

References

1. Vasin N.N., Vojshhev N.V., Teleshevskij S.G. Modul'noe setevoe transportnoe oborudovanie. Metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam. Samara, PSUTI Publ., 2013, 85 p.

Received 17.12.2014

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 621.39

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ СЕТИ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ NETWORK SIMULATOR

*Дмитриев В.Н., Сорокин А.А., Резников П.С., Чан Куок Тоан
Астраханский государственный технический университет, Астрахань, РФ
E-mail: alsorokin2@list.ru*

Описана разработка дополнительного программного модуля для проведения имитационного моделирования систем связи с динамической топологией сети с использованием программного пакета Network Simulator (NS-2). Программный модуль позволяет исследовать влияние перемещения сетевых узлов на качество передаваемой информации. Модуль позволил определить, что система связи с динамической топологией сети пригодна для передачи мультимедийного трафика. Во время исследования скорость движения объектов составила от 20 до 80 км/ч. Скорость передачи трафика от 0,5 до 32 Мбит/с.

Ключевые слова: программа, моделирование, система связи, телекоммуникации, динамическая топология, сеть, транспорт, граф, качество обслуживания, абонент.

Введение

Системы связи с динамической топологией сети (ССДТС) являются одним из перспективных направлений развития современных инфокоммуникационных систем [1-3]. Область применения подобных систем разнообразна: от самоорганизующихся систем мониторинга, до крупномасштабных средств передачи информации, предназначенных для развертывания на территориях регионов и обширных акваторий. Исследования способов и средств моделирования телекоммуникационных сетей показали, что разработанные на сегодняшний день различные программные средства в большей степени ориентированы на исследования классических телекоммуникационных систем (сотовые, спутниковые, кабельные и др.), часть зарубежных проектов ориентирована на моделирование и исследование ad hoc и mesh сетей с областью покрытия 2-3 кв. км. Подобная ситуация приводит к тому, что развитие средств имитационного моделирования ССДТС отстает от общих тенденций и направлений развития современных систем инфокоммуникаций.

Учитывая, что потребность предоставления современных услуг связи на крупных объектах

транспорта (самолеты, корабли, поезда, автобусы) постоянно возрастает, а уровень качества и цена обслуживания абонентов на подобных объектах должны быть сопоставимыми с ценой и качеством услуг связи, оказываемых в условиях крупных городов, необходима разработка новых или совершенствование существующих средств моделирования телекоммуникационных систем в направлении создания программных модулей, позволяющих исследовать ССДТС.

Цель работы

Разработка программного модуля для исследования систем связи с динамической топологией сети в среде имитационного моделирования Network Simulator (NS-2)

Основная часть

Основу разрабатываемого программного модуля составляют средства аналитического и имитационного моделирования. В основе средств аналитического моделирования положена методика расчета времени доступа к каналному ресурсу в ССДТС. Методика заключается в представлении ССДТС в виде графа, в котором

происходит изменение состава и весов ребер вследствие изменения положения вершин (узлов связи относительно друг друга). Подробно математический аппарат данной методики раскрыт в работах [4-6]. Практическая реализация методики произведена в программном продукте: «Система моделирования телекоммуникационных сетей с динамической топологией сети версия 1.0» № 2012611470 [7]. Ограничением методики является трудность в оценке работы телекоммуникационной сети по параметрам QoS (концепции качества обслуживания), таким, как задержка и вероятность потери информационного пакета. В связи с этим дальнейшим направлением развития теории ССДТС стало создание модуля по проведению имитационного моделирования.

Для разработки модуля по проведению имитационного моделирования целесообразно использование следующих программных продуктов:

- среда имитационного моделирования Network Simulator 2.33 (NS-2) – для описания работы сети, задания параметров трафика, каналов и других характеристик сети [8];
- программа анимации результатов моделирования Network Animator [9];
- программа графопостроитель TraceGraph – для проведения количественных оценок характеристик результатов моделирования сети [10].

