

Morozova Lyudmila Alexandrovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Radiocommunication, Radiobroadcasting and Television; PhD in Technical Science, Associate Professor. E-mail: morozova@rcf.ru

References

1. Karjakin V.L., Karjakin D.V., Morozova L.A. Problemy organizatsii veshhaniya v standarte DVB-T2 so vstavkoj regional'nogo kontenta [Problems of DVB-T2 standard telecasting with regional content insertion] *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2016, vol. 14, no. 1, pp. 70-76.
2. ETSI EN 302 755 V1.4.1 (2015-07) «Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)».
3. ETSI TR 101 290 V1.3.1 (2014-07). Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guide-lines for DVB systems.
4. Karjakin V.L., Karjakin D.V., Morozova L.A. Sinkhronizatsiya informatsionnogo signala v peredatchikakh odnochastotnykh setey tsifrovogo TV-veshchaniya [Synchronization of information signal in transmitters of single frequency networks of digital TV broadcasting]. *Elektrosvyaz*, 2014, no. 9, pp. 24-28.
5. Karjakin V.L., Karjakin D.V., Morozova L.A. Ocenka kachestva raboty odnochastotnoj seti cifrovogo teleradioveshhaniya po jeho-diagramme [Estimation of the quality of a single frequency network for digital broadcasting by echo chart]. *Nauchnye trudy SWorld*, 2015, no. 2, pp. 18-23.
6. ArcGIS Platform – Esri. Available at: <http://www.esri.com/software/arcgis> (accessed: 12.05.2016).
7. Progira-product-broschure-2016-WEB. Available at: <http://www.progira.com/getmedia/7ace7254-6de3-4b61-b71b-835101818fc6/Progira-product-broschure-2016-WEB.pdf> (accessed: 12.05.2016).
8. How to reach the full potential of your SFNs? Available at: <http://www.progira.com/en-gb/news/how-to-reach-the-full-potential-of-your-sfns> (accessed: 12.05.2016).
9. New release of GiraPlan 4.12.1. Available at: <http://www.progira.com/en-gb/news/new-release-of-giraplan-4-12-1> (accessed: 12.05.2016).
10. Karjakin V.L. *Tsifrovoe televidenie* [Digital television]. Moscow, Solon-Press Publ., 2013. 448 p.

Received 15.04.2016

УДК 621.371; 621.391.64

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТА КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ RoF

Нарышкин М.И.

ОАО «Концерн «Автоматика», Самара, РФ

E-mail: nmi@rambler.ru

В работе предложено оригинальное решение по реализации построения сегмента подвижной радиосвязи внутрикорпоративной сети на основе технологии RoF. Представлены результаты серии экспериментальных исследований разработанного макета, которые предполагали использование участка диапазона подвижной радиосвязи 300 МГц. В качестве антенн базовой станции (БС) и абонентского комплекта (АК) использовались антенны типа Уда-Яги («волновой канал») с коэффициентом усиления 11 дБм. Экспериментальные исследования проводились на специально выбранном участке территории города с типичной городской застройкой. Центральная станция (ЦС) и БС располагались в производственном здании, а АК – в офисном здании на удалении 400 м от БС. Высоты подвеса антенн были выбраны так, что линия прямой видимости экранировалась близлежащими зданиями. В непосредственной близости от БС размещалось действующее производственное оборудование, создающее существенные помехи в радиочастотном диапазоне. Дополнительным источником помех являлись контактные сети электротранспорта вблизи места размещения АК. В работе представлены результаты экспериментальных измерений, включающие в себя оценку качества связи с помощью двух телефонных аппаратов, подключенных к ЦС и АК, измерение отношения «сигнал/шум» в принимаемом сигнале в текущий момент времени при организации модемного соединения с помощью стандартной утилиты Hyper Terminal, измерение времени задержки и потерь пакетов путем организации удаленного соединения по методике RFC-2544.

Ключевые слова: Radio-over-Fiber, беспроводная сеть, сети радиосвязи, корпоративная сеть, волоконно-эфирная структура, передача радиосигналов по оптическим волокнам

Введение

Современные и перспективные выделенные или технологические ведомственные и корпоративные сети связи [1] все чаще ориентированы, с одной стороны, на использование комплексных решений, обеспечивающих объединение функций передачи данных и технологической связи, а с другой стороны – на максимальную универсальность и тактическую гибкость, что, в частности, предполагает наличие в составе сети сегментов как фиксированной, так и подвижной связи.

