации, возможности осуществления дуплексной связи, помехоустойчивости и чистоте сигнала связи передаваемых сообщений [2].

Материалы и методы

Как правило, подавляющее число организаций используют аналоговую конвенциональную радиосвязь. Однако сегодня на рынке систем беспроводной передачи информации представлены более совершенные решения, например, цифровые конвенциональные системы стандарта DMR (Digital Mobile Radio) с разделением одного канала полосой частот 12,5 кГц на два логических по времени (Рисунок 1). Стандарт DMR обладает всеми преимуществами цифровых технологий по сравнению с аналоговыми (кодирование информации, возможность передачи текстовых сообщений, высокая помехоустойчивость, увеличение количества каналов связи и т. д.), использует один канал с полосой частот 12,5 кГц [3], разделенный по времени (TDMA – Time Division Multiple Access) на два логических канала. Кроме того, появляются возможности, не реализуемые на аналоговых системах радиосвязи, такие как передача текстовых сообщений, контроль заряда батареи, передача пакетных данных, контроль местоположения.



Рисунок 1 – Структура радио-интерфейса стандарта DMR
Figure 1 – Structure of the DMR radio interface

Это позволяет работать через ретранслятор с поддержкой технологии двухчастотного симплекса с дуплексным разносом, FDD (Frequency Division Duplex), в этом режиме возможны два одновременных независимых голосовых соединения. Оборудование работает в диапазонах 136–174 МГц, 403–470 МГц и 450–527 МГц [4].

На Рисунке 2 представлена возможность одновременной работы двух групп абонентов через ретрансер на одном канале, в то время как для обычной системы радиосвязи понадобилось бы два канала (двухчастотный симплекс).

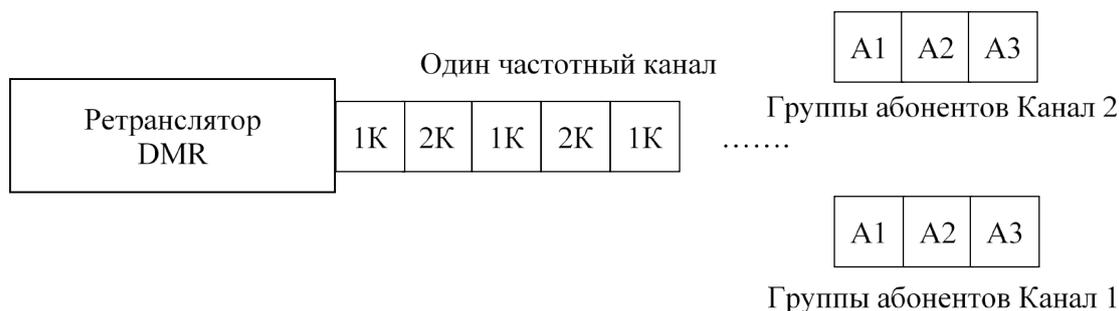


Рисунок 2 – Принципы организации связи с использованием ретранслятора
Figure 2 – Principles of organizing communication using a repeater

Для повышения эффективности обмена данными, в частности, увеличения объема передаваемой информации, скорости ее передачи при рациональном использовании каналов связи предлагается рассмотреть ряд методов мультиплексирования данных. В соответствии с системой дискретной многотональной модуляции каждый канал со своей несущей частотой, по которому передается цифровой поток данных, разделяется на подканалы с шириной полосы частот 4 кГц. В полученные подканалы отправляется пилот-сигнал для определения уровня шума. В те подканалы, в которых выше соотношение сигнал/шум (с/ш) отправляется больше количества битов, в худшие – меньшее [5]. Как известно, с ростом частоты возрастает затухание сигнала, а значит, уменьшается соотношение с/ш (Рисунок 3).