Выбор программного пакета NS-2 оправдан по причине широкой апробации в различных зарубежных и отечественных университетах, нали-

чие встроенных моделей сетевых узлов, каналов связи и используемых протоколов. Остальные программные средства являются дополнением для NS-2 по интерпретации результатов эксперимента в виде графиков и анимации.

В процессе моделирования исследовались зависимости характеристик работы телекоммуникационной системы от скорости движения транспортных объектов и скорости передачи трафика. В качестве оценочных характеристик использовались задержка передачи информационного пакета от отправителя к получателю (задержка из конца в конец) и вероятность потери информационного пакета. На сетевом уровне моделируемой системы использовался протокол динамической маршрутизации, на транспортном уровне – протокол UDP (Universal Datagram Protocol). В качестве приложения использовался трафик с постоянной скоростью (CBR, Constant Bit Rate). Средствами программного пакета NS-2 разработана имитационная модель. На имитационную модель наложены следующие ограничения:

- каналы связи – гарантированного качества;
- для взаимодействия каждой пары узлов выделен определенный каналный ресурс;
- в процессе существования канала между парой узлов изменения его параметров не оказывают существенного влияния на передаваемую информацию;

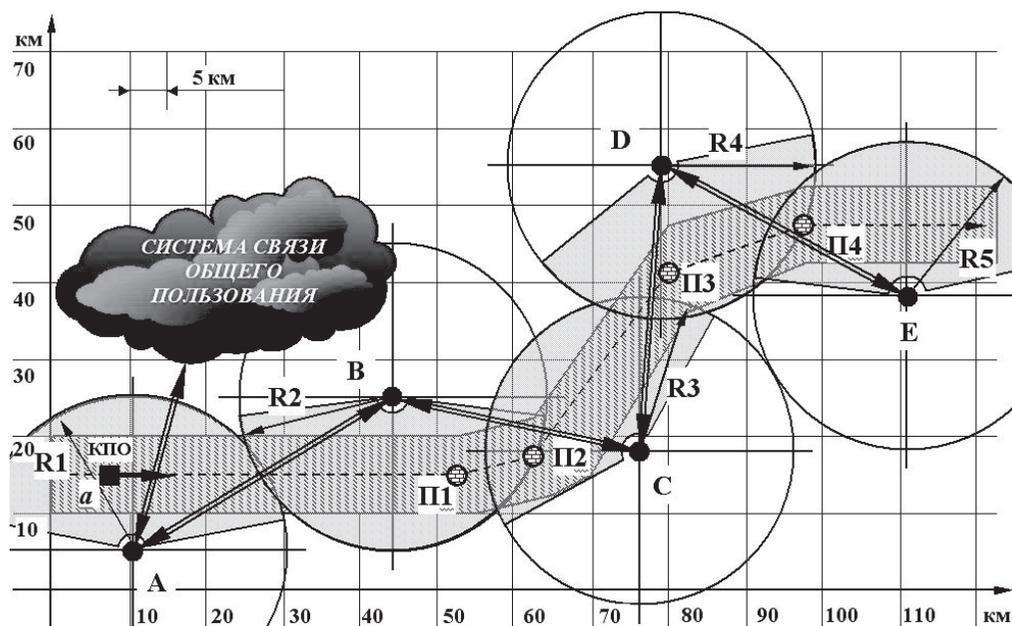


Рис. 1. Перемещение КПО по сложной траектории при использовании антенн, обеспечивающих сплошное покрытие зоны обслуживания

Таблица 1. Параметры подвижного узла

Наименование параметра		Значение параметра
Название узла на рисунке		<i>a</i>
Координаты начального места расположения, км	По оси X	5
	По оси Y	5
Угол движения в начальный момент времени, град.		0
Средняя скорость перемещения по траектории, км /ч	Опыт 2	40
	Опыт 2	40
	Опыт 3	80

Таблица 2. Параметры статических узлов

Наименование узла	Координаты места расположения, км	Радиус зоны уверенного приема сигнала, км
A	10; 5	20
B	42,5; 25	20
C	75; 17,5	20
D	77; 55	20
E	107,5; 37,5	20

Таблица 3. Параметры точек поворота подвижного узла

Наименование точки поворота	Координаты места расположения точки поворота, км	Величина угол поворота подвижного узла в данной точке, град
П1	52,5; 15	20
П2	63,5; 18,5	53
П3	80; 41	20
П4	97,5; 47,5	0

Выходом модели является трассировочный файл, в котором содержится информация о пакете, следующем от «узла-отправителя» к «узлу-получателю».

