

Беспроводная локальная сеть класса smarthome на базе модулей сплиттеров-репитеров

М.Б. Хорошко, И.О. Скориков

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск

Аннотация: В статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с проектированием беспроводной локальной сети класса smarthome на базе модулей сплиттеров-репитеров. Отдельное внимание в процессе исследования уделено модулям проводного и беспроводного хабов и коммутаторов. Также представлены результаты сравнительной характеристики сплиттеров-репитеров PLC и FBT. Особый акцент сделан на топологии сети и ее основных компонентах.

Ключевые слова: беспроводная сеть, топология, данные, передача, мощность, трафик, пакет, сбой, адаптер, кабель,

«Умный дом» (smarthome) — это использование компьютерных технологий, технологий управления, технологий отображения изображений и коммуникационных технологий, которые соединены через сеть различных объектов вместе для удовлетворения требований автоматизации всей системы, чтобы обеспечить более удобный контроль и управление домашним хозяйством [1]. Традиционная реализация «умного дома», как правило, контролирует и связывает объекты здания через проводные линии, однако ее недостатком являются ограничения, которые присущи кабелям, высокая стоимость установки и крайне ограниченная возможность масштабирования системы.

В свою очередь система «умного дома» на основе технологии беспроводной связи позволяет преодолеть обозначенные недостатки и снизить стоимость установки. Сегодня, в связи с развитием беспроводных технологий, индустрия «умных домов» переживает беспрецедентный всплеск, преобразуя способ взаимодействия с жилыми помещениями. В

настоящее время «умный дом» базируется на четырех популярных беспроводных технологиях: Bluetooth, Wi-Fi, Z-Wave или Zigbee. Wi-Fi и Ethernet используются в основном для приложений с высокой пропускной способностью, а Zigbee и Z-wave - для приложений с низким энергопотреблением [2]. В тоже время, необходимо отметить, что поскольку количество подключенных устройств продолжает расти, роль беспроводных протоколов в обеспечении бесперебойной связи и совместимости становится все более важной.

Как правило, архитектура сетей построена на использовании серверов и протоколов MQTT, а в качестве сетевого оборудования используются модули Arduino и Raspberry P, чипы ESP8266, ESP32 и BlueTooth, модули GSM и трансиверы 2.4 GHz [3]. Однако, недостатком MQTT является его зависимость от возможности доступа объектов сети к MQTT серверу. Кроме того, при отказе или недоступности локального MQTT сервера вся сеть становится неработоспособной, а объекты сети - неуправляемыми. Помимо этого, при изменении положения объекта сети в пространстве, он может потерять связь с MQTT сервером и также стать неуправляемым. В данном контексте особого внимания заслуживает использование энергоэффективных и стабильных сплиттеров-репитеров, которые помогают пользователям максимизировать производительность сетевых цепей, что делает их предпочтительным выбором среди других технологий для проектирования беспроводной локальной сети класса smart home.

Таким образом, задачи разработки конфигураций и архитектур сетей на базе беспроводных технологий для «умного дома», которые будут обеспечивать энергоэффективность, масштабируемость, а также поддерживать надежную связь, что позволит создавать более разнообразную и обширную экосистему устройств, имеют на сегодняшний день высокую актуальность и значимость, что в целом предопределило выбор темы данной

статьи.

Описанию беспроводных протоколов для «умных домов», выявлению их достоинств и недостатков посвятили свои труды Винников А.М., Дедова М.А., Кочетова Н.П., Фролов А.Б., Ting Jiang, Ming Yang, Yi Zhang, Robinson Raju,.

Система «умного дома» с использованием технологии беспроводных сенсорных сетей, ее базовая структура и сравнительный анализ различных архитектур с их компонентами нашли свое отражение в трудах Грозмани Е.С., Петрова С.В., Кочетовой Н.П., Фролова А.Б., Рябикина Д.В., Волкова Т.Е., Ruben E. Figueiredo, VitorMonteiro, JoaoС. Ferreira, Joao L. Afonso, Jose A. Afonso.