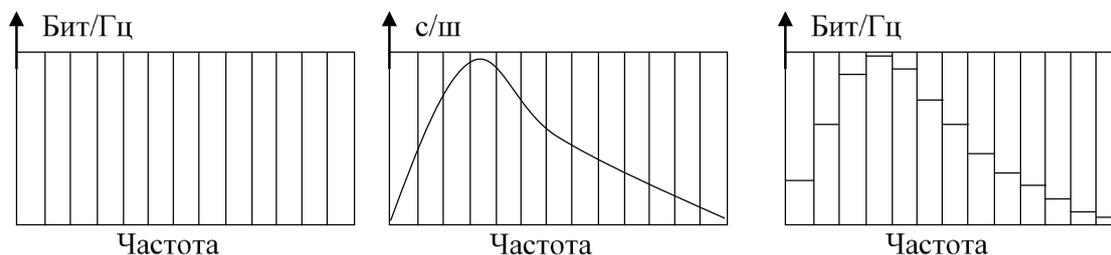
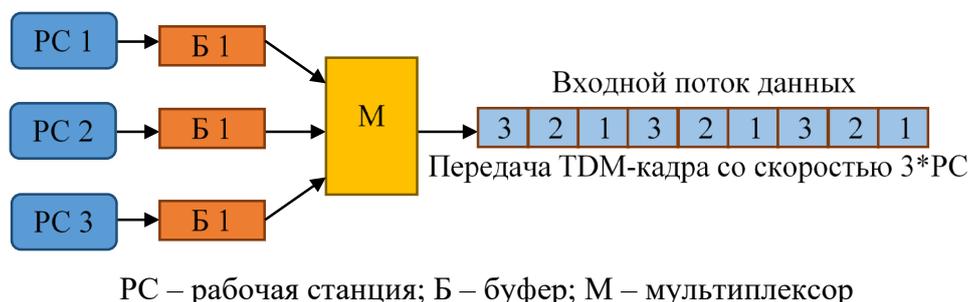


Рисунок 3 – Передача данных в подканалы в зависимости от с/ш
Figure 3 – Data transmission to subchannels depending on the signal/noise ratio

Другим распространенным видом мультиплексирования является временное мультиплексирование (Time-Division Multiplexing, TDM). Широко применяются две разновидности временного мультиплексирования: синхронное и статистическое. В

первом случае выполняется одновременная передача трех информационных сигналов по среде передачи (Рисунок 4).



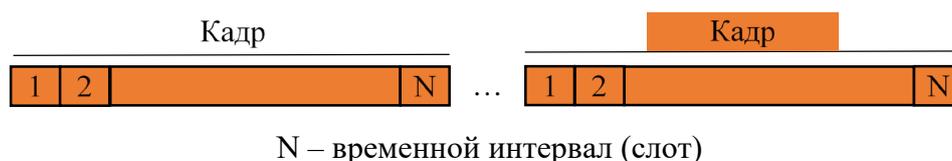
PC – рабочая станция; Б – буфер; М – мультиплексор

Рисунок 4 – Передача данных в подканалы в зависимости от с/ш

Figure 4 – Data transmission to subchannels depending on the signal/noise ratio

В этом примере каждый источник работает на одинаковой скорости. Данные, сформированные источниками, попадают в буферы малого объема, которые циклически опрашиваются и на основе их содержания создается составной поток цифровых данных. Операция сканирования происходит достаточно часто, так чтобы буфер был свободен прежде, чем в него придут следующие порции данных. Данные из буферов объединяются с помощью мультиплексора в составной поток [6]. Таким образом, скорость данных, передаваемых мультиплексором, должна быть не меньше суммы скоростей данных на входе. Сигнал, сформированный мультиплексором, может передаваться в цифровом виде или, пройдя через модем, в аналоговом. В любом случае передача сигнала осуществляется синхронными, а не асинхронными методами. На приемном конце данные распределяются по трем буферам целевых систем.

Данные, передаваемые синхронными системами TDM, имеют формат, подобный показанному на Рисунке 5. Данные разбиваются на кадры, каждый из которых соответствует циклу временных интервалов (слотов). В каждом кадре один или несколько интервалов относятся к каждому источнику данных. Передача информации состоит в передаче последовательности кадров. Набор слотов, относящихся к одному источнику в каждом кадре, называется каналом [7].



N – временной интервал (слот)

Рисунок 5 – Формат TDM кадров

Figure 5 – TDM frame format

Длина слота соответствует длине буфера приемника. Методика чередования байтов используется для асинхронных и синхронных источников. За каждый временной интервал передается один символ данных. Обычно перед передачей стартовые и стоповые биты удаляются (позже они добавляются приемником), это делается для повышения эффективности передачи. Методика чередования битов используется для синхронных источников.