Требования к радиоподвижному сегменту корпоративной сети существенно зависят от конкретных особенностей функционирования корпорации (ведомства), однако в большинстве случаев абонентская база (а значит, требуемая канальная емкость сети) относительно невелика по сравнению с сетями общего пользования, номенклатура и конфигурация зон покрытия в сильной степени определяется дислокацией мест постоянного и возможного временного пребывания абонентов и соответствующими маршрутами движения, а комплект абонентских устройств должен включать набор терминалов (или универсальный терминал), обеспечивающий выполнение всех необходимых функций (телефонная, факсимильная и иная связь, передача данных, передача сигналов и команд управления и т.д.).

В большинстве случаев зоны покрытия такой сети локализованы в деловых и промышленных районах городов, включая мегаполисы, а архитектура и топология сети предусматривает радиальнозональную структуру области покрытия. Подобное решение не всегда возможно хотя бы по причине острого дефицита возвышенных сооружений (опор), на которых может быть разрешено размещение антенн базовых (центровых) станций значительной мощности для обслуживания крупных зон, не говоря уже о возможностях строительства новых опор.

Перспективным решением для построения области покрытия (или ее части) в виде совокупности компактных зон обслуживания с базовыми станциями относительно небольшой мощности и антеннами, размещаемыми на имеющихся зданиях (сооружениях), является использование технологии «Радио поверх волокна» (Radio-over-Fiber – RoF) [2] с передачей на базовую станцию от центральной станции (центра коммутации) оптической несущей, модулированной полностью сформированным радиосигналом. Такое решение позволяет максимально использовать ресурс имеющейся транспортной волоконно-оптической сети, а также полностью исключить присутствие на базовой станции сетевых аппаратных средств крипто- и имитозащиты информационных и служебных сигналов, включая команды управления, благодаря чему базовая станция может быть реализована необслуживаемой и неохраняемой.

Методика исследований

Для подтверждения работоспособности подобного решения был разработан, изготовлен и испытан макет фрагмента корпоративной сети подвижной радиосвязи на основе технологии RoF. Макет (рис.1) включал:

- макет центральной станции (ЦС);
- макет волоконно-оптической линии связи (ВОЛС);
- макет базовой станции (БС);
- макет абонентского комплекта (АК).

В состав макетов входили радиоприемники, радиопередатчики, электронно-оптические (Э/О) и оптоэлектронные (О/Э) преобразователи, оптические разветвители (ОР), оптические соединители и патчкорды, оптические и радиочастотные аттенуаторы и т.д.

Макет ВОЛС включал одномодовое оптическое волокно (кабель длиной 30 м) с дополнительным аттенуатором, обеспечивающим затуха-

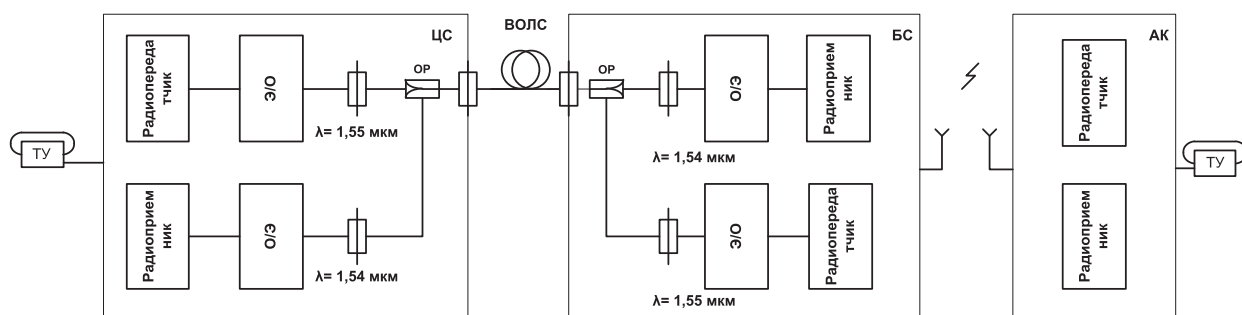


Рис. 1. Схема макета фрагмента сети RoF.

хание, соответствующее эквивалентной длине ВОЛС 80 км.