Вопросы выбора сплиттеров-репитеров для повышения эффективности использования оптической инфраструктуры, что является ключевым моментом в разработке эффективной сетевой архитектуры, освещаются Яроновой Н.В., Аметовой А.А., Крыловым И.Д., Wenyao Yan, ZhixiaoWang, HaoWang.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ключевые моменты, касающиеся концепции создания локальной сети малой стоимости для дома или небольших хозяйственных объектов остаются открытыми.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей проектирования беспроводной локальной сети класса smart home на базе модулей сплиттеров-репитеров.

Прежде всего отметим, что система «умного дома» состоит из трех основных областей: во-первых, физические компоненты (электронные устройства - датчики, исполнительные механизмы), во-вторых, система управления (искусственный интеллект/экспертная система) и, в-третьих, система связи (проводная/беспроводная сеть), которая соединяет физические компоненты и систему управления [4].

На рис. 1 представлена базовая структура системы «умный дом».



Рис. 1 - Базовая структура системы «умного дома»

В «умном доме» физические компоненты распознают окружающую среду и передают данные в систему управления помещением через домашние подсети и домашнюю сеть. Система управления домом принимает решение и передает управляющую информацию на исполнительные устройства через домашнюю сеть [5]. Например, датчик газа обнаруживает утечку газа в «умном доме» и направляет это сообщение в систему управления домом через беспроводную сеть. Система управления принимает решение об отключении газового клапана и посылает сообщение на исполнительный механизм, который отключает/закрывает газовый клапан.

Проектирование в рамках проводимого исследования будем проводить на примере оптической сети. Архитектура проектируемой сети класса smart home предусматривает кластеризацию, сегментирование групп объектов и механизм маршрутизации пакетов в сети. Функции маршрутизатора выполняют координаторы кластеров, подсетей и сегментов сети. Координатором группы может стать любой объект сети с большим

логическим номером в группе объектов. Обмен информацией в сети осуществляется на основе метода CSMA/CD, то есть в условиях постоянного конфликта за доступ к среде передачи, что значительно снижает трафик в сети.

Задача эффективного использования общего трафика в сети может быть решена путем логического разделения всех объектов сети на группы, каждая из которых работает на разных каналах, не вмешиваясь в трафик соседней группы. Ширина полосы пропускания каждого канала - 1MHz, количество каналов - 128. Точки доступа Wi-Fi имеют полосу пропускания 20-40 MHz и соответственно, меньшее количество каналов. Поэтому объекту сети с пропускной способностью 1MHz легче найти свободный канал, чем узлу Wi-Fi. Задачу уменьшения коллизий между объектами можно решить благодаря использованию специального оборудования на базе чипа Wken 2461. На основе двух трансиверов был создан модуль сплиттера (разделителя) каналов обмена данными, который также выполняет функцию репитера (повторителя) (рис. 2).



Рис. 2 Модуль сплиттера – репитера

С помощью сплиттера-репитера (S/R) можно увеличить физическую протяженность беспроводной сети и соединить как отдельные объекты сети

(рис. 3 (а)), так и совокупность объектов, организованных в кластеры, сегменты и подсети (рис. 3 (б)).

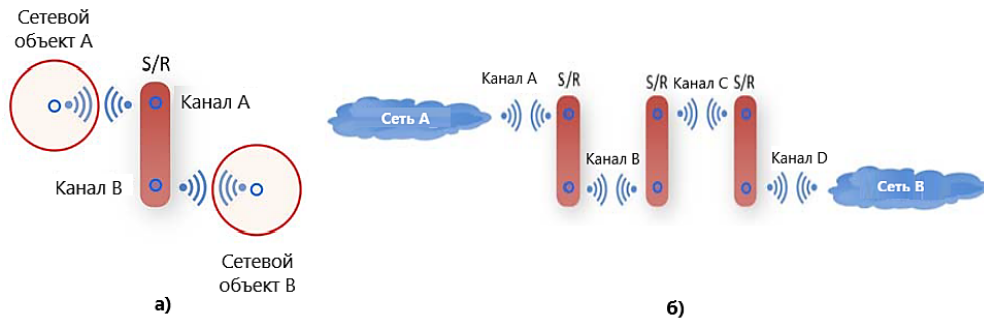


Рис. 3 - Соединение объектов сети с помощью сплиттера-репитера

Распределение каналов (А ... D) необходимо для исключения влияния различных групп сетевых объектов на общий канал передачи данных. Для обеспечения гибкости архитектуры беспроводной сети разработаны модули проводного и беспроводного хабов и коммутаторов. Структура модулей проводного и беспроводного хабов представлена на рис. 4.