Временное мультиплексирование называется синхронным не потому, что используются синхронные методики передачи, а потому, что слоты заранее связаны с источниками, и эта связь не меняется. Слоты от данного источника задействуются даже в том случае, если источнику нечего отправить. То же самое происходит и с частотным

мультиплексированием: полоса частот, выделенная определенному источнику, не меняется независимо от того, передает источник что-либо в данный момент времени или нет. В том и другом случаях пропускная способность канала расходуется впустую, однако это компенсируется простотой реализации. Даже при жесткой связи слотов и источников система временного мультиплексирования может обслуживать источники с различными скоростями передачи данных. Например, источникам, медленно выдающим информацию, нужно назначить только один слот в кадре, а более быстрым источникам – несколько [8].

Рассмотрим работу синхронного временного мультиплексирования на примере аналога систем Е-каналов – стандарта национального института стандартов (ANSI). Каналы T1, T2 и T3 работают на скоростях: 1,544 Мбит/с, 6,312 Мбит/с, 44,736 Мбит/с. В основе иерархии такого вида временного мультиплексирования лежит формат передачи DS-1 (Рисунок 6), обеспечивающий объединение 24 каналов.

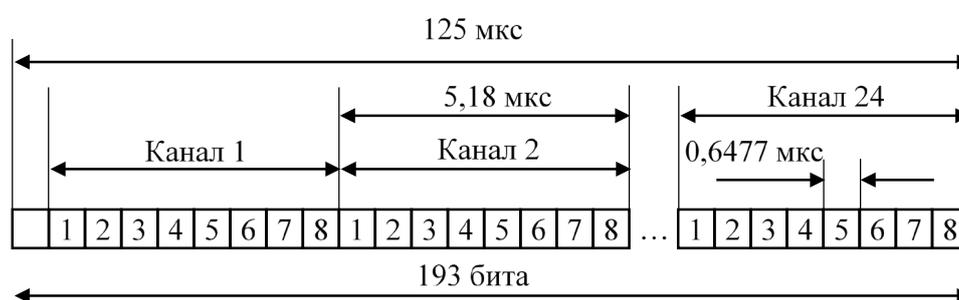


Рисунок 6 – Формат DS-1
 Figure 6 – DS-1 format

Первый бит является битом кодирования, он служит для синхронизации. Голосовые каналы: 8-разрядная импульсно-кодовая модуляция пяти из шести кадров; 7-разрядная импульсно-кодовая модуляция каждого шестого кадра, бит 8-го каждого канала является сигнальным. Каналы данных: канал 24 в некоторых системах является сигнальным; биты 1–7 служат для передачи данных на скорости 56 Кбит/с; биты 2–7 используют для передачи данных на скоростях 9,6, 4,8, 2,4 Кбит/с.

В каждом кадре отведено по 8 бит на канал и 1 бит кадрирования, итого $24 \times 8 + 1 = 193$ бит. Для передачи голоса используются следующие правила. Каждый канал содержит одно слово оцифрованного голоса. Исходный сигнал преобразуется в цифровую форму путем импульсно-кодовой модуляции (Pulse-Code Modulation, PCM) с частотой 8000 отсчетов в секунду. Поэтому слот для каждого канала и, соответственно, каждый кадр должны повторяться 8000 раз в секунду. При длине кадра 193 бит мы получаем скорость передачи данных $8000 \times 193 = 1,544$ Мбит/с. Для пяти из каждых шести кадров используется 8-разрядная импульсно-кодовая модуляция. В каждом шестом кадре каждый канал содержит 7-разрядное слово импульсно-кодовой модуляции и сигнальный бит. Сигнальные биты составляют поток управляющей и маршрутизирующей информации для каждого голосового канала [9]. Например, управляющие сигналы служат для установки соединения или завершения вызова.