При проведении моделирования рассматривалось перемещение крупных подвижных объектов (КПО) по криволинейному участку траектории. Вдоль участка располагаются стационарные ретрансляторы (СР), связанные между собой каналами связи. В процессе перемещения КПО вдоль установленной траектории производилась передача СВР трафика (речь, видео). Моделирование выполнялось для различных вариантов использования ан-

тенных систем. Перемещение КПО по сложной траектории при использовании антенн, обеспечивающих сплошное покрытие зоны обслуживания, показано на рис. 1.

Результаты расчета представлены в таблице 4 – на основании этих данных, числа узлов и параметров трафика, средствами программного пакета NS-2 смоделирована работа телекоммуникационной системы. Скорость передачи информации «Объект-Сеть» и «Сеть-Объект»: находилась в диапазоне от 0 (только служебный трафик) до 32 Мбит/с. Число выборок в каждой серии эксперимента составляло 10.

Таблица 4. Время «открытия» и «закрытия» каналов связи между КПО и СР

Скорость движения узла, км/ч	Пара узлов	Время открытия канала, сек		Время закрытия канала, сек	
		МО	СКО	МО	СКО
20	a – A	0	0	3548,8	96,6
	a – B	3165,2	91	9784,5	146,2
	a – C	8581,5	146,6	14401,5	295,7
	a – D	13891,8	289	19424,3	383
	a – E	16853,7	271,8	–	–
	a – b	–	–	23475,3	453,9
40	a – A	0	0	1791,5	132
	a – B	1571,8	73,8	4862,5	238,7
	a – C	4264,7	202,9	7155,3	327,3
	a – D	6906,2	318,8	9651,2	446,3
	a – E	8375,4	406,9	–	–
	a – b	–	–	11663,5	542,9
80	a – A	0	0	893	44,3
	a – B	796,2	40,8	2461,8	83
	a – C	2159,3	79,6	3623,7	143,5
	a – D	3495,3	139,2	4887,3	187,2
	a – E	4240,6	144,9	–	–
	a – b	–	–	5906,5	222,6

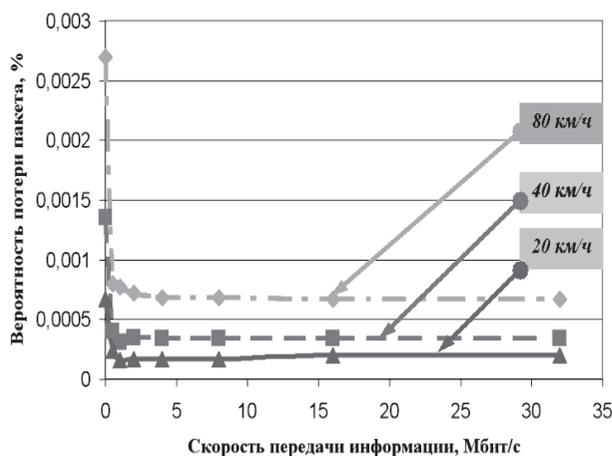


Рис. 2. Зависимость вероятности потери пакета от скорости передачи информации

По результатам моделирования построены графические зависимости вероятности потери информационного пакета (см. рис. 2) и задержки передачи информационного пакета от отправителя к получателю (см. рис. 3) от скорости передачи информации. Обобщая результаты моделирования, приведенные в таблице 4 и рис. 2 и рис. 3, с уче-

том норм, установленных Европейским исследовательским центром в области телекоммуникаций [12], составлена таблица 5, в которой приводится качественная оценка пригодности исследуемой системы в случае передачи мультимедийного трафика. Оценка проводилась по критериям «годен» или «не годен». Значению «годен» соответствует показатель «Да», значению «не годен» – «Нет».