В состав терминальных устройств (ТУ), подключаемых к ЦС и АК, входили портативная персональная ЭВМ (ПЭВМ) со специальным программным обеспечением (СПО), телефонный аппарат, шлюз, модем и т.п. СПО в составе ПЭВМ обеспечивало возможности измерения необходимых параметров сигналов, а также обработку и хранение результатов.

Для экспериментов был использован участок диапазона подвижной радиосвязи 300 МГц. В качестве антенн БС и АК использовались антенны типа Уда-Яги («волновой канал») с коэффициентом усиления 11 дБ.

Эксперименты предусматривали оценку качества связи с помощью двух телефонных аппаратов, подключенных к ЦС и АК, измерение отношения «сигнал/шум» в принимаемом сигнале в текущий момент времени при организации модемного соединения с помощью стандартной утилиты Nupur Terminal, измерение времени задержки и потерь пакетов путем организации удаленного соединения по методике RFC-2544 [3].

Максимальная мощность радиопередатчиков БС и АК составляла 100 мВт. Варьирование уровня мощности выходного сигнала осуществлялось путем внесения в антенно-фидерный тракт БС и/или АК аттенуаторов различного ослабления. Измерение уровней мощности осуществлялось анализатором спектра.

Экспериментальные исследования проводились на специально выбранном участке территории города с типичной городской застройкой. Схема участка с указанием дальностей, высотности зданий и высот установки антенн БС и АК приведена на рис.2.

ЦС и БС располагались в производственном здании, а АК – в офисном здании на удалении 400 м от БС. Высоты подвеса антенн были выбраны так, что линия прямой видимости экранировалась близлежащими зданиями. В непосредственной близости от БС размещалось действующее производственное оборудование (участок лазерной резки, сварочный пост, станочное оборудование), создающее существенные помехи в радиочастотном диапазоне. Дополнительным источником помех являлись контактные сети электротранспорта вблизи места размещения АК. Таким образом, условия испытаний соответствовали предполагаемым ограничениям на условия размещения БС и типичной помеховой обстановке в промышленной зоне мегаполиса.



Рис. 2. Схема участка, на котором проводились исследования

Проведение измерений в отсутствие помех организовывалось в ночное время, когда работа оборудования в цехе и движение электротранспорта прекращались.

Оценка параметров качества канала связи по методике RFC 2544 [3,4] выполнялась с использованием СПО в составе ТУ, подключенных к ЦС и АК, с помощью трех тестов: неравномерной передачи данных, зависимости уровня потерь пакетов от загрузки канала и задержки распространения пакетов. Использовались значения размеров кадров 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 байт. Продолжительность теста по передаче пакетов составляла не менее двух секунд. Все измерения проводились при количестве отправленных пакетов равном 100 с последующим усреднением.

Наряду с измерениями при согласованных по поляризации антеннах БС и АК были проведены аналогичные измерения при искусственной деполяризации, которая обеспечивалась поворотом антенны АК типа «волновой канал» вокруг оси (траверсы) на 90° .

Кроме того, для выборочных значений выходной мощности передатчиков БС и АК наряду с вышеупомянутыми измерениями с помощью входящих в комплекты ТУ ЦС и АК телефонных аппаратов проводились сеансы телефонной связи, в ходе которых определялись параметры качества передачи речи по ГОСТ Р 50840 [5].

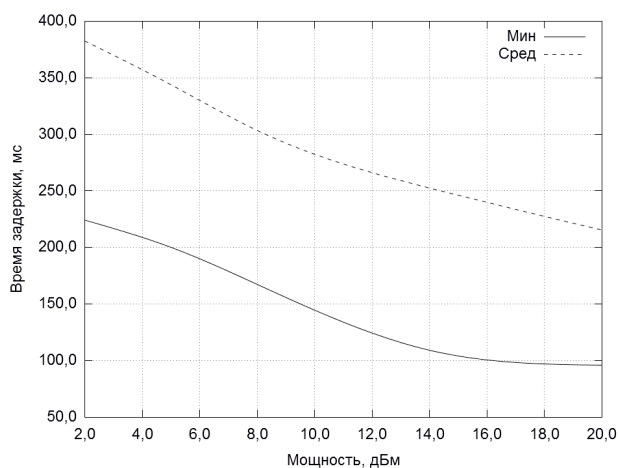


Рис. 3. Зависимость времени прохождения кадра длиной 256 байт по тракту АК – БС от мощности сигнала передатчика АК