Тот же формат DS-1 служит и для передачи цифровых данных. Для совместимости с форматом передачи голоса используется та же скорость 1,544 Мбит/с. В этом случае для передачи данных предусмотрены 23 канала. Позиция 24-го канала резервируется под бит синхронизации, позволяющий быстрее и надежнее повторно передать кадры при возникновении ошибки. В каждом канале 7 бит кадра служат для передачи данных, восьмой бит сигнальный – он указывает, какие данные передает канал

данного кадра (пользовательские или управляющие). С учетом того, что по одному каналу передается 7 бит, каждый кадр повторяется 8000 раз в секунду, скорость передачи данных в одном канале составляет 56 Кбит/с. Меньшие скорости передачи данных обеспечиваются с помощью методики, называемой мультиплексированием с пониженной кратной скоростью. Из каждого канала удаляется по одному биту, это позволяет выбрать пониженную кратную скорость. Пропускная способность канала снижается до $6 \times 8000 = 48$ Кбит/с. Такая пропускная способность позволяет мультиплексировать пять каналов на 9,6 Кбит/с, десять каналов на 4,8 Кбит/с или двадцать каналов на 2,4 Кбит/с. Например, если канал 2 служит для передачи данных на скорости 9,6 Кбит/с, то до пяти таких подканалов могут совместно использовать линию связи. Данные в каждом подканале передаются в виде блоков по 6 бит в каждом пятом кадре подканала 2.

Результаты

В соответствии со схемой, изображенной на Рисунке 2, абоненты на одном частотном канале могут вызывать друг друга как внутри одной группы, так и общаться с абонентами другой группы, делать индивидуальные вызовы, передавать информацию всем участникам одновременно методом широковещательной рассылки.

Кроме того, объединив два ретранслятора и более кабелем Ethernet и настроив соответствующее программное обеспечение, можно создать аналог транкинговой системы радиосвязи (Рисунок 7).

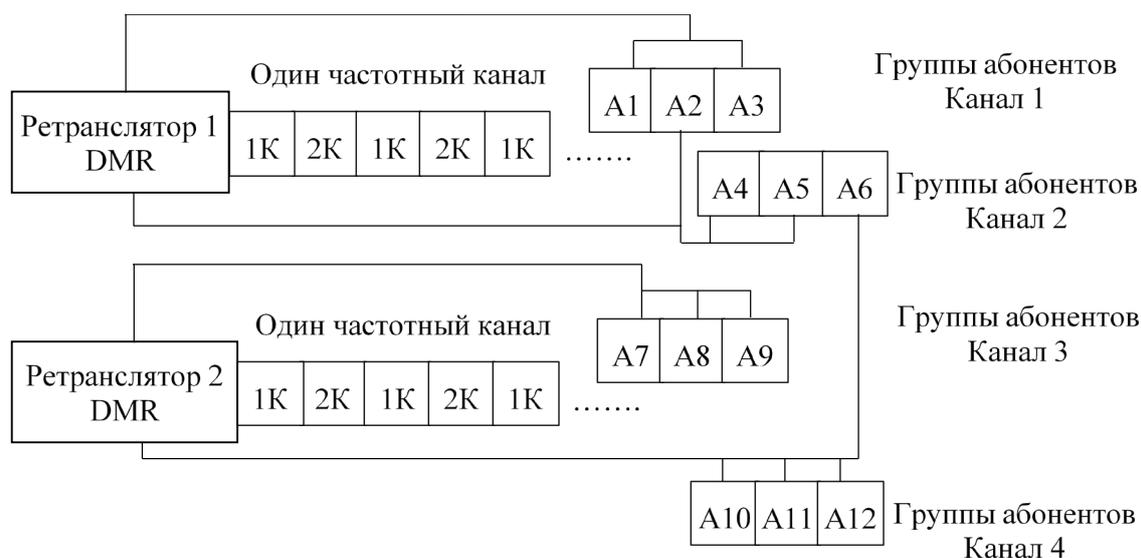


Рисунок 7 – Принципы организации связи с использованием двух ретрансляторов
Figure 7 – Principles of organizing communication using two repeaters

В этом случае, абонент зоны охвата ретранслятора 1 может связываться с абонентами ретранслятора 2. Кроме того, абоненты, перемещаясь из зоны действия ретрансляторов не теряют связь, а автоматически переходят под обслуживание того ретранслятора, в область охвата которого они переместились [10].