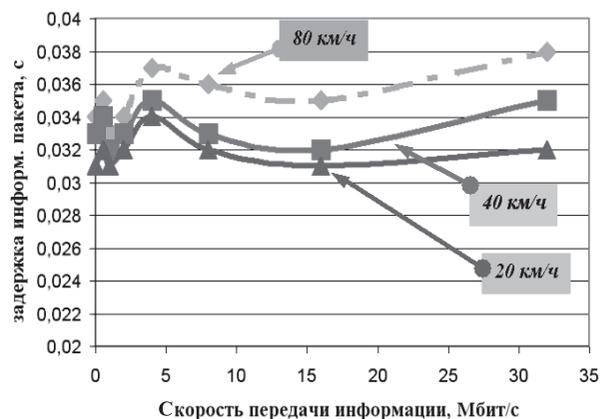


Рис. 3. Задержка передачи пакета от отправителя к получателю от скорости передачи информации

На основании таблицы 5 можно сделать вывод, что система связи пригодна для передачи любого мультимедийного трафика по критерию задержки. По критерию вероятности доставки информационного пакета моделируемая система связи пригодна для передачи трафика реального времени и не пригодна (без использования специальных протоколов) для передачи трафика обычных данных.

В рамках проводимых исследований, под трафиком «обычных данных» согласно работе [12] понимается трафик, возникающий в процессе загрузки файлов, интернет-страниц, использования сервиса электронная почта и телеметрии. Данный вывод справедлив для всех скоростей передачи трафика, которые были учтены в ходе проведения эксперимента (до 32 Мбит/с). Скорость передачи информации 32 Мбит/с часто используется во время организации транспортных каналов в системах связи общего пользования.

Учитывая графики, показанные на рис. 2 и рис. 3, можно допустить, что увеличение скорости передачи информации до 64 или 128 Мбит/с не приведет к превышению норм по задержке и вероятности потери информационного пакета. Вывод обоснован характером графиков.

Непригодность моделируемой системы для передачи трафика обычных данных объясняется выбором в качестве протокола транспортного уровня протокола UDP (User Datagram Protocol), который не гарантирует доставку информационных пакетов, но обеспечивает минимально возможную задержку. При практической реализации системы для передачи трафика обычных данных следует выделять определенную полосу пропускания канала и использовать протокол транспортного уровня, который гарантирует доставку информационных пакетов, например протокол TCP (Transport Control Protocol) [1-2].

Таблица 5 Анализ пригодности моделируемой системы для передачи мультимедийного трафика

Вид трафик	Вывод о пригодности моделируемой системы	
	Задержка	Вероятность потери
IP - телефония	да	да
Видеоконференция	да	да
Цифровое видео по запросу	да	да
Передача обычных данных	да	нет

Обобщая результаты проведенного моделирования с результатами исследований [13], посвященных вопросам использования в системах связи с динамической топологией сети фазированных антенных решеток, можно сделать вывод, что использование на СР и КПО фазированных антенных решеток при организации канала СР-КПО не внесет значительных изменений в качество передаваемого трафика.

Выводы

Разработан программный модуль для проведения имитационного моделирования систем связи с динамической топологией сети, который позволил изучить влияние особенностей перемещения сетевых узлов на качество передаваемой информации.

При помощи разработанного модуля проанализирован обобщенный случай работы ССДТС. Время моделирования составляло от 2 до 6 часов. При движении объекта в диапазоне скоростей от 20 до 80 км/ч и диапазоне скоростей передачи ин-

формации в направлениях система связи общего пользования – объект и объект – система связи общего пользования от 0,5 до 32 Мбит/с установлено, что сеть пригодна для предоставления услуг трафика реального времени и обычного трафика по критерию задержки информационного пакета. По критерию вероятности потери пакета система связи пригодна для передачи трафика реального времени, а для передачи трафика обычных данных требуется использования протокола транспортного уровня, гарантирующего доставку информационных пакетов. Метод увеличения зоны обслуживания систем связи общего пользования за счет предоставления телекоммуникационных услуг на КПО справедлив не только для судов речного флота, но и для других подвижных объектов железнодорожного и автомобильного транспорта.