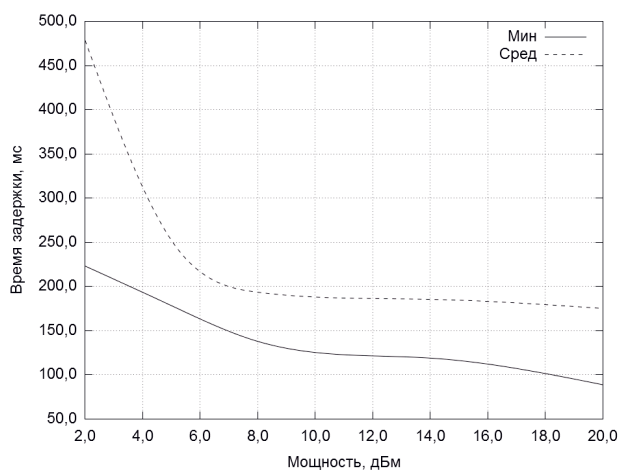


Рис. 4. Зависимость времени прохождения кадра длиной 256 байт по тракту БС – АК от мощности сигнала передатчика БС

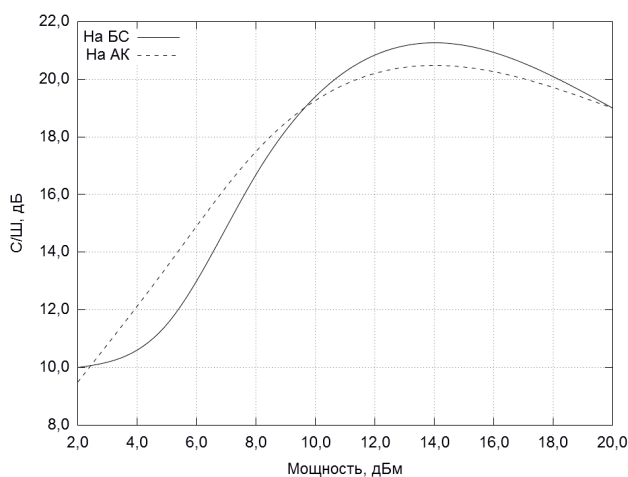


Рис. 5. Зависимость отношения С/Ш на выходе приемника АК от мощности сигналов передатчиков АК и БС

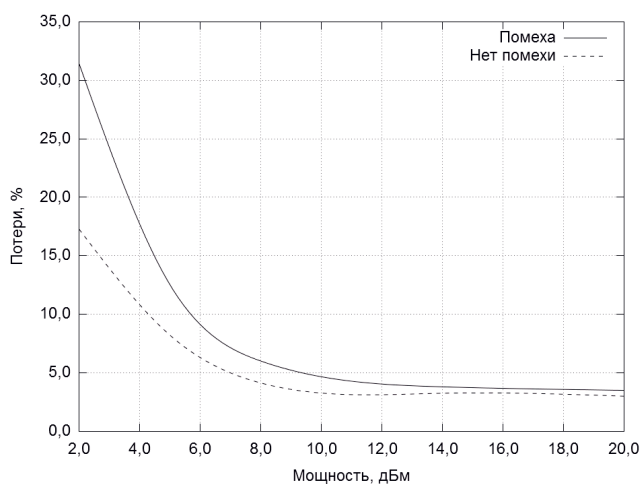


Рис. 6. Потери кадров в АК в зависимости от мощности сигнала передатчика АК

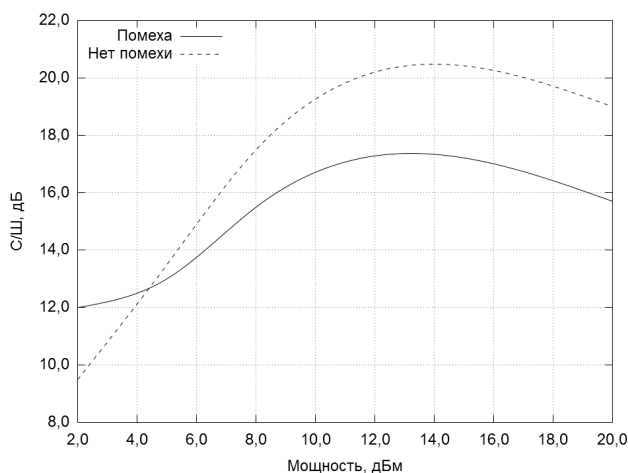


Рис. 7. Зависимость отношения С/Ш на выходе приемника АК от мощности сигнала передатчика АК