Формат DS-1 может использоваться для смешанной передачи голоса и данных. В таком случае используются все 24 канала, бит синхронизации не задействован.

Кроме основной скорости передачи данных, равной 1,544 Мбит/с, высокоуровневое мультиплексирование позволяет чередовать биты с входов DS-1. Например, система передачи DS-2 объединяет два входа DS-1 в единый поток со

скоростью передачи данных 6,312 Мбит/с. Данные из четырех источников чередуются по 12 бит. Необходимо отметить, что $1,544 \times 4 = 6,176$ Мбит/с, а оставшаяся пропускная способность используется для кадровых и управляющих битов.

При сравнении статистического и синхронного временного мультиплексирования четырех источников данных, а также сами данные, сформированные в течение четырех временных интервалов, получили: в случае синхронного мультиплексора эффективная скорость передачи данных по выходной линии в четыре раза превышает скорость передачи данных каждым входным устройством. В течение любого интервала данные собираются со всех источников и передаются в линию. Например, в течение первого интервала два источника не формируют данных. Поэтому два из четырех переданных слота пусты. Напротив, при статистическом мультиплексировании пустые слоты при отсутствии данных для передачи не отправляются. Поэтому в течение первого временного интервала передаются данные только от работающих источников. Скорость передачи данных по мультиплексированной линии в случае статистического мультиплексирования меньше суммы скоростей передачи данных по отдельным линиям. Решение этой проблемы состоит в установке буфера на мультиплексоре, предназначенного для временного хранения данных, превышающих допустимый входной уровень.

Обсуждение

Предлагаемые в данной работе методы и технологии совершенствования организации связи между подвижными объектами соответствуют современным требованиям передачи информации [11]. Несмотря на очевидные достоинства технологии синхронного временного мультиплексирования, часто имеет место ситуация, когда множество временных интервалов (слотов) для передачи данных не используются. В Таблице 1 приведены результаты исследования, проведенного группой института IEEE, занимающейся разработкой стандартов для локальных сетей. В таблице сведены репрезентативные скорости передачи данных для различного терминального оборудования. Помимо этого, в таблице показано, сколько времени (в процентах) терминальное устройство в среднем передает или принимает данные. Например, наборное устройство применяется для ввода в компьютерную базу данных информации с бумажных бланков.

Таблица 1 – Нагрузка, формируемая разнообразным терминальным оборудованием

Table 1 – Load generated by various terminal equipment

Тип терминала	Пиковая скорость передачи данных (Кбит/с)	Процент использования (%)
Построчно-печатающее устройство	19,2	50–90
Наборное устройство	9,6	0,1–1
Считывающее устройство	9,6	10–30
Лазерный принтер	64	20–50
Факсимильный аппарат	256	5–20

Статистическое временное мультиплексирование, называемое также асинхронным, или интеллектуальным мультиплексированием, значительно эффективнее, однако в такой схеме теряется связь между положением слота и адресатом, поскольку заранее не известно, данные от которого источника попадут в определенный интервал. Так как данные пребывают и распределяются по линиям ввода-вывода

непредсказуемо, для их правильной доставки необходимы сведения об адресах. Поэтому в системах статистического мультиплексирования на каждый слот приходится больше служебной информации, чем при синхронном мультиплексировании, поскольку необходимо передавать не только данные, но и адрес.