Литература

1. Radhika Ranjan Roy. Handbook of Mobile Ad Hoc Networks for Mobility Models // Springer Science + Business Media, LLC. – P. 2011-1120.

2. Moustafa H., Zhang Y. Vehicular Networks Techniques, Standards and Applications // Auerbach Publications Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300. – P. 2009 441.
3. Wittenburg G., Schiller J. Service Placement in Ad Hoc Networks // Springer - Heidelberg - Dordrecht - London - New York, 2012. – 125 p.
4. Сорокин А.А. Разработка программного комплекса для исследования телекоммуникационных систем с динамической топологией сети // Вестник АсГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. № 2, 2011. – С. 137-142.
5. Сорокин А.А. Разработка методики определения времени использования канального ресурса для моделирования инфокоммуникационных систем с динамической топологией сети, предназначенных для обслуживания водных путей // Вестник АсГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. №1, 2013. – С. 133-143.
6. Сорокин А.А., Дмитриев В.Н. Описание систем связи с динамической топологией сети при помощи модели «мерцающего» графа // Вестник АсГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. №2, 2009. – С.134-140.
7. Сорокин А.А., Чан Куок Тоан, Фам Хак Чонг Система моделирования телекоммуникационных сетей с динамической топологией сети версия 1.0. Программа для ЭВМ № 2012611470, зарег. 07.02.2012.
8. The Network Simulator-ns-2. URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> (10.09.2014).
9. Nam: Network Animator. URL: <http://www.isi.edu/nsnam/> (15.09.2014).
10. Tracegraph – a graphing software to plot the trace files from NS2. URL: <http://www.nsnam.com/2012/09/tracegraph-graphing-software-to-plot.html> (20.09.2014).
11. Гмурман В.Е Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшее образование, 2008. – 480 с.
12. Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 3. Мультисервисные сети. М. Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.
13. Сорокин А.А., Пищин О.Н., Дмитриев В.Н. Анализ антенных комплексов для систем связи с динамической топологией / Вестник АсГТУ. № 1(42), 2008. – С. 122–126.

Получено 15.01.2015

Дмитриев Вадим Николаевич, д.т.н., проф., зав. Кафедрой связи, ФГБОУ ВПО Астраханский государственный технический университет (АГТУ). Тел.: 8 (8512) 614 – 247; E-mail: vndmitriev@yandex.ru.

Сорокин Александр Александрович, к.т.н., доцент Кафедры связи, АГТУ. Тел. 8(8512) 614-247; E-mail: alsorokin2@list.ru

Резников Петр Сергеевич, магистр, аспирант, ассистент, Кафедры связи, АГТУ. Тел. 8(8512) 614-247; E-mail: sviaz@astu.org

Чан Куок Тоан, аспирант Кафедры связи АГТУ. Тел. 8(8512) 614-247; E-mail: sviaz@astu.org

DEVELOPMENT OF SOFTWARE UNIT FOR RESEARCH OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS WITH DYNAMIC TOPOLOGY IN THE SIMULATION ENVIRONMENT «NETWORK SIMULATOR»

V.N. Dmitriev, A.A. Sorokin, P.S. Reznikov, Chan Quoc Toan

This paper describes the development of a software module for the simulation of communication systems with dynamic network topology. Developed module allows you to explore the effect of moving the network nodes on the quality of the transmitted information. With the help of the developed module the work of the communication system with dynamic network topology is analyzed. Simulation time is 2 to 6 hours. Transfer rate facilities ranged from 20 to 80 kmph. The data transfer rate was from 0.5 to 32 mbps. The experimental results show that the network is suitable for the provision of real-time traffic services (as online application) and data traffic by condition end2end delay of packet. By condition, the probability of packet loss this communication system suitable for the transmission of real-time traffic and for normal data traffic requires the use of a transport layer protocol that guarantees delivery of data packets, as TCP. Investigate methods for increase the coverage area of public communication systems can be used to provide Internet access to transport facilities such as river vessel, railway train or road transport, as buses or cargo vehicular.