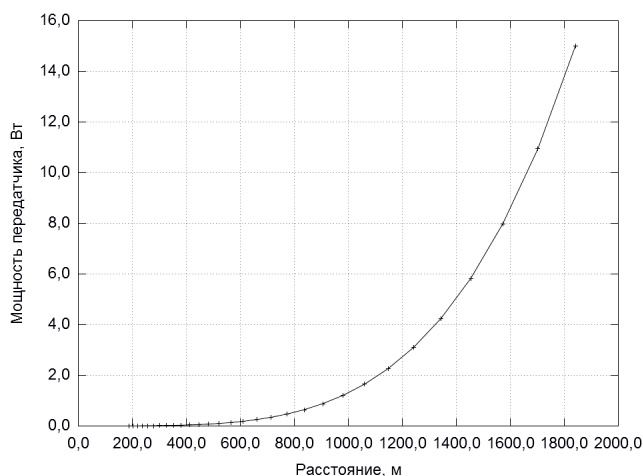


Рис. 8. Зависимость необходимой выходной мощности передатчика АК от расстояния между БС и АК

Результаты исследований

Отдельные результаты измерений представлены на рис. 3-7. На рис. 3 приведены характеристики задержки прохождения кадра длиной 256 байт в зависимости от мощности передатчика АК (мощность передатчика БС постоянна и составляет 100 мВт), а на рис. 4 – аналогичные характеристики зависимости от мощности передатчика БС (мощность передатчика АК 100 мВт). На рис. 5 приведены зависимости отношения «сигнал/шум» (С/Ш) на выходе приемника АК от мощности сигналов передатчиков АК и БС. Нетрудно убедиться, что характеристики каналов «uplink» и «downlink» в обоих случаях достаточно близки.

На рис. 6 приведены характеристики потери кадров в АК в зависимости от мощности сигнала передатчика АК при наличии и отсутствии промышленных помех.

Видим, что эффект влияния промышленных помех на потери кадров не столь велик. Несколько сильнее зависит от этих помех отношение «С/Ш» на выходе приемника АК (рис. 7), однако в рассмотренном диапазоне значений выходной мощности передатчика АК отношение «С/Ш» везде остается достаточно высоким.

По результатам исследований минимально допустимый уровень мощности передатчика АК в условиях проведения измерений, включая городскую застройку и помеховую обстановку, определенный по критерию устойчивой встречной работы модемов, составил 2 дБм. Экстраполяция полученных результатов, с учетом характера зависимости дальности связи от параметров передатчиков и антенн [6], позволяет сформировать критерии для проектирования зон обслуживания БС при различных исходных данных. При этом учитывается тот факт, что именно характеристики АК являются главным ограничивающим фактором, так как возможности варьирования мощности передатчика и параметров антенны на БС существенно шире.

На рис. 8 в качестве примера приведена зависимость минимально допустимой выходной мощности передатчика АК от расстояния между АК и БС для случая использования в составе АК штыревой антенны с противовесом (коэффициент усиления 2дБ), расположенной на высоте 1,5 м.

Как уже было отмечено выше, одновременно с проведением измерений проводились сеансы телефонной связи. Они проводились

выборочно, в условиях предельных минимальных значений выходной мощности передатчиков (при которых еще не нарушалась встречная работа модемов). Во всех случаях обеспечивался класс качества речи не хуже III по ГОСТ Р 50840 [5] и достаточная узнаваемость.

Проведенные измерения при искусственной деполяризации (поворот антенны АК на 90° относительно оси траверсы) показали снижение уровней сигналов по сравнению с согласованной поляризацией на 12дБ как по результатам непосредственных измерений, так и по критерию устойчивой встречной работы модемов

Выводы

Результаты экспериментальных исследований показали работоспособность решения по построению фрагмента сети подвижной радиосвязи на основе технологии RoF. Минимальный допустимый уровень сигнала, при котором возможна организация связи в условиях измерений (включая помеховую обстановку), составляет 2дБм (1,6 мВт). Соответствующее прогнозируемое максимальное расстояние между БС и АК (радиус микросоты) составляет 1800 м при мощности передатчика АК 15 Вт (автомобильная станция) и 880 м при мощности передатчика АК 0,8Вт (портативное устройство).