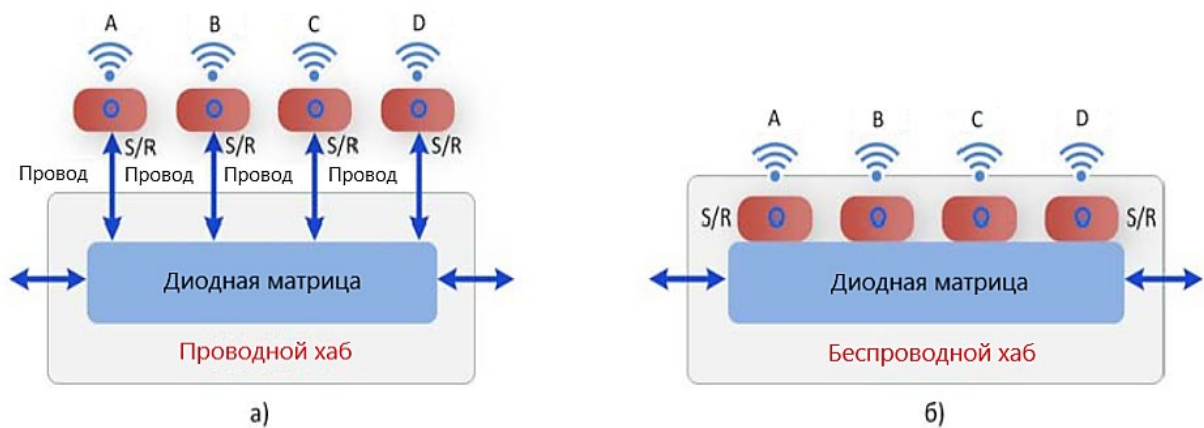


Рис. 4 - Модули проводного а) и беспроводного б) хабов

Модули сплиттеров-репитеров соединяются с хабом с помощью проводного соединения, что позволяет распределить отдельные сегменты сети по разным помещениям сквозь препятствия, вызывающие затухание сигнала на частоте 2.4 GHz, таких, как железобетонные стены, металлические перекрытия и перегородки, водные резервуары и т.д. Беспроводной хаб отличается от проводного тем, что сплиттеры-репитеры конструктивно интегрированы в корпус хаба и являются цельной конструкцией. Модуль

беспроводного хаба предназначен для объединения координаторов сегментов сети в единое адресное пространство в пределах области действия трансиверов [6]. Модули хабов объединяют все подключенные сегменты сети в общее адресное пространство, при этом возможна ситуация конфликта координаторов сегментов сети за доступ к среде передачи.

В условиях невысокого трафика в сети применения хабов вполне достаточно для решения задач автоматизации и управления объектами сети. Однако, если трафик между сегментами сети достаточно высок, целесообразно обеспечить их соединение с разделением общего потока трафика на несколько независимых потоков по разным каналам передачи данных.

Очень важным моментом, для эффективной работы сети является правильный выбор сплиттера – репитера.

В соответствии с различными средами передачи, существуют одномодовые и многомодовые оптические сплиттеры-репитеры. Многомодовый оптический сплиттер-репитер подразумевает, что волокно оптимизировано для работы в диапазонах 850 и 1310 нм, в то время как одномодовый означает, что волокно оптимизировано для работы в диапазонах 1310 и 1550 нм [7]. Кроме того, в зависимости от разницы рабочих длин волн различают оптические сплиттеры-репитеры с одним и двумя окнами. В первом случае используется одна рабочая длина волны, а во втором - две.

В зависимости от технологии изготовления различают сплиттер-репитер FBT, который основан на традиционной технологии сварки нескольких волокон вместе со стороны волокна, и отличается более низкой стоимостью. Сплиттер PLC базируется на технологии планарной световолновой схемы и предлагает различные коэффициенты разделения. Например, сплиттер FS ABS PLC Splitter доступен в таких конфигурациях,

как 1x2, 1x4, 1x16, 1x32 и 1x128 [8].