Keywords: program, modeling, communication system, telecommunications, dynamic topology, network, transport, graph, quality of service, the subscriber.

Dmitriev Vadim Nikolaevich, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Telecommunication, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation. Tel. +7 8512 614 247, E-mail: vndmitriev@yandex.ru

Sorokin Alexander Aleksandrovich, PhD in Technical Science, Associated professor of Department of Telecommunication, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation. Tel. +7 8512 614 247, E-mail: alsorokin2@list.ru

Reznikov Petr Sergeevich, Master of Engineering, Postgraduate Student, Assistant of Department of Telecommunication, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation.. Tel. +7 8512 614 247, E-mail: sviaz@astu.org

Chan Quoc Toan, Postgraduate Student of Department of Telecommunication, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation.. Tel. +7 8512 614 247, E-mail: sviaz@astu.org

References

1. Radhika Ranjan Roy. *Handbook of Mobile Ad Hoc Networks for Mobility Models*. Springer Science + Business Media, LLC. 2011. 1120 p.
2. Moustafa H., Zhang Y. *Vehicular Networks Techniques, Standards and Applications*. Auerbach Publications Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, 2009. 441 p.
3. Wittenburg G., Schiller J. *Service Placement in Ad Hoc Networks*. Springer - Heidelberg - Dordrecht - London - New York, 2012. 125 p.
4. Sorokin A.A. Razrabotka programmnogo kompleksa dlja issledovanija telekommunikacionnyh sistem s dinamicheskoj topologiej seti [Development of software for the study of telecommunication systems with dynamic network topology]. *Vestnik AsGTU. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika*. 2011, no. 2, pp. 137-142.
5. Sorokin A.A. Razrabotka metodiki opredelenija vremeni ispol'zovanija kanal'nogo resursa dlja modelirovanija infokommunikacionnyh sistem s dinamicheskoj topologiej seti, prednaznachennyh dlja obsluzhivaniya vodnyh putej [Development of methodology for determining the time of use the channel resource for simulation of communication systems with dynamic network topology serviceable waterways], *Vestnik AsGTU. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika*, 2013, no. 1, pp. 133-143.
6. Sorokin A.A., Dmitriev V.N. Opisanie sistem svjazi s dinamicheskoj topologiej seti pri pomoshhi modeli «mercajushhego» grafa [Development of methodology for determining the time of use the channel resource for simulation of communication systems with dynamic network topology serviceable waterways] *Vestnik AsGTU. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika*, 2009, no. 2, pp. 134-140.
7. Sorokin A.A., Chan Kuok Toan, Fam Hak Chong. *Sistema modelirovanija telekommunikacionnyh setej s dinamicheskoj topologiej seti versija 1.0*. [System simulation of telecommunication networks with dynamic network topology version 1.0] Patent RF of Software, no. 2012611470, 2012.
8. The Network Simulator-ns-2. Available at: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> (accessed 10.09.2014).
9. Nam: Network Animator. Available at: <http://www.isi.edu/nsnam/> (accessed 15.09.2014).
10. Tracegraph – a graphing software to plot the trace files from NS2. Available at: <http://www.nsnam.com/2012/09/tracegraph-graphing-software-to-plot.html> (accessed 20.09.2014).
11. Gmurman V.E *Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Vysshee obrazovanie Publ., 2008, 480 p.
12. Velichko V.V., Subbotin E.A., Shuvalov V.P., Jaroslavcev A.F. *Telekommunikacionnye sistemy i seti. T. 3. Mul'tiservisnye seti* [Telecommunication systems and networks. Vol. 3. Multiservice Networks]. Moscow, Gorjachaja linija – Telekom Publ., 2005, 592 p.
13. Sorokin A.A., Pishhin O.N., Dmitriev V.N. *Analiz antennyh kompleksov dlja sistem svjazi s dinamicheskoj topologiej* [Analysis of antenna systems for communication systems with dynamic topology]. *Vestnik AsGTU*, 2008, vol. 42, no. 1, pp. 122–126.

Received 15.01.2015