Результаты измерений, проводимых со сторон ЦС и АК, практически идентичны, кроме отношения С/Ш. Последнее обстоятельство связано с локализацией источников промышленных помех вблизи БС.

Наличие промышленных помех начинает существенно сказываться лишь при относительно небольших уровнях сигнала (5...6 дБм на БС).

Проведенная оценка кроссполяризационной характеристики в условиях реальной трассы показала, что уровень сигнала при приеме волны с линейной горизонтальной поляризацией примерно на 12дБ ниже, чем для рабочей поляризации (линейной вертикальной). Таким образом, эффект деполяризации имеет место, хотя кроссполяризационная развязка остается достаточно высокой.

Литература

1. Иванова Т.И. Корпоративные сети связи. – М: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
2. Нарышкин М.И. Концепция построения распределенной сети радиосвязи на базе технологии Radio-over-Fiber // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т.13, № 4 – С. 432-439.

3. Bradner S., McQuaid J. RFC2544 Benchmarking Methodology for Network Inter-connect Devices // IETF, March 1999.
4. RFC 2544 – Методология тестирования устройств для соединения сетей. URL: <http://rfc2.ru/2544.rfc> (дата обращения: 22.07.2016).
5. ГОСТ Р 50840-95 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости.
6. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972. – 336 с.

Получено 15.07.2016

Нарышкин Михаил Иванович, сотрудник ОАО «Концерн «Автоматика». Тел.: 8-915-141-07-14. E-mail: nmi@rambler.ru

EXPERIMENTAL RESEARCH OF INTRA-CORPORATE NETWORK RADIO-MOBILE SEGMENT BASED ON RADIO-OVER-FIBER TECHNIQUE

Naryshkin M.I.

JSC «Concern «Automatika», Samara, Russian Federation

E-mail: bma@oao-avtomatika.ru

This work proposes solution for intra-corporate network radio-mobile segment realization based on Radio-over-Fiber (RoF) technique. Results of developed prototype experimental researches are represented. Here radio-mobile network 300 MHz band was used. Yagi-Uda antennas with power gain 11 dB were used for base station (BS) and remote antenna units (RAU). Experimental tests were performed over typical urban area. Central station (CS) as well as BS were situated in industrial building, while RAU was placed in office building over 400 m distance from BS. Antenna suspension heights were set therefore line-of-sight was block by adjacent buildings and constructions. There was various operating manufactory and industrial equipment near BS that causes strong distortions over radiofrequency band. Electric transport aerial contact wire lines installed near RAU were additional distortion source. This work presents results of experimental measurements that contained channel quality estimation by two telephone sets been connected to CS and RAU, BER measurements during modem connection performed by conventional utility Hyper Terminal, time delay and packet loss measurements under remote connection according to method RFC-2544.

Keywords: Radio-over-Fiber, wireless network, radio networks, intra-corporate network, radio signal transmission over optical fibers

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.3.12

Naryshkin Mihail Ivanovich, JSC «Concern «Automatika», Samara, Russian Federation. Tel. +79151410714. E-mail: nmi@rambler.ru.

References

1. Ivanova T.I. *Korporativnye seti svjazi* [Corporate Communication Networks]. Moscow, Eco-Trendz Publ., 2001. 282 p.
2. Naryshkin M.I. *Koncepcija postroenija raspredelennoj seti radiosvjazi na baze tehnologii Radio-over-Fiber* [Concept of distributed wireless network based on Radio-over-Fiber technique]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2015, vol. 13, no. 4, pp. 432-439. doi: 10.18469/ikt.2015.13.2.12.
3. Bradner S., McQuaid J. *RFC2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices*. IETF, March 1999.
4. RFC 2544. *Metodologija testirovanija ustrojstv dlja soedinenija setej*. Available at <http://rfc2.ru/2544.rfc> (accessed 22.07.2016).
5. GOST 50840-95. *Peredacha rechi po traktam svjazi. Metody ocenki kachestva, razborchivosti i uznavaemosti*.
6. Doluhanov M.P. *Rasprostranenie radiovoln* [Radiowave propagation]. Moscow, Svyaz Publ., 1972. 336 p.

Received 15.07.2016