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика сплиттеров-репитеров PLC и FBT

Таблица №1

Сравнительная характеристика сплиттеров-репитеров PLC и FBT

Тип	PLC	FBT
Рабочая длина волны	1260-1650 нм (полная длина волны)	850 нм, 1310 нм, 1490 нм и 1550 нм
Коэффициенты разветвителя	Равные коэффициенты разделения для всех филиалов	Коэффициенты разветвителя могут быть настроены
Производительность	Подходит для всех сплитов, высокий уровень надежности и стабильности	До 1:8 (может быть больше при более высокой частоте отказов)
Ввод, вывод	Один или два входа с выходным максимумом 64 волокна	Один или два входа с выходным максимумом 32 волокна
Корпус	Без блока, без блоков, модуль ABS, коробка LGX, мини-подключаемый модуль, крепление в стойку 1U	Без блоков, модуль ABS

В рамках рассматриваемой задачи проектирования считаем, что FBT и PLC являются двумя основными вариантами для выбора. Различия между FBT и PLC-сплиттером-репитером заключаются в рабочей длине волны, коэффициенте деления, асимметричном затухании на ветвь, частоте отказов и т.д. Другими словами, FBT сплиттер-репитер считается экономически эффективным решением. PLC-сплиттеры-репитеры, отличающиеся хорошей гибкостью, высокой стабильностью, низкой интенсивностью отказов и более широким температурным диапазоном, могут использоваться в приложениях с высокой плотностью.

Что касается расходов, то стоимость PLC обычно выше, чем FBT, из-за сложной технологии производства. В конкретных сценариях конфигурирования при конфигурациях менее 1×4 рекомендуется

использовать FBT-сплиттер-репитер, а при конфигурациях более 1×8 - PLC. Для передачи данных на одной или двух длинах волн сплиттер FBT определенно поможет сэкономить деньги. Для широкополосной передачи сплиттер PLC является лучшим выбором, учитывая будущие потребности в расширении и мониторинге.

Отдельный акцент необходимо сделать на показателях производительности, которые существенным образом влияют на выбор сплиттера-репитера. К их числу относятся:

1. Вносимые потери: относится к дБ каждого выхода по отношению к входным оптическим потерям. Как правило, чем меньше значение вносимых потерь, тем выше производительность сплиттера-репитера.

2. Возвратные потери: также известны как потери на отражение, относятся к потерям мощности оптического сигнала, который возвращается или отражается из-за разрывов в волокне или линии передачи. Как правило, чем больше возвратные потери, тем лучше.

3. Коэффициент деления: определяется как выходная мощность выходного порта сплиттера-репитера в системном приложении, которая связана с длиной волны передаваемого света.

Кроме того, равномерность, направленность и поляризационно-зависимые потери также являются важнейшими параметрами, влияющими на производительность сплиттера-репитера [9].

Отдельное внимание представляется уделить топологии сети и ее аппаратному обеспечению. Не подлежит сомнению тот факт, что планирование беспроводной локальной сети класса smart home имеет решающее значение для ее успешного внедрения. Важно иметь хорошо спланированный дизайн сети, чтобы обеспечить прием полезного сигнала, пропускную способность и количество клиентов на каждом порту, а также сэкономить на расходах. Это достигается путем балансировки оптической

мощности, расстояния, затухания и пропускной способности [10].

В представленном ниже рис. 5 в качестве ядра сети используется UFiber OLT (UF-OLT или UF-OLT-4), соединяющий сторону пассивной оптической сети (PON) с остальной частью домена маршрутизации и коммутации. Компоненты, из которых состоит сеть, следующие:

1. Волоконный кабель (SC/UPC - SC/APC), соединяющий оконечную оптическую линию с точкой распределения, как правило, PLC-сплиттером.

2. PLC-сплиттер, распределяющий оптоволоконное соединение с использованием нескольких доступных коэффициентов разделения.

3. Кабель Drop Cable (SC/APC - SC/APC), обеспечивающий конечный канал связи, соединяющий сплиттер PLC с абонентским терминалом.

4. Адаптеры или сплайсы - используются для соединения различных волоконно-оптических кабелей и сплиттеров.