Заключение

Таким образом, применение современных технологий, методов организации радиосвязи позволяет эффективно использовать ограниченный радиоресурс, повысить качество передаваемых сообщений, их информационную безопасность, осуществить постепенный переход от аналоговой аппаратуры на цифровую без существенных одновременных организационных и материальных затрат. Методами синхронного и статистического мультиплексирования возможно объединение нескольких ретрансляторов кабелем Ethernet в один канал, после настройки соответствующего программного обеспечения можно создать аналог транкинговой системы радиосвязи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. 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*. 2020;8(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.040>
 Bokova O.I., Zhayvoronok D.A., Kanavin S.V., Khokhlov N.S. Model of complex flows address threats to information security in communication networks special purpose. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.040>
2. Лукьянов А.С., Толстых Д.С., Буравцова А.Н. Технологии мобильного широкополосного доступа в сетях LTE и применение в ведомственных структурах. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2019;13(1):116–119.
 Lukyanov A.S., Tolstykh D.S., Buravtsova A.N. Technologies of mobile broadband access in LTE networks and application in departmental structures. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2019;13(1):116–119. (In Russ.).
3. Жайворонок Д.А. Асинхронный режим организации радиосети. В сборнике: *Охрана, безопасность, связь: Материалы Международной научно-практической конференции, 21 июня 2016 года, Воронеж, Россия*. Воронеж: Воронежский институт МВД России; 2016. С. 101–105.
4. Столлингс В. *Передача данных*. Москва: Питер; 2004. 749 с.
 Stallings W. *Business Data Communications*. Moscow: Piter; 2004. 749 p. (In Russ.).
5. Лукьянов А.С., Буравцова А.Н., Попов А.В. Повышение помехоустойчивости сигналов, передаваемых по каналам специальной связи, с использованием адаптивных систем. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2020;14(1):4–6.
 Lukianov A.S., Buravtsova A.N., Popov A.V. Increased noise immunity of signals transmitted via special communication channels using adaptive systems. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2020;14(1):4–6. (In Russ.).
6. Таненбаум Э.С., Уэзеролл Д. *Компьютерные сети*. Санкт-Петербург: Питер; 2015. 955 с.
 Tanenbaum E., Wetherall D. *Computer Networks*. Saint Petersburg: Piter; 2015. 955 p. (In Russ.).
7. Лукьянов А.С., Печников С.С., Попов А.В. Оптимизация отношения сигнал/шум при цветных шумах. *Вестник Воронежского института высоких технологий*.

- 2019;13(1):4–7.
Lukyanov A.S., Pechnikov S.S., Popov A.V. Optimization of the relation signal/noise at color noise. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2019;13(1):4–7. (In Russ.).
8. Жайворонок Д.А., Лукьянов А.С. Программные продукты обеспечения безопасности виртуальных частных сетей. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2018;12(3):44–46.
Zhaivoronok D.A., Lukyanov A.S. Software providers for security of virtual private networks. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2018;12(3):44–46. (In Russ.).
9. Иванников В.А., Жайворонок Д.А., Шакина Ф.А. Особенности транспортировки древесной зелени в природно-производственных условиях республики Саха (Якутия). В сборнике: *Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера: Сборник материалов IV Всероссийского форума, 28–29 марта 2024 года, Якутск, Россия*. Якутск: Издательский дом СВФУ; 2024. С. 193–197.
10. Хохлов Н.С., Канавин С.В., Гилев И.В. Использование многосекторной антенной системы ММО как элемента комплекса средств противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2019;(4):126–136.
Khokhlov N.S., Kanavin S.V., Gilev I.V. Using the MIMO multi-sector antenna system as an element of an addressing complex destructive electromagnetic influences. *Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2019;(4):126–136. (In Russ.).
11. Лукьянов А.С., Зибров А.А. Разновидности и перспективы применения высокоскоростных беспроводных сетей в ведомственных структурах. *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. 2018;(1):271–274.
Lukyanov A.S., Zibrov A.A. Versions and the prospects of application of high-speed wireless networks in departmental structures. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoi oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychainykh situatsii*. 2018;(1):271–274. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дорохин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, декан автомобильного факультета, Воронежский государственный лесотехнический университет, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: dsvvrn@yandex.ru
ORCID: [0000-0001-7110-2702](https://orcid.org/0000-0001-7110-2702)

Sergey V. Dorokhin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Automotive, Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Иванников Валерий Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин, Воронежский государственный лесотехнический университет, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: ivannikov_vrn@mail.ru
ORCID: [0000-0002-6652-3934](https://orcid.org/0000-0002-6652-3934)

Valery A. Ivannikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production, Repair and Operation of Machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Жайворонок Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана автомобильного факультета по учебной работе, Воронежский государственный лесотехнический университет, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: dzhavoronok@bk.ru

Denis A. Zhayvoronok, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean of the Automotive Faculty for Academic Affairs, Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 26.11.2024; одобрена после рецензирования 06.12.2024; принята к публикации 10.12.2024.

The article was submitted 26.11.2024; approved after reviewing 06.12.2024; accepted for publication 10.12.2024.