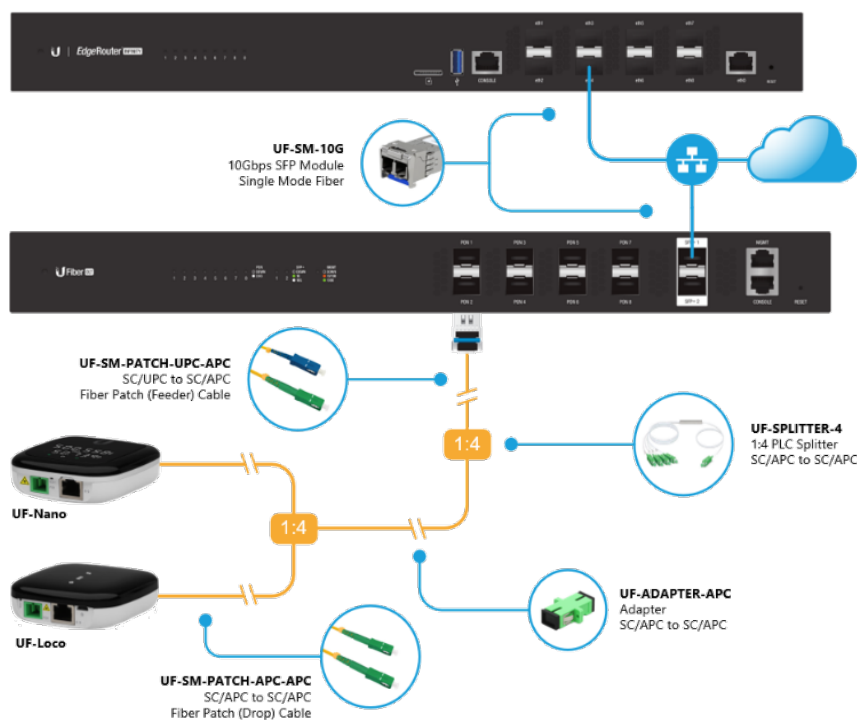


Рис. 5 - Пример топологии сети с использованием ER-8-XG на стороне восходящего канала и сплиттера PLC на стороне PON

Для проверки правильности архитектурных, алгоритмических и схемотехнических решений, использованных при разработке сетевых модулей была создана экспериментальная беспроводная локальная сеть Smart Home. Она включала в себя 30 объектов, которые сгруппированы в четыре кластера и две подсети, объединенные двумя коммутаторами и одним сплиттером-репитером (рис 6). В процессе мониторинга сети каких-либо сбоев и нарушений в ее работе не наблюдалось. При значительном увеличении общего трафика сети в тестовом режиме отмечались небольшие задержки в передаче сетевых пакетов длительностью до 10 мс.

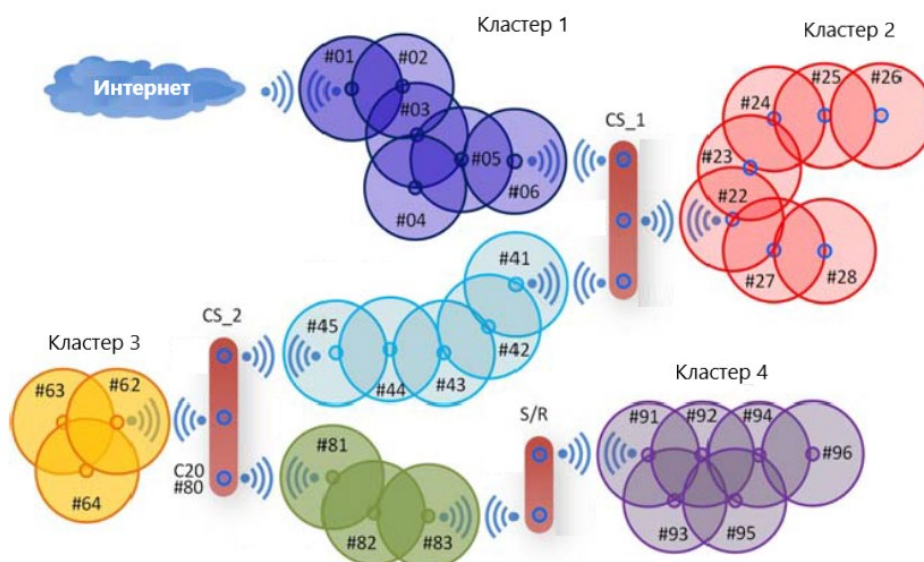


Рис. 6 - Экспериментальная беспроводная локальная сеть Smart Home

Подводя итоги проведенному исследованию, можно отметить следующее.

Архитектура беспроводной сети, основанная на кластеризации и сегментации групп объектов сети, а также разделение каналов среды передачи данных способствует повышению качественных характеристик сети. В процессе разработки сети отдельный акцент сделан на уменьшении количества коллизий, обусловленных свойствами метода доступа к среде передачи CSMA/CD, что позволяет снизить временные задержки в процессе обмена данными между объектами сети.

Модули сплиттеров-репитеров являются основой для построения модулей хабов и коммутаторов. Использование этих сетевых модулей дает возможность создавать беспроводную сеть Smart Home с произвольной топологией. Сплиттеры-репитеры позволяют распределить сигнал между двумя или более волокнами. Поскольку сплиттеры-репитеры не содержат электроники и не требуют питания, они являются неотъемлемым компонентом и могут найти свое широкое применение в большинстве беспроводных сетей.

Литература

1. Винников А.М., Дедова М.А., Кочетова Н.П., Фролов А.Б. Компьютерная модель защищенной беспроводной сенсорной сети «умного дома» // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 5. С. 111-115.
2. Shiny S.G., Ram S. R. Energy efficient data dissemination in wireless sensor network enabled IoT using domain-adaptive message passing graph neural network // International Journal of Communication Systems. 2024. № 87. pp. 147-153.
3. Яцук А.В. Беспроводной протокол передачи данных для системы «умный дом» с поддержкой модульной структуры сети // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи. 2023. Т. 1. № 1. С. 97.
4. Khoshnevisan L., Liu X. Adaptive fractional order predictive sliding mode control for congestion control of wireless access networks // International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2022. Volume 32, Issue 13. pp. 44-49.
5. Васенин Р.С. Эволюция протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях // Научный аспект. 2024. Т. 27. № 3. С. 3410-3414.
6. Курмаев Т.И. Сравнение протоколов передачи данных в

интернете вещей // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1-1 (115). С. 45-47.

7. Nasri M., Lamiri A. Adaptive dynamic multi-hop technique for clustering protocol in wireless sensor networks assisted-Internet of Things applications // IET Networks. 2021. Volume 11, Issue 1. P. 67-74.

8. Арцишевская С.А., Вerveйко Б.М. О применении беспроводной связи в системе «умный дом» // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи. 2021. № 1. С. 47.

9. Некрасов П.В., Жариков А.М., Козин Д.А. Обеспечение безопасности беспроводных каналов связи киберфизических систем типа «умный дом» // Безопасность информационных технологий. 2024. Т. 31. № 1. С. 54-62.

10. Mehta D., Saxena S. Load-based node ranked low-energy adaptive clustering hierarchy: An enhanced energy-efficient algorithm for cluster head selection in wireless sensor networks // Concurrency and Computation: Practice and Experience. 2021. Volume 33, Issue 21. pp. 65-70.

References

1. Vinnikov A.M., Dedova M.A., Kochetova N.P., Frolov A.B. Matematicheskie metody v tehnologijah i tehnike. 2023. № 5. Pp. 111-115.

2. Shiny S.G., Ram S. R. International Journal of Communication Systems. 2024. № 87. Pp. 147-153.

3. Jacuk A.V. Novye informacionnye tehnologii v telekommunikacijah i pochtovoj svjazi. 2023. Т. 1. № 1. Pp. 97.

4. Khoshnevisan L., Liu X. International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2022. Vol. 32, Issue 13. Pp. 44-49.

5. Vasenin R.S. Nauchnyj aspekt. 2024. Т. 27. № 3. Pp. 3410-3414.



6. Kurmaev T.I. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2022. № 1-1. Pp. 45-47.
7. Nasri M., Lamiri A. IET Networks. 2021. Vol. 11, Issue 1. Pp. 67-74.
8. Arcishevskaja S.A., Vervejko B.M. Novye informacionnye tehnologii v telekommunikacijah i pochtovoj svjazi. 2021. № 1. Pp. 47.
9. Nekrasov P.V., Zharikov A.M., Kozin D.A. Bezopasnost' informacionnyh tehnologij. 2024. T. 31. № 1. Pp. 54-62.
10. Mehta D., Saxena S. Concurrency and Computation: Practice and Experience. 2021. Vol. 33, Issue 21. Pp. 65-70.

Дата поступления: 23.12.2024

Дата публикации: 2.02.2025